

О.А. СИМАКОВ¹¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ТОРКРЕТ-БЕТОНА ДЛЯ УСИЛЕНИЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ

Аннотация. Технология усиления конструкций методом торкретирования известна более ста лет. Первые опыты применения данного метода относятся примерно к 1910-1912 годам. В то же время на данный момент остаются вопросы как с методикой расчета усиливаемых конструкций, так и с учетом новых свойств торкрет-бетона, которые появляются у данного материала в результате совершенствования оборудования и материала для торкретирования непосредственно. В настоящей статье рассмотрен опыт расчета, проектирования и применения торкрет-бетона для усиления несущих конструкций из каменной кладки, накопленный за последние два года. Представлены актуальные методики производства работ, а также соответствующие им методика расчетного обоснования (учитывающих этапность проведения работ по усилению конструкций) для сложных с инженерной точки зрения объектов: сводов, кирпичных стен с большим процентом повреждения, в том числе в результате минно-взрывных воздействий. Показаны результаты реализации усиления каменной кладки методом односторонних аппликаций из торкрет-бетона.

Ключевые слова: торкрет-бетон, каменная кладка, усиление, восстановление.

O.L.A. SIMAKOV¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

THE USE OF SHOTCRETE TO STRENGTHEN MASONRY

Abstract. The technology of reinforcing structures by the shotcrete method has been known for more than a hundred years. The first experiments using this method refer to approximately 1910-1912. At the same time, at this moment there are questions both with the calculation methodology of reinforced structures, and taking into account the new properties of shotcrete, which appear in this material as a result of improving equipment and material for shotcrete directly. This article examines the experience of calculating, projecting and applying shotcrete to strengthen load-bearing masonry structures accumulated over the past two years. The current methods of work are presented, as well as the corresponding methods of calculation justification (taking into account the stage of work on strengthening structures) for objects that are difficult from an engineering point of view: arches, brick walls with a large percentage of damage, including as a result of mine-explosive impacts. The results of the implementation of reinforcement of stone masonry by the method of one-sided applications of shotcrete are shown.

Keywords: shotcrete-concrete, masonry, reinforcement, restoration.

Введение

Технология торкретирования известна более ста лет. Впервые в России [1] была описана технология торкретирования для восстановления несущих конструкций применительно к транспортной инфраструктуре (при этом указано, что данная технология известна и применяется более 15 лет, т.е. с 1914 года). За данное время было реализовано значительное количество проектов по восстановлению и усилению несущих конструкций

зданий и сооружений из различных материалов и конструктивных схем: кирпичная и каменная кладка, сборный и монолитный железобетон, стальные конструкции (обетонирование по стальной сетке, закрепленной на сварке), а также отработана технология устройства монолитных конструкций из торкрет-бетона. Вместе с тем, несмотря на большое количество референтных объектов на данный момент фактически отсутствуют нормативные положения по расчету усиления конструкций, методики расчета представлены на уровне локальных рекомендаций для узкоспециализированных конструкций и случаев применения (сейсмоусиление, создание обоймы кирпичных столбов и т.п.) [2-5]. При этом необходимо отметить различные модули деформации базовых материалов усиливаемых конструкций (каменная кладка, железобетон) и торкрет-бетон [6], а также не единомоментное включение системы усиления в работу, что в общем требует проведение так называемых многоэтапных расчетов, учитывающих наследование НДС по этапам.

Состояние вопроса

Учитывая более вековой опыт применения торкрет-бетона к настоящему моменту накоплено значительное количество решений по усилению в том числе каменной кладки.

Принимая во внимания основные дефекты и повреждения несущих конструкций из каменной кладки, можно выделить следующие направления применения торкрет-бетона:

- повышение несущей способности за счет создания обоймы или увеличения габаритов сечения [7, 8];
- восстановление несущей способности каменной кладки, получившей критические дефекты (многочисленные трещины, расслоения) в процессе эксплуатации (в том числе в результате непроектных деформаций грунтового основания) [9-11];
- повышение несущей способности при действии главных растягивающих напряжений (в основном сейсмические воздействия) путем устройства односторонних аппликаций [3, 12-16];
- создание обоймы из армированного торкрет-бетона по периметру каменных столбов;
- восстановление кладки несущих стен, получивших повреждения в результате минно-взрывных воздействий [6];
- восстановление и усиление кирпичных сводчатых и купольных покрытий [17].

В общем, оценивая выполненные исследования, можно привести следующую методику повышения несущей способности каменной кладки, введенную в Российский нормативный стандарт СП 427.1325800, в которой несущая способность каменной кладки с усилением в виде армированной обоймы из раствора (применимо для торкрет-бетона) определяется по формуле (1).

$$N \leq \psi \varphi \cdot \left(m_g m_k R + \eta \frac{2,8\mu}{1+2\eta} \cdot \frac{R_{sw}}{100} \right) \cdot A \quad (1)$$

где N – продольная сила, действующая на рассматриваемый столб (простенок);

A – расчетная площадь сечения кладки;

R_{sw} – расчетное сопротивление горизонтального армирования (хомутов) системы усиления;

φ – коэффициент продольного изгиба столба (простенка);

ψ и η – коэффициенты, принимаемые равными 1,0 при центральном сжатии и вычисляемые по формулам нормативных документов для случаев внецентренного сжатия;

m_g и m_k – коэффициенты, принимаемые по действующим нормативным документам и учитывающие длительность действия нагрузки и начальные повреждения усиливаемой кладки;

μ – процента армирования системы усиления, в которой рассматриваются только горизонтальное армирование хомутов.

Методика расчета усиленной каменной кладки, работающей на главные растягивающие напряжения (в основном данный вопрос связан с работой кладки при

сейсмических нагрузках), предложенная в работе [3] предполагает расчет несущей способности усиленной кладки по формуле (2)

$$Q_f = Q + Q_{ad} \quad (2)$$

где Q - несущая способность при действии каменной кладки без усиления при действии главных растягивающих напряжений, Q_{ad} - несущая способности системы усиления (односторонняя аппликация из торкрет-бетона). На основании ранее проведенных исследований [3] определен общий механизм разрушения образцов каменной кладки усиленной односторонней аппликацией, который происходит по неперевязанным швам в зоне контакта аппликация/кладка и повышение несущей способности ограничивается величиной $Q_{ad,max}$, определяемой по формуле (3).

$$Q_{ad,max} = R'_{sq} 0,2A_{мш}, \quad (3)$$

где R'_{sq} - расчетное сопротивление кладки срезу по неперевязанному шву; A - площадь, на которой реализуется передача усилий, приближенно может быть определена как 20% от площади контакта аппликация/кладка (учитывается в формуле (3) коэффициентом 0,2).

Рассматривая представленные методики, можно выделить отсутствие в данных формулах (1) – (3) модуля деформации как усиливаемой каменной кладки, так и элемента усиления. В месте с тем модуль деформации как кладки, так и армированного железобетона и торкрет-бетона существенно отличаются (см. таблица 1), что безусловно должно так или иначе учитываться в методиках расчета усиленных конструкций.

Таблица 1 - Значения модуля упругости материалов усиленной каменной кладки

Материал	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, МПа
Каменная кладка	1,5	0,1	4 000
Бетон (тяжелый В60)	43	2,75	39 500
Бетон (мелкозернистый В60)	43	2,75	25 000
Торкрет-бетон	40	3,0	26 000

Выполняя сопоставление по таблице 1 можно отметить схожесть свойств торкрет-бетона с мелкозернистым бетоном аналогичной прочности. При этом деформационные характеристики каменной кладки существенно отличаются (меньше более чем в 6 раз). В этой связи в явном виде необходим учет совместной работы усиливаемой конструкции и внешней обоймы (аппликации) из торкрет-бетона. Данный учет совместной работы фактически не возможно реализовать в рамках аналитических расчетов (исключение эмпирические зависимости при условии четкого ограничение области применения рассматриваемых формул). Таким образом обосновывается необходимость проведения расчетов методом конечных элементов, учитывающим этапность устройства и загрузки усиливаемой конструкции.

Технология проектирования усиления

Рассматриваемая методика моделирования усиления каменной кладки торкрет-бетоном должна включать следующие основные этапы переходной расчетной ситуации (период усиления конструкции):

- разгрузка каменной кладки путем снятия временных нагрузок;
- установка временных опор (возможно дополнительное разгружение кладки);
- усиление кладки торкрет-бетоном (догружение конструкции);
- работа усиленной каменной кладки, догружение ранее снятых нагрузок (демонтаж временных опор).

В качестве примера рассмотрено усиление несущих конструкций многоэтажного здания, получившего повреждения несущих конструкций в результате минно-взрывных воздействий. Общий вид расчетной схемы представлен на рисунке 1.

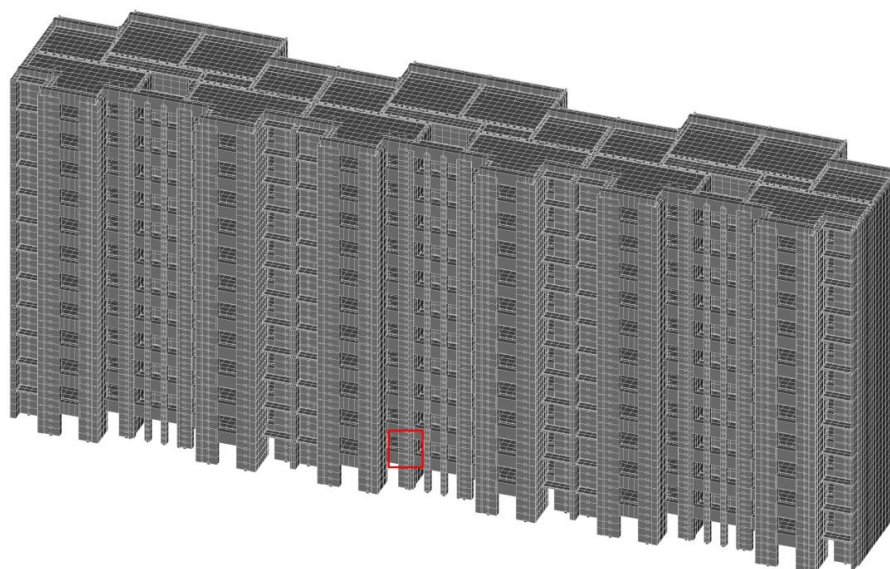


Рисунок 1 - Расчетная модель здания

Далее рассмотрим 2 модели моделирования усиления:

Модель 1. Одноэтапная модель без учета этапности проведения работ, т.е. расчет при включении элементов усиления фактически при строительстве здания.

Модель 2. Учитываются начальные деформации системы, а также наследование деформаций от этапа к этапу производства работ. В качестве этапов будут рассмотрены ранее описанные этапы начиная с разгрузки и установки временных опор и заканчивая загрузкой усиленной конструкции.

Результаты определения усилий в элементах кладки и внешней аппликации из торкрет-бетона представлены на рисунке 2. Рисунок 2 а – результаты расчета по модели 1, рисунок 2 б – тоже по модели 2.

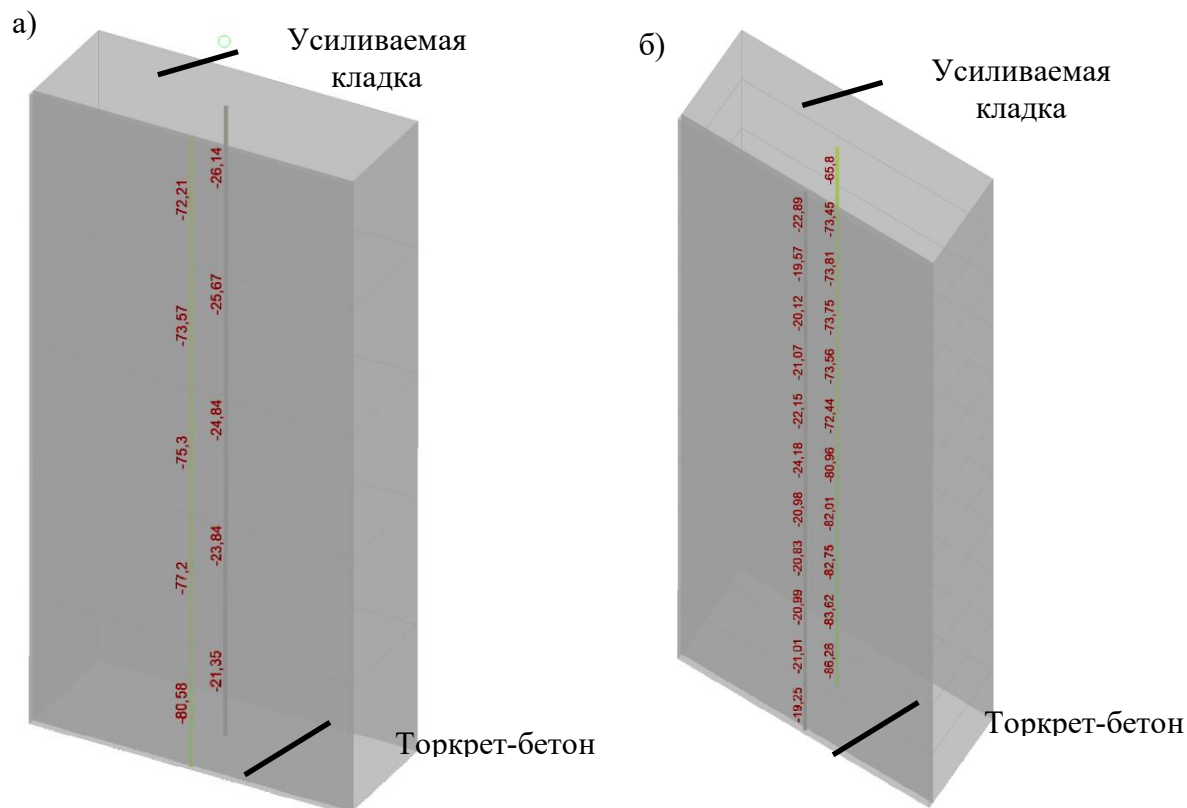


Рисунок 2 - Результаты расчета усилий в элементах кладки при моделировании: а) Модель 1, б) Модель 2

Распределение усилий в Модели 1: 75% на торкрет-бетон и 25% на кладку, в Модели 2 21% на торкрет-бетон и 79% на кладку. Значительное нагружение торкрет-бетона в Модели 1 объясняется большей продольной жесткостью торкрет-бетона (при толщине торкрет-бетона 80 мм и толщине кладки 380 мм жесткость последней меньше примерно на 25%) при условии одновременного нагружения конструкций. Модель 2 не смотря на ту же разницу в жесткостях учитывает начальные деформации кладки (от собственного веса конструкций) в момент устройства усиления и как результат корректно учитывает распределение усилий.

Также важным моментом в результатах моделирования является факт, что в Модели 1 несущая способность аппликации из торкрет-бетона не обеспечена, а в Модели 2 значительно нагружена каменная кладка (коэффициент использования 0,86). Т.е. не корректное моделирование может привести к диаметрально противоположным результатам: мнимому дефициту несущей способности железобетонной аппликации и реальному дефициту несущей способности усиливаемой кладки.

Опыт применения при усилении конструкций

В качестве основных примеров использования торкрет-бетона рассмотрены наиболее сложные случаи, в которых получилось реализовать современные достижения в области применения торкрет-бетона:

- восстановление кладки несущих стен, получивших значительные повреждения в результате длительной эксплуатации и деформации основания;
- восстановление кирпичного сводчатого перекрытия;
- восстановление несущих конструкций стен из каменной кладки многоэтажного здания, получивших повреждения в результате минно-взрывных воздействий.

Данные примеры реально выполненных объектов реализованы ООО «Апекс» материалами АПЕКС Торкрет в 2022-2023 годах.

Каменная кладка при длительных нагрузках работает как упругопластический материал, что приводит к значительным деформациям сводчатых покрытий в том числе без образования трещин (см. рисунок 3 а). При этом восстановление данных конструкций сильно затруднено, т.к. изменение геометрии свода сводит на нет арочную работу конструкции. А перекладка кладки локального участка свода не возможна технологически. В данном случае наиболее оптимальным является устройство усиления по внутренней поверхности свода, которое позволяет рассматривать усиленную конструкцию с учетом балочного эффекта: каменная кладка свода, а также армированный торкрет-бетон в растянутой зоне воспринимают возникающий при деформировании кладки изгибающий момент.

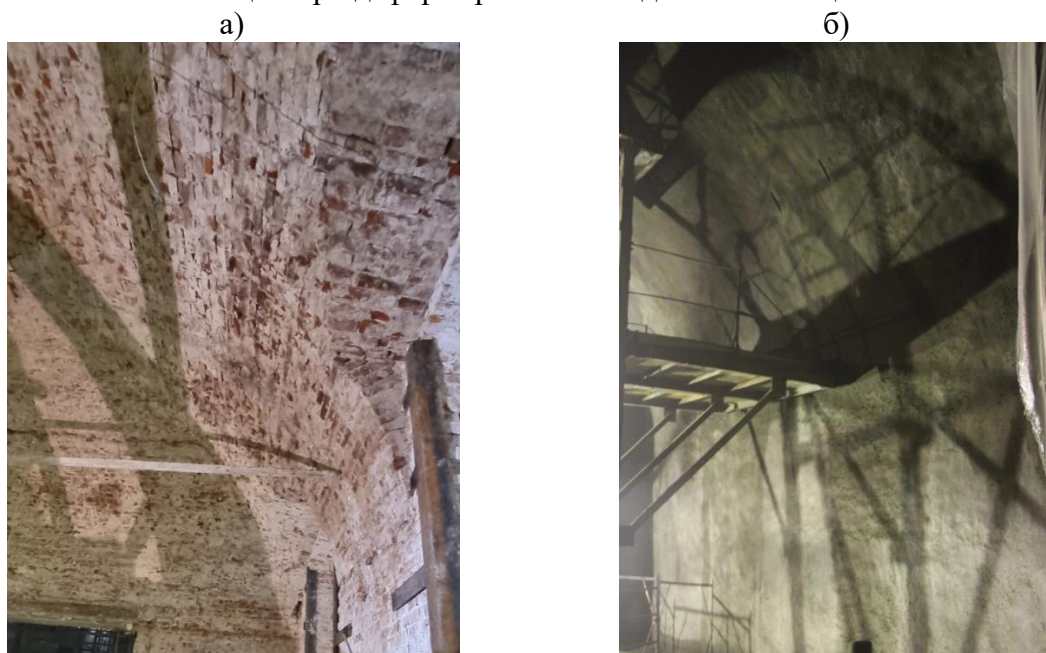


Рисунок 3 - Начальные дефекты и последующее восстановление кирпичного свода

Один из примеров результатов усиления кирпичного свода приведен на рисунке 3 б. В данном случае усиление выполнено по нижней грани односторонней аппликацией из торкрет-бетона, армированного стальной сеткой d4 ячейкой 100x100 мм (крепление сетки только за счет адгезии торкрет-бетона к базовому материалу кладки, что подтверждено испытаниями [6], а также отработанной технологией производства работ [18-20].

Усиление поврежденных кирпичных стен в ряде случаев невозможно реализовать только односторонними аппликациями, при значительных повреждениях необходимы дополнительные мероприятия. Одним из возможных вариантов является устройство встроенных пилонов (встроенных в кладку), выполняемых также методом торкретирования (рисунок 4).

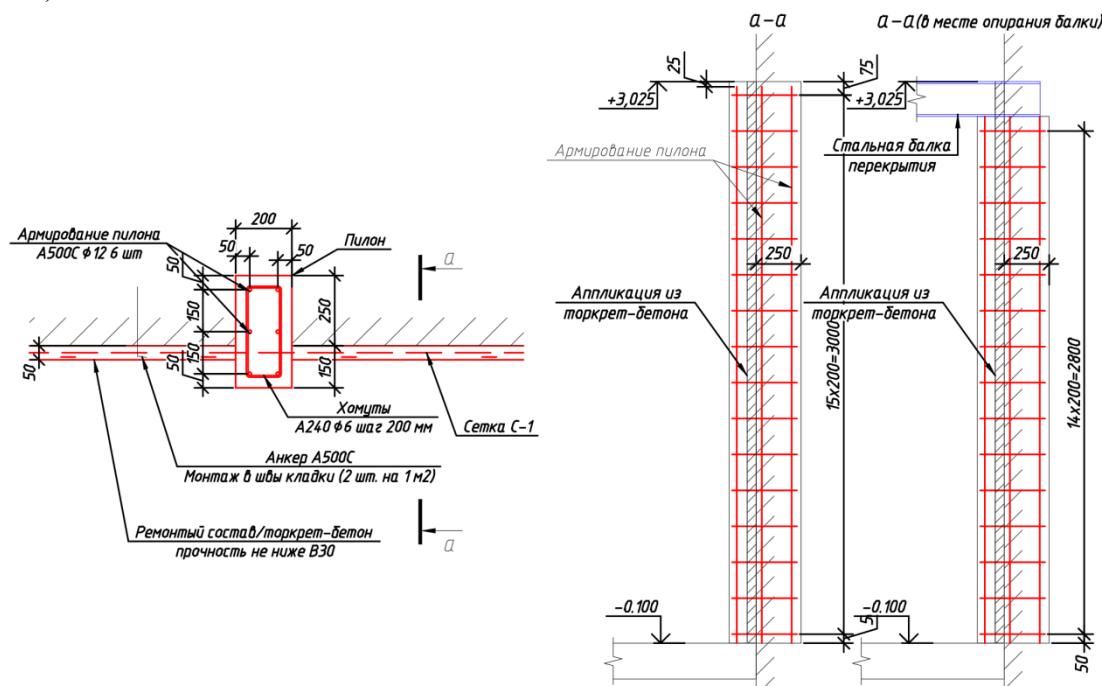


Рисунок 4 - Усиление кладки торкрет-бетоном со встроенным пилоном

Реализация данного решения представлена на рисунке 5. При этом крепление армирования реализовано только за счет сил адгезии торкрет-бетона к кирпичной кладке. Крепление на анкерах только стальной сетки на период устройства торкрет-бетона.



Рисунок 5 - Усиление каменной кладки стен односторонними аппликациями из торкрет-бетона со встроенными пилонами

Также представляет интерес полученный опыт в ходе реализации проекта восстановления несущих стен из каменной кладки здания, получивших повреждения в результате боевых действий в г. Мариуполь. С целью реализации масштабного проекта по усилению практически всех наружных стен одного из фасадов трёхсекционного здания были разработаны:

- методика проведения работ по усилению (включая методические рекомендации по расчету и проектированию);
- специальный состав для проведения работ (кладка выполнена из силикатного кирпича), не требующий специальных мероприятий по анкеровки;
- технология проведения работ.

Техническое решение по усилению стен представлено на рисунке 6.

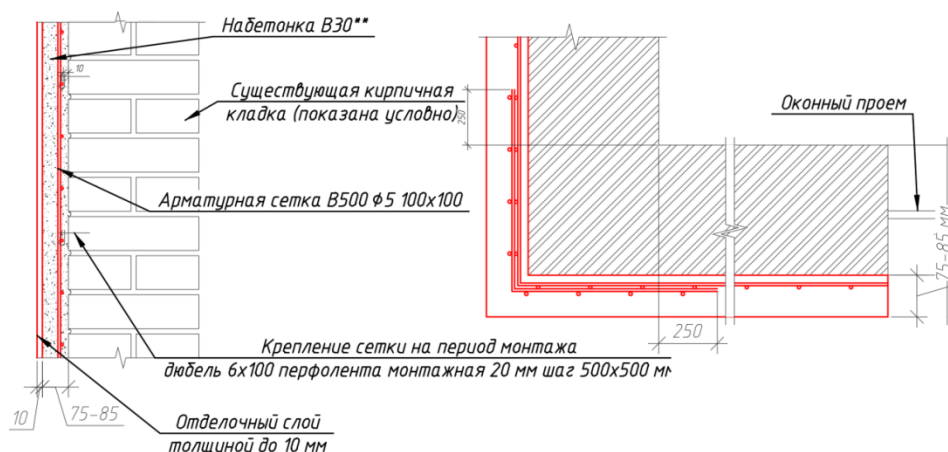


Рисунок 6 - Техническое решение по усилению несущих стен здания

Решение представляет собой одностороннюю аппликацию из торкрет-бетона прочностью В60 (состав АПЕКС Торкрет 60), армированный стальной сеткой. Дополнительное усиление в зоне внешних углов здания.

В общем виде реализация данного проекта представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 - Усиление несущей кладки стен, получившей повреждения в результате боевых действий, односторонними аппликациями из торкрет-бетона

Выводы

По результатам анализа приведенного в настоящей статье опыта применения торкрет-бетона для усиления несущих конструкций из каменной кладки можно сделать следующие выводы:

1. К настоящему времени накоплен значительный опыт применения торкрет-бетона для усиления в том числе несущих конструкций из каменной кладки. В месте с тем технология торкретирования существенно модернизируется как в части оборудования, так и в вопросах, связанных с качественными характеристиками самого материала.
2. Представленные в настоящее время методики расчета каменной кладки с усилением железобетонной обоймой и односторонними аппликациями не учитывают этапность проведения работ, начальные деформации усиленной конструкции и разницу в модуле деформации кладки и железобетона. Учет данных параметров существенно меняет рассчитываемые значения НДС как усиливаемой кладки, так и элемента усиления из железобетона.
3. Современные составы для усиления каменной кладки методом торкретирования позволяют надежно крепить систему усиления без специальных анкерующих устройств только за счет высокой адгезии торкрет-бетона к каменной кладке, что подтверждено как лабораторными исследованиями на различном кирпиче, в том числе силикатном, так и большим списком референтных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальцев А.М. Основы железобетонного строительства. Транспечать НКПС, 1929. 62 с.
2. Тонких Г.П., Кабанцев О.В., Кошаев В.В. Методика экспериментальных исследований по усилению зданий из каменной кладки железобетонными аппликациями // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2005. № 6. С. 63-65.
3. Тонких Г.П., Кабанцев О.В., Симаков О.А., Баев С.М. Экспериментальные исследования сейсмоусиления каменной кладки наружными бетонными аппликациями // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. № 2. С. 35-41.
4. Альбом конструктивных решений по сейсмоусилению каменных зданий и сооружений / Под ред. Тонких Г. П., Кабанцева О. В. Томск. 2010. 114 с.
5. Lawrence F., Kahn L. Shotcrete retrofit for unreinforced brick masonry // 8th WCEE, USA, 1984. Pp. 583-590.
6. Кабанцев О. В., Симаков О. А., Нещадимов В. А., Штырлов Д. А. Усиление несущих стен из каменной кладки поврежденных многоэтажных зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 7. С. 29-35. doi:10.33622/0869-7019.2023.07.29-35.
7. Scamardo M., Cattaneo S., Pietro Crespi, Biolzi L. Design method for masonry structures retrofitted with steel reinforced plaster // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 79. Pp. 107828. DOI:10.1016/j.job.2023.107828
8. Abrams D. P., Lynch J. M. Flexural behavior of retrofitted masonry piers // EERC-MAE Joint Seminar on Risk Mitigation for Regions of Moderate Seismicity, Illinois, USA. 2001.
9. Iuorio O., Dauda J. Retrofitting Masonry Walls against Out-Of-Plane Loading with Timber Based Panels // Engineering Applied Sciences. 2021. No 11 June.
10. Facconi L., Lucchini S.S., Minelli F., Plizzari G.A. Analytical model for the in-plane resistance of masonry walls retrofitted with steel ber reinforced mortar coating // Eng. Struct. 2023. Vol. 275. 115232. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115232>.
11. Wang F., Kyriakides N., Chrysostomou C. et al. Experimental Research on Bond Behaviour of Fabric Reinforced Cementitious Matrix Composites for Retrofitting Masonry Walls // Int J Concr Struct Mater. 2021. Vol. 15. <https://doi.org/10.1186/s40069-021-00460-1>.
12. Jin Y.H., Zhou Z., Bao B., Wang H., Wang T. Experimental study on the seismic performance of clay brick masonry wall strengthened with stainless steel strips // Journal of Building Engineering. 2023. Volume 69, 15 June 2023, 106076.
13. Wang F. Experimental Research on Seismic Performance of Masonry-Infilled RC Frames Retrofitted by Using Fabric-Reinforced Cementitious Matrix Under In-Plane Cyclic Loading // Int J Concr Struct Mater. 2023. Vol. 17. No. 31. <https://doi.org/10.1186/s40069-023-00594-4>
14. Aminulai H. O., Baiguera M., Crump D., Sextos A., Kashani M. Experimental qualification of seismic strengthening of URM buildings in Nepal // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2023. Volume 173, October 2023, 108130.

15. ElGawady M., Lestuzzi P., Badoux M. In-Plane Seismic Response of Unreinforced Masonry Walls Upgraded with Fiber Reinforced Polymer // *J. Comp. for Constr.* 2005. 9(6).
16. ElGawady M., Lestuzzi P., Badoux M. Static cyclic response of masonry walls retrofitted with fiber reinforced polymers // *J. Comp. for Constr.* 2007. Volume 11. Issue 1.
17. Ilaria C., Maura I., Elio S. Experimental tests and numerical modelling of reinforced masonry arches // *Engineering Structures*. 2010. Vol. 32. Pp. 776–792.
18. Технологические правила торкретирования кладки инженерных сооружений. М., 1985. 25 с.
19. Технологические правила применения набрызгбетона при ремонте и реконструкции инженерных сооружений. М., 1978. 22 с.
20. Джабаров М. К, Мардон М. Методы усиления кирпичных зданий пневмобетоном и штукатурными слоями в сейсмических районах. Ташкент, 1985.

REFERENCES

1. Maltsev A.M. Osnovy zhelezobetonnoho stroitel'stva [Fundamentals of reinforced concrete construction]. Transpechat' NKPS, 1929.
2. Tonkih G.P. Kabancev O.V., Koshaev V.V. Metodika eksperimental'nyh is-sledovaniy po usileniyu zdaniy iz kamennoy kladki zhelezobetonnyimi aplikatsiyami [Methodology of experimental research on strengthening of masonry buildings with reinforced concrete applications]. *Seismostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij*. 2005. No 6. Pp. 63-65. EDN: TSQAKB
3. Tonkih G.P., Kabancev O.V., Simakov O.A., Baev S.M. Eksperimental'nye issledovaniya seismousileniya kamennoy kladki naruzhnymi betonnyimi aplikatsiyami [Experimental investigations of the seismic strengthening of the masonry by the external concrete applications]. *Seismostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij*. 2011. No 2. Pp. 35-41. EDN: QCWDBZ
4. Al'bom konstruktivnyh reshenij po seismousileniyu kamennyh zdaniy i sooruzhenij [Album of constructive solutions for seismic strengthening of masonry buildings and structures]. Eds. Tonkih G. P., Kabantsev O. V. Tomsk. 2010. 114 p.
5. Lawrence F., Kahn L. Shotcrete retrofit for unreinforced brick masonry. 8th WCEE, USA, 1984. Pp. 583-590.
6. Kabantsev O.V., Simakov O.A., Neshchadimov V.A., SHtyrlov D.A. Usilenie ne-sushchih sten iz kamennoy kladki povrezhdennyh mnogoetazhnyh zdaniy [Reinforcement of bearing walls made of masonry of damaged multistory buildings]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2023. No. 7. Pp. 29-35. doi:10.33622/0869-7019.2023.07.29-35
7. Scamardo M., Cattaneo S., Pietro Crespi, Biolzi L. Design method for masonry structures retrofitted with steel reinforced plaster. *Journal of Building Engineering*. 2023. Vol. 79. Pp. 107828. doi:10.1016/j.job.2023.107828
8. Abrams D. P., Lynch J. M. Flexural behavior of retrofitted masonry piers. EERC-MAE Joint Seminar on Risk Mitigation for Regions of Moderate Seismicity, Illinois, USA. 2001
9. Iuorio O., Dauda J. Retrofitting Masonry Walls against Out-Of-Plane Loading with Timber Based Panels. *Engineering Applied Sciences*. 2021. No. 11 June.
10. Facconi L., Lucchini S.S., Minelli F., Plizzari G.A. Analytical model for the in-plane resistance of masonry walls retrofitted with steel ber reinforced mortar coating. *Eng. Struct.* 2023. Vol. 275. 115232. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115232>.
11. Wang F., Kyriakides N., Chrysostomou C. et al. Experimental Research on Bond Behaviour of Fabric Reinforced Cementitious Matrix Composites for Retrofitting Masonry Walls. *Int J Concr Struct Mater*. 2021. Vol. 15. <https://doi.org/10.1186/s40069-021-00460-1>.
12. Jin Y.H., Zhou Z., Bao B., Wang H., Wang T. Experimental study on the seismic performance of clay brick masonry wall strengthened with stainless steel strips. *Journal of Building Engineering*. 2023. Volume 69, 15 June 2023, 106076.
13. Wang F. Experimental Research on Seismic Performance of Masonry-Infilled RC Frames Retrofitted by Using Fabric-Reinforced Cementitious Matrix Under In-Plane Cyclic Loading. *Int J Concr Struct Mater*. 2023. Vol. 17. No. 31. <https://doi.org/10.1186/s40069-023-00594-4>
14. Aminulai H. O., Baiguera M., Crump D., Sextos A., Kashani M. Experimental qualification of seismic strengthening of URM buildings in Nepal. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2023. Volume 173, October 2023, 108130.
15. ElGawady M., Lestuzzi P., Badoux M. In-Plane Seismic Response of Unreinforced Masonry Walls Upgraded with Fiber Reinforced Polymer. *J. Comp. for Constr.* 2005. Vol. 9(6).
16. ElGawady M., Lestuzzi P., Badoux M. Static cyclic response of masonry walls retrofitted with fiber reinforced polymers. *J. Comp. for Constr.* 2007. Volume 11. Issue 1.
17. Ilaria C., Maura I., Elio S. Experimental tests and numerical modelling of reinforced masonry arches. *Engineering Structures*. 2010. Vol. 32. Pp. 776–792.

18. Tekhnologicheskie pravila torkretirovaniya kladki inzhenernyh sooruzhenij [Technological rules for shotcreting of masonry of engineering structures]. Moscow, 1985. 25 p.
19. Tekhnologicheskie pravila primeneniya nabryzgbetona pri remonte i rekonstrukcii inzhenernyh sooruzhenij [Technological rules of application of nabryzgbeton at repair and reconstruction of engineering constructions]. Moscow, 1978. 22 p.
20. Dzhabarov M. K, Mardon M. Metody usileniya kirpichnyh zdaniy pnevmobetonom i shtukaturnymi sloями v seismicheskikh rajonah [Methods of reinforcement of brick buildings with pneumatic concrete and plaster layers in seismic areas]. Tashkent, 1985.

Информация об авторе:

Симаков Олег Александрович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

кандидат технических наук, доцент кафедры Железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: simakov-ne@mail.ru

Information about author:

Simakov Oleg A.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

candidate of technical sciences, associate professor of the department of Reinforced Concrete and Stone Structures.

E-mail: simakov-ne@mail.ru