

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ
СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙMODERN METHODS OF STRENGTHENING
THE MASONRY OF EXISTING BUILDINGS**Виноградова Кристина Евгеньевна**

студентка

Кубанский государственный технологический университет
vinkrist@yandex.ru**VinogradovaKristinaEvgenевна**

Student,

Kuban State University of Technology

vinkrist@yandex.ru

Аннотация. Здания с применением каменных конструкций существуют до сих пор. Такие здания уязвимы к сильным внешним нагрузкам, вызванным землетрясением, сильным ветром, взрывом и т.д. В данной статье рассматриваются методы усиления и реконструкции каменной кладки существующих зданий. Фундаментальная концепция подходов к усилению заключается в том, чтобы уменьшить влияние внешней нагрузки, повысить несущую способность отдельного элемента и улучшить целостность каменной конструкции в целом. Представлено сравнение преимуществ и недостатков каждого метода для выявления наиболее подходящей технологии в различных случаях.

Ключевые слова: каменная кладка, усиление, реконструкция, торкретирование, стеклопластик.

Annotation. In this paper, the methods of strengthening and reconstructing the masonry of existing buildings are reviewed. A comparison of the advantages and disadvantages of each method is presented to identify the most appropriate technology in different cases.

Keywords: masonry, reinforcement, reconstruction, shotcrete, fiberglass.

Каменная кладка – это материал, изготовленный из кирпичных блоков и строительного раствора, который используется на протяжении веков. Она часто встречается в существующих зданиях, представляющих собой эстетическую, социальную, археологическую, культурную, экономическую и технологическую ценность и являющихся культурным наследием. Строительные технологии и исходный материал в такой кладке чрезвычайно уязвимы и подвергаются опасности в процессе эксплуатации. Поэтому работы по реконструкции и усилению таких зданий и сооружений призваны помочь им выжить в условиях экстремальных нагрузок.

Для кладочных конструкций или кладочных несущих стен, включая вертикальные и горизонтальные элементы кладки, повышение прочности элемента может улучшить сопротивление нагрузкам всей конструкции, тем самым улучшая способность кладочной конструкции или элемента кладки противостоять неожиданным внешним нагрузкам. Эта концепция наиболее часто применяется при реконструкции кладочных конструкций [1].

Одним из методов усиления каменной кладки является *поверхностная обработка*, представляющая собой прикрепление упрочняющих материалов к исходной конструкции и связывание их между собой с помощью строительного раствора или стальных звеньев. Наиболее часто используемым подходом при обработке поверхности является торкрет-бетон.

Торкретирование наносится путем распыления бетона на проволочную сетку, установленную на поверхности каменной кладки стены (рис. 1). Перед нанесением торкрет-бетона сначала следует провести удаление кусков кирпичей и заполнение пустот. Арматурные сетки устанавливаются с зазором 30–40 мм от поверхности стены и крепятся к ней анкерами или «заершенными» штырями, забиваемыми в стену. Толщина наложения бетона колеблется от 60 мм до 100 мм. Из опыта проектирования известно, что данный метод позволяет повысить несущую способность конструкций в 1,5–2,5 раза [2]. Кроме того, важную роль играет шероховатость поверхности кладки. Эффективность торкретирования будет улучшена, если поверхность основания будет шероховатой после удаления поврежденных участков.



Рисунок 1 – Обработка поверхности кирпичной кладки торкрет-бетоном

В целом, метод поверхностной обработки позволяет значительно повысить прочность и жесткость кладочной конструкции. Кроме того, при этом увеличивается отношение высоты стенки к общей высоте, соответственно увеличивается поперечное сопротивление в плоскости, внеплоскостная устойчивость и сопротивление изгибу. Очевидно, что этот прием подходит для вертикальных элементов кладки и будет вреден, если будет реализован на горизонтальных элементах, таких как арки. Тем не менее недостатками этого метода являются большие затраты времени на нанесение торкрет-бетона и разрушение аутентичности здания [3]. Поэтому эта техника не подходит для реконструкции каменной кладки.

Еще одним методом усиления кладки является *обработка швов* строительным раствором. Иногда кирпичные блоки в зданиях все еще хорошего качества, но раствор плохой или он заполняет швы не полностью. Поэтому раствор может быть заменен или заполнен новым связующим материалом с более высокой прочностью.

Инъектирование кирпичной кладки осуществляется заполнением пустот и трещин. Этот метод эффективен при восстановлении первоначальной жесткости и прочности каменной кладки, но не приводит к значительному улучшению исходной жесткости или прочности, даже при применении более прочного материала. Однако эффективность этой методики может быть повышена, если использовать ее в сочетании с другими методиками, например с системами FRP (стекловолокно). Обязательным условием является хорошая совместимость каменной кладки и нового раствора с точки зрения физико-химических и механических характеристик.

Этот метод подходит для большинства каменных зданий, являющихся частью культурного наследия, поскольку подлинность кладки может быть проверена после реконструкции. Другой идеальной областью применения является многослойная кладка стен, где связь между различными слоями плохая, а также присутствуют пустоты во внутреннем ядре бутового камня. Этот метод становится популярным и практичным из-за его минимальной стоимости и простоты реализации, а главное, его устойчивости [4].

Следующий метод – применение *внешней стальной обоймы*.

Суть этого метода заключается в установке стальных элементов рядом с оригинальным элементом кладки, которые могут быть связаны друг с другом или нет. Обойма препятствует расширению кладки, что увеличивает ее несущую способность в 2–2,5 раза.

При появлении трещин в результате превышения внешней нагрузки несущей способности кладки новая стальная система, имеющая значительно большую жесткость, остановит распространение трещин. В таком случае внешнюю нагрузку будет нести более прочная стальная обойма, в то время как первоначальная кладочная система может работать как структурный элемент вместо того, чтобы нести нагрузки [5].

Этот метод очень эффективен при повышении сопротивления нагрузке конструкций, так как сталь является прочным модифицирующим материалом. Поэтому этот подход применим для слабых каменных конструкций или конструкций, которые нуждаются в значительном улучшении. Однако, поскольку внешний вид стали изменит эстетику оригинальной каменной конструкции, этот метод не является подходящим для реконструкции памятников архитектуры. Кроме того, еще одной проблемой, связанной с его внедрением, является высокая стоимость.

Некоторые из недостатков вышеприведенных подходов, например, увеличение массы и объема конструкции, можно преодолеть с помощью применения *композитных стекловолоконных полимерных систем (FRP)* (рис. 2). Композит FRP впервые был использован для усиления существующих бетонных конструкций. Позже применение FRP было расширено на другие (каменные, деревянные) конструкции [6].



Рисунок 2 – Усиление кирпичной кладки композитным стекловолокном

Армирование каменной кладки с использованием стеклопластика обладает такими достоинствами, как небольшая добавленная масса и относительно высокое повышение прочности. Тем не менее, недостатки этой техники заключаются в том, что она дорогостоящая, требует высокого технического мастерства и меняет внешний вид конструкции. Первоначальная стоимость материала FRP примерно в 5–10 раз дороже стали, что является большой проблемой при выборе подходов к реконструкции. Кроме того, свойства и характеристики, особенно в долгосрочной перспективе, материалов FRP не были до конца изучены. FRP обычно наносится путем внешнего прикрепления полос или листов к поверхности кладочной стены, создавая водонепроницаемый барьер и предотвращая естественное испарение каменной конструкции. Этот тип усиления конструкций будет слабым при применении связующего материала на основе эпоксидной смолы [7].

Более дешевой альтернативой FRP смогут служить полипропиленовая (PP) лента и бамбуковые сетки. PP-лента – универсальный дешевый упаковочный материал, обладающий эластичностью. Армирование кирпичной кладки PP-лентой обеспечивает более высокую остаточную прочность после появления трещин. Этот материал подходит для малопрочных кладочных конструкций. При применении на высокопрочной кладке эффективность будет гораздо менее значительной. Преимущества полипропиленовых и бамбуковых сеток заключаются в их низкой стоимости и легкодоступности.

Система reticulatus (лат. сетчатый) была недавно предложена для реконструкции каменной кладки из бутового камня [8]. Этот метод осуществляется путем введения непрерывной сетки из высокопрочной арматуры в растворные швы, которые отслаиваются примерно на 40–60 мм. Затем арматурную сетку крепят к кладочной панели поперечными металлическими прутьями с числом 5–6 на квадратный метр. После этого арматура и анкерные стержни в стыках повторно покрывают направленным раствором. Размер арматурной сетки обычно применяется в пределах 300–500 мм, и должен быть меньше толщины стены [9]. Подробная конфигурация типичной системы *reticulatus* представлена на рисунке 3.

Поскольку эта армирующая система может сохранить первоначальную эстетику здания, она подходит для укрепления лицевой кладки. Кроме того, эта техника подходит для кладки как правильной, так и неправильной формы. Как и в случае с FRP, система *reticulatus* не несет большой дополнительной нагрузки. До сих пор эта техника применяется только на каменной, щебеночной, галечной кладке, применение данной техники для кирпичной кладки изучается.



Рисунок 3 – Система Reticulatus

Заключение. В данной статье были рассмотрены существующие методы усиления каменной кладки. Результаты показывают, что эффективность подходов усиления различна. У каждого метода есть свои достоинства и недостатки и невозможно определить наилучший подход к реконструкции. Эффективность каждого метода усиления зависит от материала, из которого было построено первоначальное здание, а также от материала, использованного для усиления. Поэтому выбор подхода должен осуществляться для каждого конкретного случая на основе наиболее значимых факторов.

Литература

1. Хуажев С.Р., Леонова А.Н. Современные способы усиления каменных конструкций // В сборнике: Современные научно-практические решения XXI века. Материалы международной научно-практической конференции / Общая редакция: В.И. Оробинский, В.Г. Козлов. – 2016. – С. 24–26.
2. Федоров В.В., Федорова Н.Н., Сухарев Ю.В. Реконструкция зданий, сооружений и городской застройки : учебное пособие. – М. : ИНФРА-М, 2020. – 224 с. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-16-015155-7. – Текст : электронный. – URL : <https://znanium.com/catalog/product/1091684> (дата обращения: 09.06.2021).
3. Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Проектирование, строительство и эксплуатация зданий в сейсмических районах : учебное пособие. – М. : ИНФРА-М, 2021. – 226 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – DOI 10.12737/1000210. – ISBN 978-5-16-014705-5. – Текст : электронный. – URL : <https://znanium.com/catalog/product/1000210> (дата обращения: 10.06.2021).
4. Лукинский О.А. Герметизация, гидроизоляция и теплоизоляция в строительстве, ремонте и реставрации зданий и сооружений : учеб. пособие. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 662 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – www.dx.doi.org/10.12737/24453. – ISBN 978-5-16-012355-4. – Текст : электронный. – URL : <https://znanium.com/catalog/product/1000216> (дата обращения: 10.06.2021).
5. Заика А.Е., Леонова А.Н. Усиление кирпичной кладки стальной и железобетонной обоями // В сборнике: Сборник лучших научных работ молодых ученых Кубанского государственного технологического университета, отмеченных наградами на конкурсах в 3-х частях. – Краснодар, 2016. – С. 24–27.
6. Леонова А.Н., Софьяников О.Д., Кривенкова Т.В. Особенности усиления строительных конструкций композитными полимерными материалами в условиях высоких и низких температур // Перспективы науки. – 2019. – № 5 (116). – С. 64–69.
7. Таровик В.В., Леонова А.Н. Современные способы усиления строительных конструкций углеродными композитными материалами // В сборнике: Актуальные вопросы городского строительства, архитектуры и дизайна в курортных регионах. Материалы Второй Всероссийской научно-практической конференции. – 2015. – С. 75–79.
8. Shear behavior of unreinforced and reinforced masonry panels subjected to in situ diagonal compression tests / A. Borri [et al.] // *Constr.Build.Mater.* – Vol. 25. – P. 4403–4414. – URL : <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.01.009>
9. The Reticulatus method for shear strengthening of fair-faced masonry / M. Corradi [et al.] // *Bull. Earthquake Eng.* – Vol. 14. – P. 3547–3571. – URL : <http://dx.doi.org/10.1007/s10518-016-0006-5>

References

1. Khuazhev S.R., Leonova A.N. Modern methods of strengthening stone structures // In the collection: Modern scientific and practical solutions of the XXI century. Materials of the international scientific-practical conference / Editorial board: V.I. Orobinsky, V.G. Kozlov. – 2016. – P. 24–26.
2. Fedorov V.V., Fedorova N.N., Sukharev Yu.V. Reconstruction of buildings, structures and urban development: a training manual. – M. : INFRA-M, 2020. – 224 p. – (Secondary Vocational Education). – 978-5-16-015155-7. – Text : electronic. – URL : <https://znanium.com/catalog/product/1091684> (date of reference: 09.06.2021).
3. Alexeenko V.N., Zhilenko O.B. Design, construction and operation of buildings in seismic areas: a training manual. – M.: INFRA-IM, 2021. – 226 p. – (Higher education: Bachelor's Degree). – DOI: 10.12737/1000210. – ISBN 978-5-16-014705-5. – URL : <https://znanium.com/catalog/product/1000210> (date of reference: 10.06.2021).
4. Lukinsky O.A. Sealing, waterproofing and thermal insulation in the construction, repair and restoration of buildings and structures : textbook. – M. : INFRA-M, 2019. – 662 p. - (Higher education: Bachelor's degree). – www.dx.doi.org/10.12737/24453. – ISBN 978-5-16-012355-4. – Text : electronic. – URL : <https://znanium.com/catalog/product/1000216> (date of reference: 10.06.2021).
5. Zaika A.E., Leonova A.N. Strengthening of brickwork with steel and reinforced concrete cladding // In the collection: Collection of the best scientific papers of young scientists of Kuban State Technological University, awarded at competitions in 3 parts. – Krasnodar, 2016. – P. 24–27.
6. Leonova A.N., Sofyanikov O.D., Krivenkova T.V. Features of strengthening of building structures by composite polymeric materials in conditions of high and low temperatures // Perspectives of Science. – 2019. – № 5 (116). – P. 64–69.
7. Tarovik V.V., Leonova A.N. Modern ways of strengthening of building constructions by carbon composite materials // In the collection: Actual questions of urban construction, architecture and design in the resort regions. Materials of the Second All-Russian Scientific and Practical Conference. – 2015. – P. 75–79.
8. Shear behavior of unreinforced and reinforced masonry panels subjected to in situ diagonal compression tests / A. Borri [et al.] // *Constr.Build.Mater.*– Vol. 25. – P. 4403–4414. – URL : <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.01.009>
9. The Reticulatus method for shear strengthening of fair-faced masonry / M. Corradi [et al.] // *Bull. Earthquake Eng.* – Vol. 14. – P. 3547–3571. – URL : <http://dx.doi.org/10.1007/s10518-016-0006-5>