



Исследование характера работы армированных кирпичных столбов

Research of kind of work of the reinforced brick columns

М.Н. Свирский^{1*}, Т.М. Бочкарева²

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, 614990, Россия, Пермь,
Комсомольский пр., 29

Maksim Svirskiy^{1*}, Tatyana Bochkareva²,

Perm National Research Polytechnic University, 29
Komsomolsky Ave., Perm, Russia, 614990

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

каменная кладка;
армированная кладка;
комбинированное
армирование;
армирование
стеклотканью;
тканый композит;

KEYWORDS

stone laying;
the reinforced laying;
combined reinforcement;
reinforcing by fiber glass fabric;
a woven composite; stone laying;

АННОТАЦИЯ

Цель исследования – изучение характера работы каменной кладки на примере кирпичных столбов с различными вариантами армирования, а также определение степени сцепления тканых композитных материалов с кладочным раствором. Описана актуальность применения тканых композитных материалов в качестве армирующего материала. Приведены основные достоинства тканых композитных материалов. Проведены экспериментальные исследования с применением образцов кирпичных столбов. Выполнен эксперимент по определению сцепления армирующего слоя с кладочным раствором. Описаны дополнительные мероприятия, обеспечивающие повышение сцепления стеклоткани и раствора. Выполнен анализ результатов, полученных на основании расчетов и экспериментов по определению прочности на сжатие кирпичных столбов. Сформулированы выводы о применимости предложенной системы армирования.

ABSTRACT

Research objective – studying of character work of a stone laying on the example of brick columns with various options of reinforcing and also definition of extent of coupling of woven composite materials with masonry solution. The relevance of use of woven composite materials as the reinforcing material is described. The main advantages of woven composite materials are specified. Pilot studies with application of samples of brick columns are conducted. The experiment by definition of coupling of the reinforcing layer with masonry solution is executed. The additional actions providing increase in coupling of fiber glass fabric and solution are described. The analysis of the results received on the basis of calculations and experiments for determination of durability on compression of brick columns is made. Conclusions about applicability of the offered system of reinforcing are formulated.

Содержание

1.	Введение	39
2.	Методы	40
3.	Результаты и обсуждение	45
4.	Заключение	47

1. Введение

Для повышения прочности и стойкости различных конструкций требуется армирование, применяемое, в том числе, и для каменной кладки, что обеспечивает повышение ее прочности за счет восприятия арматурой растягивающих усилий. В качестве усиления системы армирования каменной кладки авторами предлагается использовать тканые композитные материалы. Композитные материалы обладают высоким пределом прочности при растяжении, что обуславливает их высокую эффективность в качестве армирования [1,2]. Использование данных материалов обеспечит увеличение срока службы

конструкций, поскольку композитные материалы не подвержены коррозии и устойчивы к механическому износу. Также одним достоинством тканых композитных материалов является гибкость, что позволит армировать конструкции сложные по конфигурации или производить заземление армирующего материала в вышележащий ряд кладки.

Использование тканых композитных материалов позволяет уменьшить толщину растворных швов, что положительно влияет на монолитность конструкции, следовательно, и на ее прочность. В сравнении с обычной арматурой, используемой для армирования кирпичной кладки, толщина композитных материалов имеет величину в диапазоне от 0,2 до 0,5 мм. Уменьшение толщины швов каменной кладки гарантировано способствует снижению теплопроводности конструкции в целом [3].

Большинство композитных материалов имеют высокую химическую стойкость, что является актуальным, поскольку кладочный раствор является щелочной средой с pH 9-11 [4]. Стойкость к воздействию агрессивных сред достигается за счет применения специальных пропиток тканых композитных материалов. Пропитками могут служить латексные, силиконовые, полиуретановые и другие составы [5].

2. Методы

В ходе исследований проведены два этапа экспериментов. В первом этапе испытаны шесть моделей образцов, которые представляют собой кирпичные столбы 250x250 мм высотой 4 ряда с различными видами армирования. Для подготовки образцов использованы следующие материалы: кирпич марки М 150, кладочный раствор М 75, стеклоткань марки Т-23, композитная и металлическая кладочные сетки с ячейкой 50x50 мм диаметром 4 мм. Основные характеристики стеклоткани и стали приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение физико-механических характеристик стекловолокна и стали

Материал	Модуль Юнга, ГПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Деформация при разрыве, %	Удельный вес, г/см ³
Стекловолокно	85-90	2500	4,5-5,5	2,46-2,49
Сталь	206	250-400 (текучесть) 350-600 (разрыв)	20-30	7,8

Толщина растворных швов кирпичных столбов принята: вертикальных - 10 мм, горизонтальных армированных – 16 мм, горизонтальных неармированных 12 мм. Толщина швов, армированных или неармированных образцов, выдерживалась одинаковой с целью повышения точности испытаний, исключая возможные изменения прочности кладки за счет толщины слоя раствора.

Испытания проведены на гидравлическом прессе МС-1000 по ГОСТ 32047-2012 «Кладка каменная. Метод испытания на сжатие». При проведении испытаний учтены все рекомендации, изложенные в научном издании Соколова Б.С., и зарубежных работах [6-12]

Модель № 1 представляет собой неармированный кирпичный столб, испытание которого необходимо для оценки эффективности всех видов армирования. Схема и реалистичное изображение приведено на рис.1.

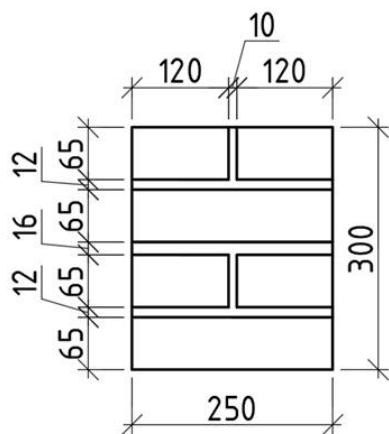


Рисунок 1. Модель образцов № 1 (неармированный кирпичный столб)

Для определения результативности армирования кладки стеклотканью разработана модель № 2, в которой края полотна стеклоткани заведены в растворный шов между третьим и четвертым рядами, что моделирует характер защемления армирующего слоя в массиве кладки, например, в кладке стены. Защемление композитных материалов также выполняют при усилении строительных конструкций [13-18]. Схема и реалистичное изображение приведено на рис. 2.

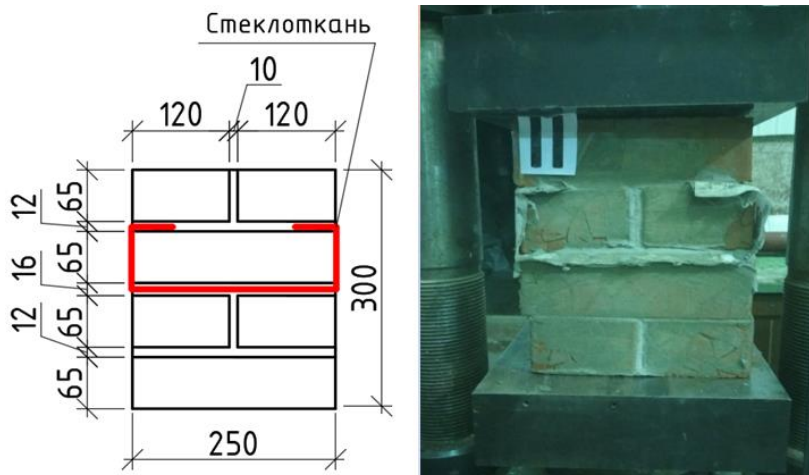


Рисунок 2. Модель образцов № 2 (кирпичный столб, армированный стеклотканью)

Для определения прочности образца с армированием металлической кладочной сеткой испытана модель № 3. Испытание данной модели необходимо для проведения аналитического сравнения классического армирования с предлагаемыми системами армирования композитными тканями материалами. Схема и реалистичное изображение приведено на рис. 3.

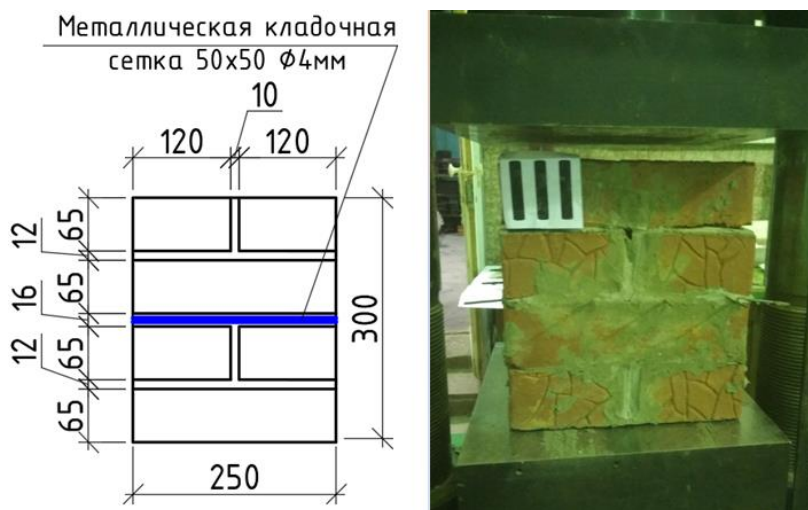


Рисунок 3. Модель образцов № 3 (кирпичный столб, армированный металлической кладочной сеткой)

Модель № 4 выполнена в виде кирпичного столба, армированного композитной кладочной сеткой. Схема и реалистичное изображение приведено на рис. 4.

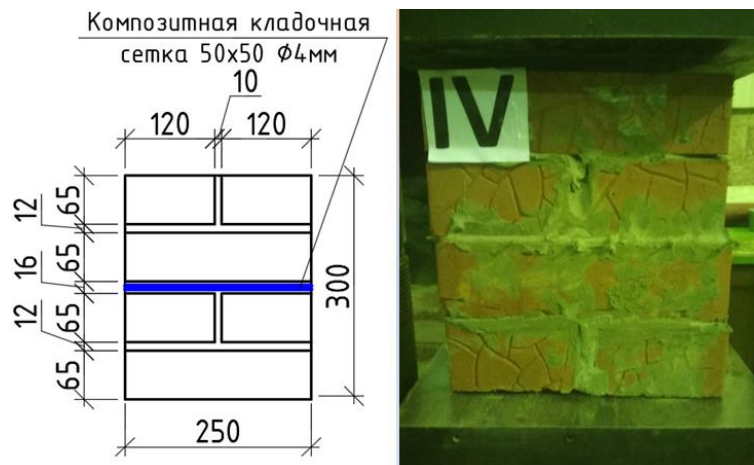


Рисунок 4. Модель образцов № 4 (кирпичный столб, армированный композитной кладочной сеткой)

Стеклоткань имеет низкую рыночную стоимость по сравнению с металлической арматурой, с учетом данного фактора рассмотрена возможность применения армирования кладки стеклотканью через 2 ряда, исключая армирование металлической сеткой. Модель № 5 – представляет собой кирпичный столб, армированный стеклотканью между 1 и 2, а также 3 и 4 рядами кладки. Схема и реалистичное изображение приведено на рис. 5.

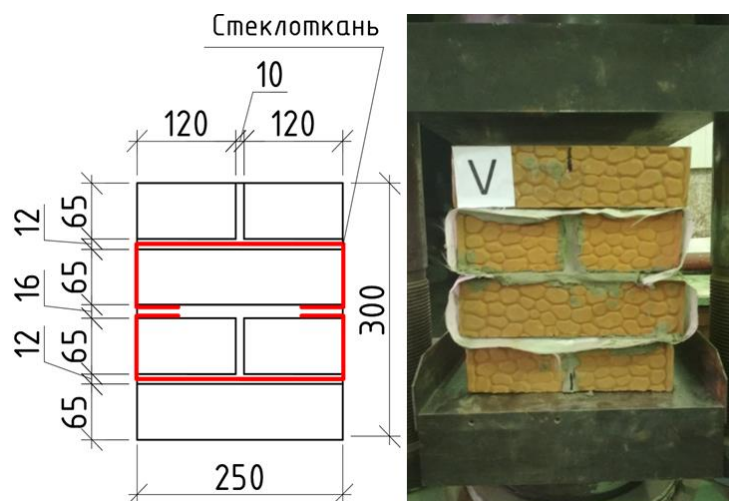


Рисунок 5. Модель образцов № 5 (кирпичный столб, армированный стеклотканью через 2 ряда)

Рассмотрена возможность комбинированного способа армирования кладки, представленного моделью № 6. Система представляет собой чередование параллельного армирования композитной кладочной сеткой и стеклотканым материалом, каждый из которых укладывался через 2 ряда. Применение данной системы армирования предполагается авторами в случаях восприятия кладкой значительных нагрузок и при работе кладки в экстремальных условиях: в случаях предполагаемых неравномерных осадок фундамента, в условиях усиленного нагружения кладки, при восприятии кладкой нагрузки с большими эксцентриситетами, с целью армирования простенков первых этажей высотных зданий, в сейсмоопасных районах. Схема и реалистичное изображение приведено на рис. 6.

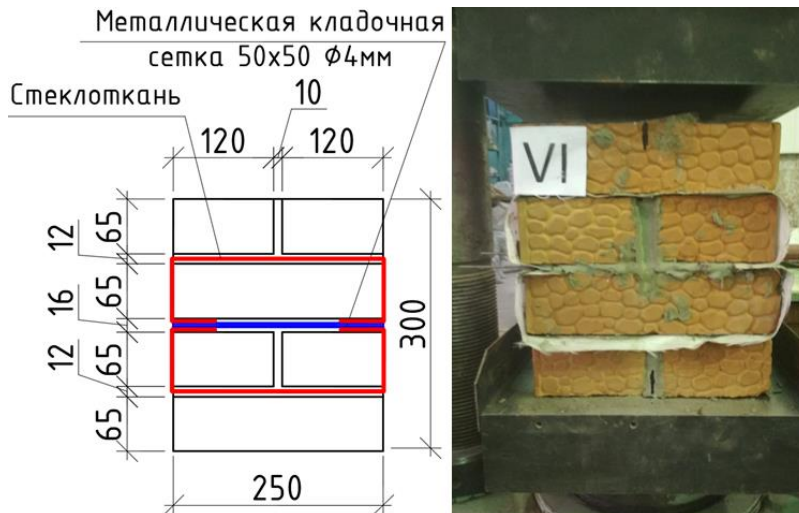


Рисунок 6. Модель образцов № 6 (кирпичный столб с комбинированным армированием)

В моделях под номерами 2, 5, 6 стеклоткань защемляется в вышележащих и нижележащих рядах, моделируя анкеровку в массиве кладки. Для армирования моделей № 3 и № 6 использована металлическая сетка размером 300x300 с ячейкой 50 мм диаметром 4 мм. Для армирования модели № 4 использована композитная кладочная сетка размером 300x300 с ячейкой 50 мм диаметром 4 мм.

Испытание образцов на сжатие проводилось до разрушения каменной кладки. За критерий разрушения приняты условия необратимого изменения начального состояния каменной конструкции, к которым относятся образование трещин в кладочных элементах и (или) растворных швах, раздробление материала, взаимное скольжение частей кладки.

Полученные результаты испытаний сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты испытаний кирпичных столбов с различными видами армирования

N – нагрузка, установленная при испытании образца при разрушении, кН					
Модель I (неармированный столб)	Модель II (столб, армированный одним слоем стеклоткани между 2 и 3 рядами)	Модель III (столб, армированный метал. сеткой)	Модель IV (столб, армированный композитной сеткой)	Модель V (столб, армированный двумя слоями стеклоткани через 2 ряда)	Модель VI (столб с комбинированным армированием: металлической сеткой и стеклотканью)
160	195	220	205	215	659

Второй этап экспериментов заключался в определении прочности сцепления армирующего композитного материала с кладочным раствором. Было принято решение испытать две модели образцов: 1) образец с неармированным раствором швом; 2) образец с раствором швом, армированным стеклотканью. Схемы испытаний образцов разработаны с учетом рекомендаций Деркач В.Н. [19].

Схема образца с неармированными растворными швами представлена на рис. 7.

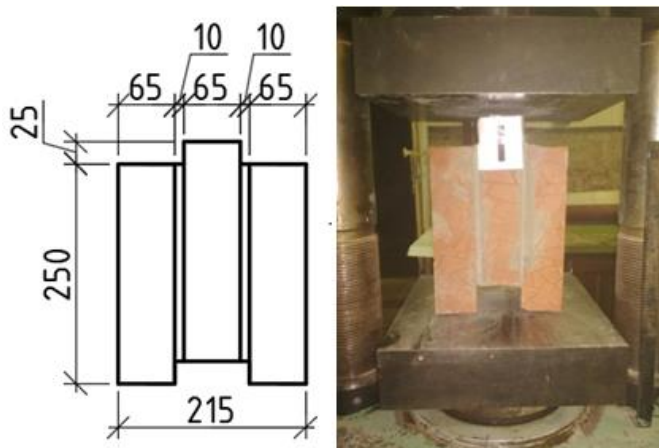


Рисунок 7. Образец с неармированными растворными швами

Схема образца с растворными швами, армированными стеклотканым материалом, представлена на рис. 8.

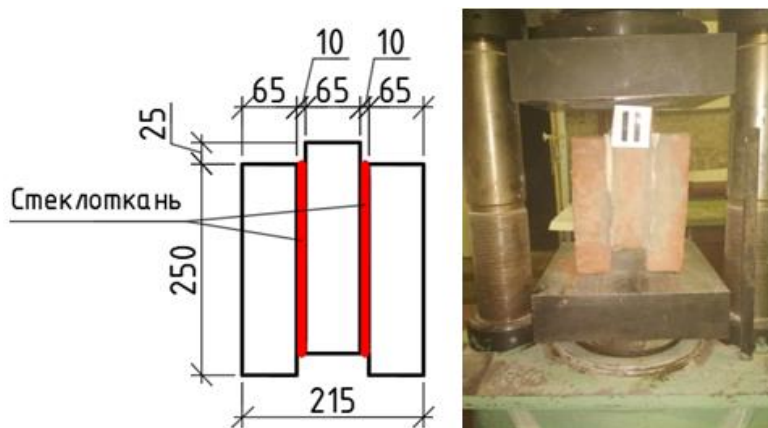


Рисунок 8. Образец с растворными швами, армированными стеклотканым материалом

На основании анализа результатов испытания первых двух образцов сделан вывод о недостаточности сцепления стеклотканого материала с кладочным раствором. Это объясняется гладкой поверхностью стекловолокна, получаемого в основном, за счет применения различного рода пропиток.

В качестве необходимых дополнительных мероприятий с целью повышения прочности сцепления тканых композитов с кладочным раствором, авторами предлагается использование метода «опесчанивание» стеклополотна. Процесс «опесчанивания» широко применяется для изготовления композитной арматуры [20]. В экспериментальных исследованиях для опесчанивания стеклополотна был применен песок мелкой фракции, наносимый на тканый материал с использованием эпоксидной смолы. Заготовленные материалы стеклоткани с опесчаниванием представлены на рис. 9.



Рисунок 9. Применение опесчанной стеклоткани для повышения прочности сцепления

Схема образца с растворными швами, армированными опесчаным стеклотканым материалом, представлена на рис. 10.

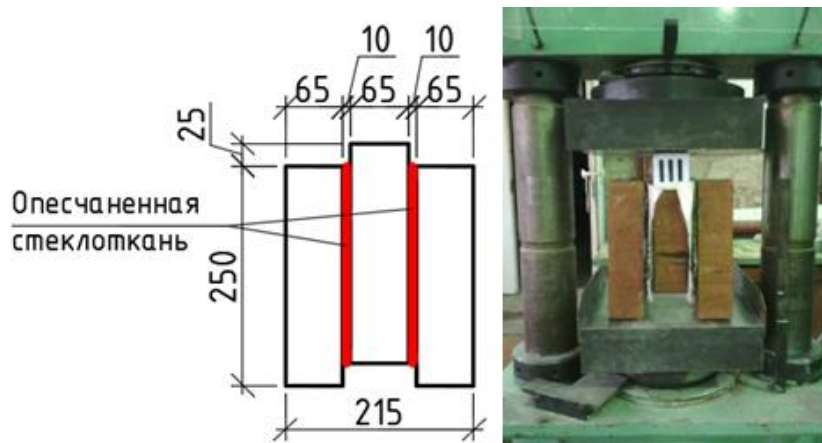


Рисунок 10. Образец с растворными швами, армированными опесчаным стеклотканым материалом

Результаты эксперимента по определению сцепления сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Результаты эксперимента по определению прочности сцепления армированных и неармированных растворных швов в объеме каменной кладки

Р – нагрузка, установленная при испытании образца при сдвиге, кН			
Серия испытаний	1 часть эксперимента		2 часть эксперимента
	Модель I – не армированный растворный шов	Модель II – с растворным швом, армированным стеклотканью	Модель III – с растворным швом, армированным опесчанной стеклотканью
1	53	45	56
2	55	44	54
Среднее значение	54	44,5	55

1

3. Результаты и обсуждение

По результатам, представленным в таблице 2 и полученным в ходе первого этапа эксперимента по испытанию кирпичных столбов с различными видами армирования, по формуле (1) определен предел прочности на сжатие. Результаты сведены в таблицу 4.

$$R_{сж} = \frac{N}{A} \quad 1)$$

где N – нагрузка, установленная при испытании образца при разрушении, МН;

A – площадь, к которой приложена нагрузка, м².

Таблица 4. Предел прочности на сжатие кирпичных столбов с различными видами армирования

Предел прочности на сжатие, МПа					
Модель I (неармированный столб)	Модель II (столб, армированный одним слоем стеклоткани между 2 и 3 рядами)	Модель III (столб, армированный метал. сеткой)	Модель IV (столб, армированный композитной сеткой)	Модель V (столб, армированный двумя слоями стеклоткани через 2 ряда)	Модель VI (столб с комбинированным армированием: металлической сеткой и стеклотканью)
2,56	3,12	3,52	3,28	3,44	10,5

Полученные значения предела прочности модели образца № 4, армированного композитной сеткой, подтверждается результатами в работе Антакова А.Б. [21].

Характер разрушения образцов представляет собой образование сквозных параллельных и наклонных трещин. В случае с моделью образца № 6 (модель с комбинированным армированием) разрушение представляло собой раздробление кирпича в нижней части кирпичного столба (рис. 11).

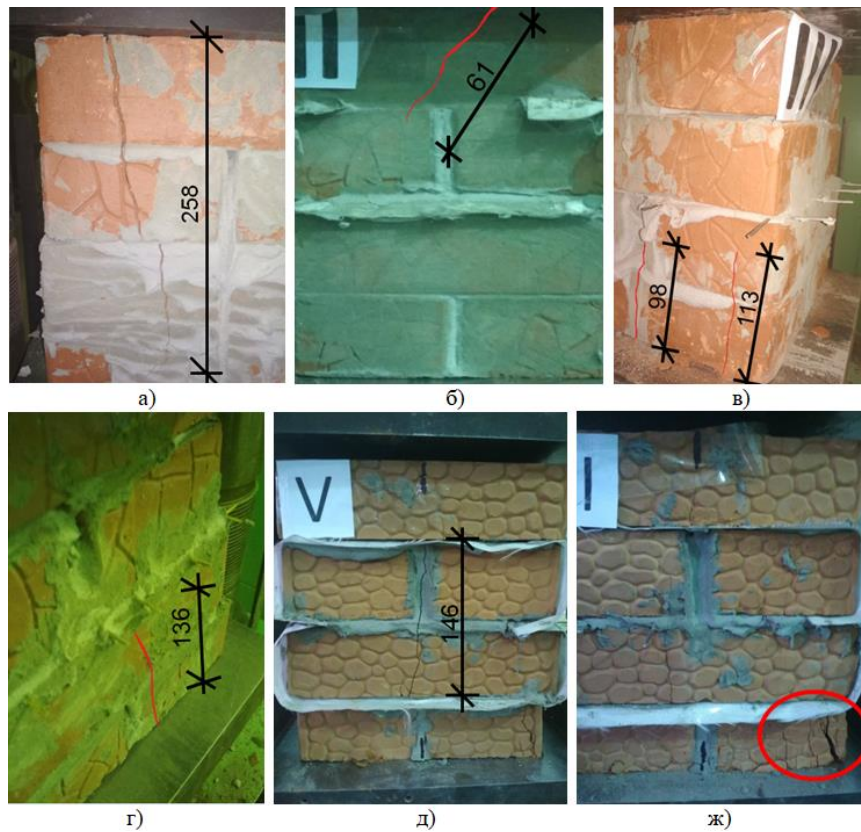


Рисунок 11. Характер разрушения моделей кирпичных столбов с различными вариантами армирования: а) неармированный кирпичный столб; б) кирпичный столб, армированный стеклотканью; в) кирпичный столб, армированный стеклотканью; г) кирпичный столб, армированный композитной кладочной сеткой; д) кирпичный столб, армированный стеклотканью через 2 ряда; ж) кирпичный столб с комбинированным армированием (чередование металлической сетки с композитным материалом)

Как видно из результатов второго этапа экспериментов по определению сцепления кладочного раствора, кирпича и армирующего материала самое позднее разрушение наступило у образцов, армированных опесчаненной стеклотканью. Характер разрушения образцов представлен на рис. 12.



Рисунок 12. Характер разрушения образцов: а) образец с неармированными растворными швами; б) образец с растворными швами, армированными стеклотканым материалом; в) образец с растворными швами, армированными опесчаненным стеклотканым материалом

Разрушение моделей образцов № 1 (образец с неармированными растворными швами) и № 3 (образец с растворными швами, армированными «опесчаненной» стеклотканью) прошло по границе

контакта кладочного раствора и кирпича, у модели образца № 2 (образец с растворными швами, армированными стеклотканью) – по границе контакта стеклоткани и кладочного раствора.

Следует вывод о достаточном обеспечении сцепления «опесчаненной» стеклоткани с раствором, что дает даже лучшие результаты сцепления по сравнению с характером работы раствора с кирпичом.

4. Заключение

В ходе исследования предлагаемой системы армирования кладки тканями композитными материалами сформулированы выводы:

1. Армирование кладки стеклотканью (через 2 ряда кладки) обладает повышенной прочностью ($R_{кл}=3,44$ МПа), полученные значения близки к значениям результатов испытания образцов с классическим методом армирования, а именно металлическими сетками ($R_{кл}=3,52$ МПа).

2. Результаты экспериментальных исследований выявили высокую эффективность комбинированной системы армирования, включающей металлическую кладочную сетку и стеклополотно, при укладке каждого вида с шагом через 2 ряда кладки, при этом прочность образцов достигала максимальных значений, равных $R_{кл}=10,5$ МПа.

3. Для гарантированной работы в щелочной среде растворов должны применяться стеклотканые материалы, обладающие специальной пропиткой: латексными, силиконовыми, эпоксидными, парафиновыми составами.

4. Авторами предложено применение метода опесчанивания стеклотканых материалов с целью обеспечения требуемых сил сцепления данной системы армирования с раствором.

5. Опесчаниванием полотен стеклоткани достигается повышение сцепления армирующего тканого композитного материала с кладочным раствором. Разрушающая нагрузка образца, армированного опесчаненной стеклотканью, составляет 55 кН, что на 23,6 % превышает аналогичный показатель 44,5 кН, полученный при испытании образцов с растворным швом, армированным неопесчаненным тканым композитным материалом.

Литература

- [1]. Фролов Н.В., Никулин А.И., Обернихин Д.В., Лапшин Р.Ю. Исследование свойств композитной арматуры на основе стеклянных и базальтовых волокон // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 3. С.18-21.
- [2]. Yan L., Kasal B., Huang L. A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering. Composites part B: engineering. 2016. No. 92. Pp. 94-132.
- [3]. Орлович Р.Б., Деркач В.Н. Зарубежный опыт армирования каменных конструкций // Жилищное строительство. 2011. № 11. С.35-39.
- [4]. Никулин В. С. Полимеркомпозитная арматура в каменной кладке стен // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. С. 896-899.
- [5]. Иманкулова А.С. Физико-механические свойства композита с тканой базальтовой основой // Вопросы материаловедения. 2005. № 3. С.55-60.
- [6]. Соколов Б.С., Антаков А.Б. Исследования сжатых элементов каменных и армокаменных конструкций. Научное издание. – М.: Изд-во АСВ, 2010. 104 с.
- [7]. Jai J. C. Reinforcing masonry walls with composite materials. PhD dissertation. Stanford University. USA, 2000.
- [8]. Comparison of mechanical properties of glass fiber/vinyl ester and carbon fiber/vinyl ester composites / Wonderly Christopher, Grenestedt Joachim, Fernlund Göran, Căpus Elvis // Composites. B. 2005. № 5. Pp. 417–426.
- [9]. Ahmed E.A., El-salakawy E.F., Benmokrane B. Performance evaluation of glass fiber-reinforced polymer shear reinforcement for concrete beams. Aci structural

References

- [1]. Frolov N.V., Nikulin A.I., Obernikhin D.V., Lapshin R.Iu. Issledovanie svoistv kompozitnoi armatury na osnove stekliannykh i bazal'tovykh volokon [Research of properties of composite fittings on the basis of glass and basalt fibers] // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2015. No. 3. Pp. 18-21.
- [2]. Yan L., Kasal B., Huang L. A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering. Composites part B: engineering. 2016. No. 92. Pp. 94-132.
- [3]. Orlovich R.B., Derkach V.N. Zarubezhnyy opyt armirovaniya kamennykh konstrukcij [Foreign experience of reinforcing of stone designs] // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2011. No. 11. Pp. 35-39.
- [4]. Nikulin V. S. Polimerkompozitnaia armatura v kamennoi kladke sten [Polimerkompozitny fittings in a stone laying of walls]. Mezhdunarodnaia nauchno-tekhnicheskaia konferentsiia molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova. 2016. Pp. 896-899.
- [5]. Imankulova A.S. Fiziko-mekhanicheskie svoistva kompozita s tkanoi bazal'tovoi osnovoi [Physicomechanical properties of a composite with a woven basalt basis]. Voprosy materialovedeniia. 2005. No. 3. Pp. 55-60.
- [6]. Sokolov B.S., Antakov A.B. Issledovaniia szhatykh elementov kamennykh i armokamennykh konstruktssii [Researches of the compressed elements stone and the armokamennykh of designs]. Nauchnoe izdanie. – M.: Izd-vo ASV, 2010. 104 s.
- [7]. Jai J. C. Reinforcing masonry walls with composite materials. PhD dissertation. Stanford University. USA, 2000.
- [8]. Comparison of mechanical properties of glass fiber/vinyl ester and carbon fiber/vinyl ester composites / Wonderly Christopher, Grenestedt Joachim, Fernlund Göran, Căpus Elvis // Composites. B. 2005. № 5. Pp. 417–426.
- [9]. Ahmed E.A., El-salakawy E.F., Benmokrane B. Performance evaluation of glass fiber-reinforced polymer shear reinforcement for concrete beams. Aci structural journal. 2010. Vol. 107. No. 1. Pp.

- journal. 2010. Vol. 107. No. 1. Pp. 53-62.
- [10]. 10. McLellan BC, Williams RP, Lay J, van-Riessen A, Corder GD, Costs and Carbon Emissions for Geopolymer Pastes in Comparison to Ordinary Portland Cement. *Journal of Cleaner Production*. 2011. Vol. 19. No. 9-10. Pp. 1080-1090.
- [11]. 11. Gangarao HVS, Taly N, Vijay PV, Reinforced Concrete Design with FRP Composites. Florida, USA: CRC Press; 2007.
- [12]. 12. Vasconcelos E, Fernandes S, de Aguiar JB, Pacheco-Torgal F, Concrete Retrofitting Using Metakaolin Geopolymer Mortars and CFRP. *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25. No. 8. Pp. 3213-3221.
- [13]. 13. Садыкова Р.Р., Нужина Д.А., Быков А.А. Усиление каменных конструкций композитными материалами // *World of Science and Innovation*. 2015. № 1 (1). С.78-85.
- [14]. 14. Fedele R., Milani G. A numerical insight into the response of masonry reinforced by frp strips. the case of perfect adhesion. *Composite structures*. 2010. No. 10. Vol. 92. Pp. 2345-2357.
- [15]. 15. Brown J.P. Strengthening of unreinforced masonry structures with glass fiber reinforced polymers to mitigate the effects of blast. *Engineering, Civil*. 2004.
- [16]. 16. Experimental investigation of tuff masonry panels reinforced with surface bonded basalt textile-reinforced mortar. *Composites part B: engineering*. 2016. No. 108. Pp. 131-142.
- [17]. 17. Corradi M., Osofero A.I., Borri A., Castori G. Strengthening of historic masonry structures with composite materials. *Materials science and engineering: concepts, methodologies, tools, and applications*. 2017. Pp. 613-647.
- [18]. 18. Michelis P., Papadimitriou C., Karaiskos G. Full-scale shake table experiments and vibration tests for assessing the effectiveness of textile materials for retrofitting masonry buildings // III ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering May 25–28, 2011, Corfu, Greece.
- [19]. 19. Деркач В. Н. Прочность нормального сцепления цементных растворов в каменной кладке // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. № 7 (33). С. 6-13.
- [20]. 20. Люкшин Б.А. Композитные материалы: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТУСУР, 2014. 101 с.
- [21]. 21. Антаков А.Б. Прочность каменных кладок, армированных композитными сетками // *Advances in current sciences*. 2014. № 7. С.116-120.
- 53-62.
- [10]. 10. McLellan BC, Williams RP, Lay J, van-Riessen A, Corder GD, Costs and Carbon Emissions for Geopolymer Pastes in Comparison to Ordinary Portland Cement. *Journal of Cleaner Production*. 2011. Vol. 19. No. 9-10. Pp. 1080-1090.
- [11]. 11. Gangarao HVS, Taly N, Vijay PV, Reinforced Concrete Design with FRP Composites. Florida, USA: CRC Press; 2007.
- [12]. 12. Vasconcelos E, Fernandes S, de Aguiar JB, Pacheco-Torgal F, Concrete Retrofitting Using Metakaolin Geopolymer Mortars and CFRP. *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25. No. 8. Pp. 3213-3221.
- [13]. 13. Sadykova R.R., Nuzhina D.A., Bykov A.A. Usilenie kamennykh konstrukttsii kompozitnymi materialami [Strengthening of stone designs composite materials]. *World of Science and Innovation*. 2015. No. 1 (1). Pp. 78-85.
- [14]. 14. Fedele R., Milani G. A numerical insight into the response of masonry reinforced by frp strips. the case of perfect adhesion. *Composite structures*. 2010. No. 10. Vol. 92. Pp. 2345-2357.
- [15]. 15. Brown J.P. Strengthening of unreinforced masonry structures with glass fiber reinforced polymers to mitigate the effects of blast. *Engineering, Civil*. 2004.
- [16]. 16. Experimental investigation of tuff masonry panels reinforced with surface bonded basalt textile-reinforced mortar. *Composites part B: engineering*. 2016. No. 108. Pp. 131-142.
- [17]. 17. Corradi M., Osofero A.I., Borri A., Castori G. Strengthening of historic masonry structures with composite materials. *Materials science and engineering: concepts, methodologies, tools, and applications*. 2017. Pp. 613-647.
- [18]. 18. Michelis P., Papadimitriou C., Karaiskos G. Full-scale shake table experiments and vibration tests for assessing the effectiveness of textile materials for retrofitting masonry buildings. III ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering May 25–28, 2011, Corfu, Greece.
- [19]. 19. Derkach V. N. Prochnost' normal'nogo stsepleniia tsementnykh rastvorov v kamennom kladke [Durability of normal coupling of cement mortars in a stone laying] // *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2012. No. 7 (33). Pp. 6-13.
- [20]. 20. Liukshin B.A. Kompozitnye materialy [Composite materials]: ucheb. posobie. – Tomsk: Izd-vo TUSUR. 2014. 101 s.
- [21]. 21. Antakov A.B. Prochnost' kamennykh kladok, armirovannykh kompozitnymi setkami [Durability of the stone layings reinforced by composite grids]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia*. 2014. No. 7. Pp. 116-120.

Контактная информация

- 1.* +79223206067, sw.maksim@mail.ru (Свирский Максим, магистр)
2. +79223206067, btm-tsp.ru@mail.ru (Бочкарева Татьяна, к.т.н. доц.)

Contact information

- 1.* +79223206067, sw.maksim@mail.ru (Svirskiy Maksim, Student)
2. +79223206067, btm-tsp.ru@mail.ru (Bochkareva Tatyana, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor)