

В.А. ГЛАДКИХ<sup>1</sup>, Е.В. ДОМАРОВА<sup>1</sup>, Д.С. ПОПОВ<sup>1</sup>, И.С. ШАКАЛОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

## УСИЛЕНИЕ ТОРКРЕТ-БЕТОНОМ НЕСУЩИХ СТЕН ИЗ КАМЕННОЙ КЛАДКИ

**Аннотация.** Выполнен анализ типов повреждений вертикальных несущих элементов из каменной кладки от взрывных воздействий, описаны основные признаки таких повреждений, требующих специальных способов усиления. Современные методы восстановления несущей способности каменной кладки требуют доработки и адаптации при рассмотрении случаев взрывных воздействий. Предметное обследование несущих стен выявило снижение сил сцепления (адгезии) между кирпичом и раствором, деградацию связей между наружной верстой и основным массивом кладки. Для восстановления несущей способности поврежденных элементов предложен современный метод, заключающийся в устройстве односторонних аппликаций из торкрет-бетона, позволяющий восстановить разрушенные связи внутри кладки и обеспечивающий высокий уровень механизации труда. Для определения физико-механических характеристик торкрет-бетона, а также адгезионной прочности между бетоном аппликации и кирпичом кладки, обеспечивающей совместность работы конструкции усиления из торкрет-бетона и существующей каменной кладки, были проведены экспериментальные исследования. Испытания проводились на 20 образцах с основанием из керамического кирпича для определения физико-механических характеристик, испытывались призмы и цилиндры, изготовленные из торкрет-бетона. Определено, что технология нанесения торкрет-бетона со скоростью 150 м/с приводит к уменьшению удельного веса смеси за счет ее уплотнения. Установлено, что при одинаковом модуле упругости торкрет-бетона и тяжелого бетона призматическая прочность торкрет-бетона значительно больше. По результатам исследований получены модуль упругости торкрет-бетона 26400 МПа, средняя призматическая прочность торкрет-бетона 42 МПа. Полученные характеристики могут быть использованы для численного моделирования и расчетного обоснования при разработке проекта усиления конструкций.

**Ключевые слова:** каменная кладка, взрывные воздействия, усиление, торкрет-бетон, экспериментальные исследования, адгезионная прочность.

V.F. GLADKIKH<sup>1</sup>, E.V. DOMAROVA<sup>1</sup>, D.S. POPOV<sup>1</sup>, I.S. SHAKALOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

## REINFORCEMENT OF LOAD-LOADING MASONRY WALLS WITH SHOTCRETE

**Abstract.** The analysis of the types of damage to vertical load-bearing elements of masonry from explosive impacts is carried out, the main signs of such damage requiring special reinforcement methods are described. Modern methods of restoring the bearing capacity of masonry require refinement and adaptation when considering cases of explosive impacts. A substantive examination of the load-bearing walls revealed a decrease in the adhesion forces between the brick and mortar, degradation of the connections between the outer verst and the main masonry array. To restore the bearing capacity of damaged elements, a modern method is proposed, consisting in the device of one-sided applications of shotcrete, which allows to restore the destroyed connections inside the masonry and provides a high level of mechanization of labor. Experimental studies were conducted to determine the physical and mechanical characteristics of shotcrete, as well as the adhesive strength between the concrete of the application and the masonry

brick, which ensures the compatibility of the reinforcement structure of shotcrete and existing masonry. Tests were carried out on 20 samples with a ceramic brick base to determine the physical and mechanical characteristics, prisms and cylinders made of shotcrete were tested. It is determined that the technology of applying shotcrete at a speed of 150 m / s leads to a decrease in the specific weight of the mixture due to its compaction. It is established that with the same modulus of elasticity of shotcrete and heavy concrete, the prismatic strength of shotcrete is significantly greater. According to the research results, the modulus of elasticity of shotcrete is 26400 MPa, the average prismatic strength of shotcrete is 42 MPa. The obtained characteristics can be used for numerical modeling and computational justification when developing a structural reinforcement project.

**Keywords:** masonry, explosive effects, reinforcement, shotcrete, experimental studies, adhesion strength.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев К.В., Бобров В.В., Скакун П.В., Левин Д.И., Домарова Е.В. Обследование и восстановление поврежденных конструкций зданий вследствие взрывных и температурных воздействий // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 7. С. 36-42. doi:10.33622/0869-7019.2023.07.36-42
2. 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
3. Шведова В.И., Тумольский А.П., Молчанова А.В. Применение стахановских методов на восстановительных работах. Общестроительные работы. М.-Л., 1945. 88 с.
4. Басов М.А. Восстановление зданий, разрушенных бомбардировкой. М.-Л.: Наркомзем РСФСР, 1943. 88 с.
5. Barazesh M., Shamim I., Anvar S. Masonry Infill Walls Enhanced with the Reinforced Shotcrete in Blast Incidents // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. 2023. doi:10.1007/s40996-023-01177-9.
6. Facconi L., Lucchini S., Minelli F., Plizzari G. Analytical model for the in-plane resistance of masonry walls retrofitted with steel fiber reinforced mortar coating // Engineering Structures. 2023. No. 275. Pp. 115232. doi:10.1016/j.engstruct.2022.115232.
7. СП 427.1325800.2018 Каменные и армокаменные конструкции. Методы усиления (с Изменением N 1)
8. Тонких Г.П., Симаков О.А., Симаков А.Б., Кабанцев О.В., Баев С.М., Панфилов П.С. Экспериментальные исследования сейсмоусиления каменной кладки наружными бетонными аппликациями // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. № 2. С. 35-42.
9. Ghezlbash A., Beyer K., Dolatshahi K., Yekrangnia M. Shake table test of a masonry building retrofitted with shotcrete // Engineering Structures. 2020. No. 219. doi:10.1016/j.engstruct.2020.110912.
10. Adil M. Shear Strength Evaluation of Strengthened Unreinforced Brick Masonry Walls by Using Shotcrete. ARPN Journal of Science and Technology. 2015. № 5. С. 138.
11. Rismanian Y.B., Tafti M., Mirjalili A. Experimental study on in-plane seismic behavior of unreinforced and damaged unreinforced masonry walls retrofitted with vertical concrete ties and bed rebar with and without shotcrete. Innovative Infrastructure Solutions. 2023. No. 8. doi:10.1007/s41062-023-01207-5.
12. Wang F. Experimental Research on Seismic Performance of Masonry-Infilled RC Frames Retrofitted by Using Fabric-Reinforced Cementitious Matrix Under In-Plane Cyclic Loading // International Journal of Concrete Structures and Materials. 2023. No. 17. doi:10.1186/s40069-023-00594-4.
13. Altoubat S., Maalej M., Karzad A., Estephane P. Rapid Strengthening of Unreinforced Masonry Walls for Out-of-Plane Actions using Fiber Reinforced Shotcrete. 2018.
14. Вильдеман В.Э. Соколкин Ю.В., Ташкинов А.А. Механика неупругого деформирования и разрушения композиционных материалов. М.: Наука, 1997. 228 с.
15. Кашеварова Г.Г., Зобачева А.Ю., Дубинский С.И. Моделирование процесса разрушения кирпичной кладки зданий в натуральных и численных экспериментах // Строительная механика и расчет сооружений. 2011. № 1. С. 69-73.
16. Кабанцев О.В. Дискретная модель каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния // Вестник ТГАСУ. 2015. № 4. С. 113-134.
17. Кабанцев О.В., Тамразян А.Г. Моделирование упругопластического деформирования каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2015. Iss. 3. Vol. 11. Pp. 87-100.
18. ГОСТ Р 58277-2018 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний.

19. ГОСТ 24452-80 Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.
20. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (с Изменениями N 1, 2).

## REFERENCES

1. Avdeev K.V., Bobrov V.V., Skakun P.V., Levin D.I., Domarova E.V. Inspection and restoration of damaged structures of buildings due to explosive and temperature influences. *Industrial and Civil Engineering*. 2023. No. 7. Pp. 36-42. (rus)
2. Kabantsev O.V., Simakov O.A., Neshchadimov V.A., Shtyrlov D.A. Reinforcement of Bearing Masonry Walls of Damaged Multi-Storey Buildings. *Industrial and Civil Construction*. 2023. No. 7. Pp. 29-35. doi:10.33622/0869-7019.2023.07.29-35 (rus)
3. Shvedova V.I., Tumol'skiy A.P., Molchanova A.V. Primenenie stakanovskikh metodov na vosstanovitel'nyh rabotah. Obshchestroitel'nye raboty [Application of Stakanov methods in restoration work. General construction works]. Moskva-Leningrad, 1945. 88 p. (rus)
4. Basov M.A. Vosstanovlenie zdaniy, razrushennykh bombardirovkoj [Restoration of buildings destroyed by bombing]. Moskva-Leningrad, Narkomzem RSFSR Publ., 1943. 88 p. (rus)
5. Barazesh M., Shamim I., Anvar S. Masonry Infill Walls Enhanced with the Reinforced Shotcrete in Blast Incidents. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. 2023. doi:10.1007/s40996-023-01177-9.
6. Faconi L., Lucchini S., Minelli F., Plizzari G. Analytical model for the in-plane resistance of masonry walls retrofitted with steel fiber reinforced mortar coating. *Engineering Structures*. 2023. No. 275. Pp. 115232. doi:10.1016/j.engstruct.2022.115232.
7. СП 427.1325800.2018 Masonry and reinforced masonry structures. Methods of strengthening (rus)
8. Tonkikh G.P., Kabantsev O.V., Simakov O.A., Simakov A.B., Baev S.M., Panfilov P.S. Experimental study of seismic strengthening of masonry exterior concrete applications. *Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy*. 2011. No. 2. Pp. 35–42. (rus)
9. Ghezlbash A., Beyer K., Dolatshahi K., Yekrangnia M. Shake table test of a masonry building retrofitted with shotcrete. *Engineering Structures*. 2020. No. 219. doi:10.1016/j.engstruct.2020.110912.
10. Adil M. Shear Strength Evaluation of Strengthened Unreinforced Brick Masonry Walls by Using Shotcrete. *ARNP Journal of Science and Technology*. 2015. No. 5. Pp. 138.
11. Rismanian Y.B., Tafti M., Mirjalili A. Experimental study on in-plane seismic behavior of unreinforced and damaged unreinforced masonry walls retrofitted with vertical concrete ties and bed rebar with and without shotcrete. *Innovative Infrastructure Solutions*. 2023. No. 8. doi:10.1007/s41062-023-01207-5.
12. Wang F. Experimental Research on Seismic Performance of Masonry-Infilled RC Frames Retrofitted by Using Fabric-Reinforced Cementitious Matrix Under In-Plane Cyclic Loading. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2023. No. 17. doi:10.1186/s40069-023-00594-4.
13. Altoubat S., Maalej M., Karzad A., Estephane P. Rapid Strengthening of Unreinforced Masonry Walls for Out-of-Plane Actions using Fiber Reinforced Shotcrete. 2018
14. Vil'deman V.E., Sokolkin Yu.V., Tashkinov A.A. Mekhanika neuprugogo deformirovaniya i razrusheniya kompozitsionnykh materialov [Mechanics of inelastic deformation and fracture of composite materials]. Moscow, Nauka Publ., 1997. 228 p. (rus)
15. Kashevarova G.G., Zobacheva A.Yu. Modeling of process of destruction of brickwork. *PNRPU Construction and Architecture Bulletin*. 2010. No. 1. Pp. 106–116. (rus)
16. Kabantsev O.V. A discrete model of masonry under conditions of biaxial stress state. *Vestnik of TSUAB*. 2015. No. 4. Pp. 113–134. (rus)
17. Kabantsev O.V., Tamrazyan A.G. Modeling of elastic-plastic deformation of masonry under conditions of biaxial stress state. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2015. Iss. 3. Vol. 11. Pp. 87–100. (rus)
18. GOST R 58277-2018 Dry building mixes based on cement binder. Test methods
19. GOST 24452-80 Concretes. Methods of prismatic, compressive strength, modulus of elasticity and Poisson's ratio determination.
20. СП 63.13330.2018 Concrete and reinforced concrete structures. General provisions.

**Информация об авторах:**

**Гладких Виталий Александрович**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
г. Москва, Россия,  
кандидат технических наук, директор НИиИЦ МГСУ СТРОЙ-ТЕСТ.  
E-mail: [GladkikhVA@mgsu.ru](mailto:GladkikhVA@mgsu.ru)

**Домарова Екатерина Владимировна**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
г. Москва, Россия,  
старший преподаватель кафедры железобетонных и каменных конструкций.  
E-mail: [cathie\\_p@mail.ru](mailto:cathie_p@mail.ru)

**Попов Дмитрий Сергеевич**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
г. Москва, Россия,  
кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.  
E-mail: [popovds89@mail.ru](mailto:popovds89@mail.ru)

**Шакалова Ирина Станиславовна**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
г. Москва, Россия,  
зам. директора НИиИЦ МГСУ СТРОЙ-ТЕСТ.  
E-mail: [ShakalovaIS@mgsu.ru](mailto:ShakalovaIS@mgsu.ru)

**Information about authors:**

**Gladkikh Vitaly Al.**

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,  
candidate of technical sciences, director of the NIIC MGSU STROY-TEST.  
E-mail: [GladkikhVA@mgsu.ru](mailto:GladkikhVA@mgsu.ru)

**Domarova Ekaterina V.**

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,  
senior teacher of the department of reinforced concrete and stone structures.  
E-mail: [cathie\\_p@mail.ru](mailto:cathie_p@mail.ru)

**Popov Dmitriy S.**

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,  
candidate of technical sciences, associated professor of the department of reinforced concrete and stone structures.  
E-mail: [popovds89@mail.ru](mailto:popovds89@mail.ru)

**Shakalova Irina S.**

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,  
deputy director of the NIIC MGSU STROY-TEST.  
E-mail: [ShakalovaIS@mgsu.ru](mailto:ShakalovaIS@mgsu.ru)