

В.А. ГЛАДКИХ¹, Е.В. ДОМАРОВА¹, Д.С. ПОПОВ¹, И.С. ШАКАЛОВА¹¹ФГБОУ 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 призмная прочность торкрет-бетона значительно больше. По результатам исследований получены модуль упругости торкрет-бетона 26400 МПа, средняя призмная 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. GLADKIKH¹, E.V. DOMAROVA¹, D.S. POPOV¹, I.S. SHAKALOVA¹¹National 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.*

Введение

Проведение восстановительных работ для обеспечения жильем населения освобожденных территорий является приоритетной государственной задачей.

Жилые здания на территории Донбасса получили значительные повреждения при взрывных и температурных воздействиях. При этом характер повреждений от такого рода воздействий отличается от часто встречаемых повреждений при обследовании зданий при обычных эксплуатационных нагрузках [1].

Значительный объем жилых зданий в новых регионах РФ имеют несущие конструкции, выполненные из каменной кладки. При обследовании таких зданий были выявлены три типа повреждений вертикальных несущих элементов от взрывных воздействий [2]:

- 1 - полное разрушение локального участка кладки в пределах одного этажа;
- 2 - полное разрушение обширного участка каменной кладки в пределах нескольких этажей с разрушением прилегающих участков перекрытий;
- 3 - полное разрушение фрагмента здания.

При этом стоит отметить, что существует небольшое количество публикаций, рассматривающих вопросы усиления зданий с несущими конструкциями из каменной кладки, имеющие повреждений при взрывных нагрузках, например, в изданиях 1930-х – 1940-х годов [3, 4].

В связи со специфичными особенностями повреждений при минно-взрывных воздействиях [2, 5], методы усиления конструкций для обеспечения требуемого уровня несущей способности, изложенные в нормативных документах по усилению каменных конструкций [6, 7], требуют доработки.

При обследовании таких конструкций было выявлено разрушение связей наружной версты с основным массивом каменной кладки, а также разрушение адгезионного взаимодействия кирпича и раствора. Поэтому при выборе метода усиления кладки необходимо исходить из необходимости восстановления монолитности кладки [8]. Одним из наиболее эффективных методов восстановления каменной кладки является устройство односторонних аппликаций из торкрет-бетона [9-13], позволяющий восстановить разрушенные связи внутри кладки и обеспечивающий высокий уровень механизации труда.

Совместность работы конструкции усиления из торкрет-бетона и существующей каменной кладки обеспечивается за счет шпонок, образующихся в швах кладки, и за счет сил адгезии между бетоном аппликации и кирпичом кладки.

Для определения основных характеристик материала усиления, таких как адгезионная прочность взаимодействия бетона с базовой поверхностью кладки, прочности на сжатие и модуля упругости торкрет-бетона, были проведены экспериментальные исследования в НИИИЦ «МГСУ СТРОЙ-ТЕСТ». Данные характеристики могут быть учтены при описании каменной кладки с повреждениями от минно-взрывных воздействий моделью В.Э. Вильдемана, Г.Г. Кашеваровой, О.В. Кабанцева «каменная кладка как кусочно-

однородный разномодульный композит с разрывными полями адгезионного взаимодействия элементов композита» [14-17].

Модели и методы исследования

Первой целью проведения экспериментальных исследований является оценка прочности сцепления (адгезии) торкрет-бетона с основанием, выполненного из кирпича.

Для проведения экспериментальных испытаний изготовлено четыре плиты (O1, O2, O3, O4) размером 800x260x170 мм с основанием из кирпича керамического одинарного полнотелого.

Перед испытанием на каждой плите были подготовлены по 5 участков измерения, количество участков выбрано в соответствии с ГОСТ Р 58277-2018.

В процесс подготовки входило:

- шлифование участков, для выравнивания поверхности;
- прорезание слоя состава «АПЕКС Торкрет 60» режущим инструментом до основания с получением образца диаметром 50 мм (рисунок 3).

После проведения подготовки, к образцам быстротвердеющим клеем высокой прочности были приклеены металлические штампы. Таким образом подготовлены образцы для испытаний диаметром 50 мм в количестве 20-ти штук.



Рисунок 1 – Подготовка образцов для оценки прочности сцепления:

а) прорезание слоя состава «АПЕКС Торкрет 60» режущим инструментом до основания с получением образца диаметром 50 мм; б) образцы, подготовленные к приклеиванию штампов

Определение прочности сцепления производилось согласно [18], по силе отрыва образца затвердевшего состава торкрет-бетона от основания из кирпича, приложенной к образцу через металлический диск с анкером (штамп), приклеенный к поверхности образца (рисунок 2).



Рисунок 2 - Проведение испытания образцов на плите (а); образцы после испытания (б)

Силу отрыва образцов от основания определяли при помощи измерителя адгезии ПСО-10 МГ4С, при этом согласно [18] возможны следующие варианты отрыва (рисунок 3): разрушение на границе между слоем затвердевшего раствора и основанием (P/O); разрушение по слою затвердевшего раствора (P/P); разрушение материала основания (O/O).

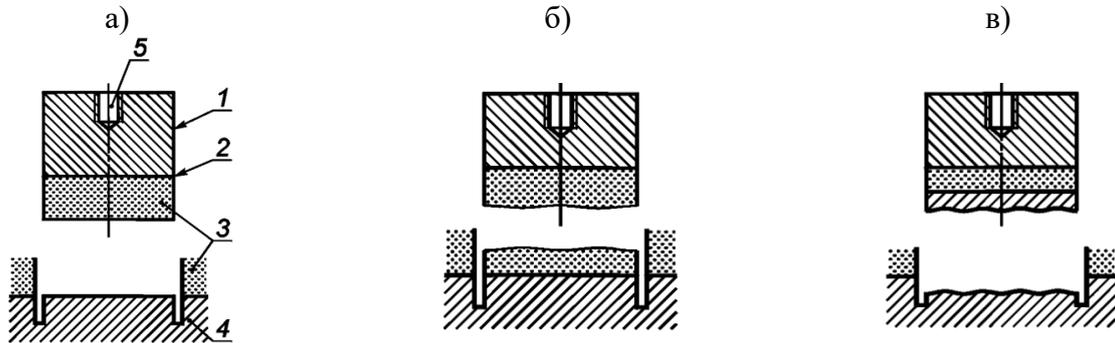


Рисунок 3 – Варианты разрушения образцов:

- а) P/O - разрушение на границе между слоем затвердевшего раствора и основанием;
 б) P/P - разрушение по слою затвердевшего раствора; в) O/O - разрушение материала основания;
 1 — металлическая пластинка; 2 — слой клея; 3 — слой затвердевшего раствора; 4 — основание;
 5 — отверстие с внутренней резьбой по центру пластинки для крепления приспособления для отрыва образцов от основания

Прочность сцепления (адгезию) с основанием при испытании одного образца A_i , МПа, вычисляли по формуле (1):

$$A_i = \frac{F}{S} \quad (1)$$

где F - максимальная сила отрыва образца от основания, Н; S - площадь контакта поверхности образца с основанием, мм.

Второй целью проведения экспериментальных исследований является определение физико-механических свойств торкрет-бетона.

Для проведения экспериментальных исследований была изготовлена плита из торкрет-бетона. Из плиты вырезаны образцы-призмы размером $70 \times 70 \times 280$ мм в количестве 4 шт., для определения призмочной прочности и модуля упругости согласно [19]. Также были выбурены установкой алмазного бурения образцы-цилиндры диаметром 64 мм в количестве 3 штук для оценки прочности на сжатие (рисунок 4).

На образцах-призмах закреплялись рамки, в которых монтировались 4 индикатора часового типа с ценой деления 0,001 мм (рисунок 5). После центровки образца по физической оси, призмы нагружались нагрузкой в диапазоне $0,01-0,1R_b$. Нагрузка прикладывалась ступенями с 5-минутной выдержкой на ступени. Деформации при подъеме нагрузки принимались за упругие, а набежавшие за 5 минут - быстроснатекающими деформациями ползучести.



Рисунок 4 – Подготовка образцов (а) и вид образцов для испытаний (б)



Рисунок 5 – Образец-призма в испытательной установке (а) и испытанный образец-цилиндр (б)

Результаты исследования и их анализ

В таблице 1 представлены результаты экспериментальных исследований по определению прочности сцепления торкрет-бетона с основанием из кирпичной кладки.

Таблица 1 - Результаты определения прочности сцепления торкрет-бетона с основанием из кирпичной кладки

Маркировка плиты	Номер образца	Результаты измерений		
		Фактическое значение, МПа	Среднее значение, МПа	Вид отрыва
О1	О 1.1	1,0	0,9	О/О (разрушение материала основания)
	О 1.2	0,7		О/О (разрушение материала основания)
	О 1.3	0,9		О/О (разрушение материала основания)
	О 1.4	0,8		О/О (разрушение материала основания)
	О 1.5	1,0		О/О (разрушение материала основания)
О2	О 2.1	0,9	0,6	О/О (разрушение материала основания)
	О 2.2	0,5		О/О (разрушение материала основания)
	О 2.3	0,6		О/О (разрушение материала основания)
	О 2.4	0,9		О/О (разрушение материала основания)
	О 2.5	0,3		О/О (разрушение материала основания)
О3	О 3.1	0,6	0,7	О/О (разрушение материала основания)
	О 3.2	0,8		О/О (разрушение материала основания)
	О 3.3	0,7		О/О (разрушение материала основания)
	О 3.4	0,7		О/О (разрушение материала основания)
	О 3.5	0,8		О/О (разрушение материала основания)
О4	О 4.1	0,4	0,5	О/О (разрушение материала основания)
	О 4.2	0,2		О/О (разрушение материала основания)
	О 4.3	0,7		О/О (разрушение материала основания)
	О 4.4	0,5		О/О (разрушение материала основания)
	О 4.5	0,7		О/О (разрушение материала основания)

Анализ проведенных испытаний показал, что все образцы разрушились по материалу основания (рисунок б), то есть по кирпичной кладке, что показывает высокую прочность сцепления (адгезии) торкрет-бетона с основанием.



Рисунок 6 – Образцы после испытания (плита О4)

Результаты определения средней плотности, прочности и скорости ультразвука, проходящего через образцы-цилиндры представлены в таблице 2. Значения призмной прочности и модуля упругости определенных на образцах-призмах представлены в таблице 3.

Таблица 2- Результаты испытаний образцов-цилиндров

№ п/п	Размеры, см.		S, см ²	V, см ³	m, г	ρ, г/см ²	V, м/сек	R, МПа
	d	h						
1	6,39	5,29	32,05	169,6	371	2,188	4610	68,33
2	6,37	5,18	31,85	165,0	363	2,200	4697	63,33
3	6,37	5,23	31,85	166,6	347	2,083	4171	42,26

Таблица 3 - Результаты испытаний образцов-призм

№ п/п	Размеры, см			S, см ²	V, см ³	m, г	ρ, г/см ²	V, м/сек	R, МПа	E _b , ×10 ³ , МПа
	a	b	h							
1	7,14	7,14	28,4	50,28	1447,8	3118	2,154	4364	46,68	28,0
2	6,93	7,32	27,9	50,73	1415,3	3052	2,156	4175	43,60	26,2
3	7,46	7,36	28,0	54,87	1536,3	3306	2,152	4143	37,28	25,9
4	7,15	7,24	28,0	51,73	1448,4	3126	2,158	4172	40,48	25,6

При сравнении характеристик тяжелого бетона с исследуемыми параметрами торкрет-бетона получены следующие значения:

- средняя плотность торкрет-бетона составляет в среднем 2150 кг/м³, плотность тяжелого бетона в среднем 2400 кг/м³, что на 10% больше. Такое уменьшение плотности достигается за счет мелкозернистого заполнителя и плотного послойного нанесения состава со скоростью около 150 м/с;

- средний модуль упругости торкрет-бетона составляет 26400 МПа, что примерно соответствует тяжелому классу бетона В20 [20] с нормативной призмной прочностью R_{bn}=15 МПа, но как показали испытания средняя призмная прочность торкрет-бетона составляет 42 МПа, что на 64% больше, чем прочность тяжелого бетона.

Измерения деформаций на этапах нагружения для определения модуля упругости представлены в таблице 4, а диаграмма деформирования σ-ε на рисунке 7.

Таблица 4 - Результаты обработки по оценке модуля упругости

N, кг	σ , кг/см ²	Образец №1			Образец №2			Образец №3			Образец №4		
		$\Delta\varepsilon_{1-4}$ × 10-5 (*)	$\Sigma\Delta\varepsilon_{1-4}$ ×10-5 (*)	$\frac{\Delta E^y}{\Delta E^{y+n}}$									
3000	60	22,50 (0,17)	22,50 (22,67)	267 265	23,17 (0,50)	23,17 (23,67)	259 253	24,83 (0,67)	24,83 (25,50)	220 214	23,00 (0,17)	23,00 (23,17)	252 250
4500	90	10,83 (0,67)	33,50 (34,17)	277 261	11,33 (0,17)	35,00 (35,17)	265 261	10,67 (1,00)	36,17 (37,17)	256 234	11,00 (0,83)	34,17 (35,00)	264 245
6000	120	10,83 (1,33)	45,00 (46,33)	277 247	11,67 (1,33)	46,84 (48,17)	257 231	10,50 (1,50)	47,67 (49,17)	260 228	11,50 (1,33)	46,50 (47,83)	252 226
7500	150	10,50 (1,33)	56,85 (58,16)	286 254	11,33 (2,0)	59,50 (61,50)	265 225	10,50 (1,83)	59,67 (61,50)	260 240	11,33 (1,50)	59,16 (60,66)	256 226
9000	180	10,67 (1,83)	68,83 (70,66)	281 240	12,00 (3,00)	73,50 (76,50)	250 200	11,17 (1,83)	72,67 (74,50)	245 210	11,50 (2,67)	72,16 (74,83)	252 205
10500	210	10,65 (3,24)	81,31 (84,56)	282 216	11,50 (3,50)	88,00 (91,50)	261 200	10,83 (3,17)	85,33 (88,50)	252 195	11,17 (3,33)	86,00 (89,33)	260 200
12000	240	14,11 (3,86)	95,66 (99,52)	270 200	12,00 (4,17)	103,50 (107,67)	250 186	10,83 (4,00)	99,33 (103,33)	252 184	11,17 (4,17)	100,50 (104,67)	260 189
13500	270	11,27 (4,94)	110,79 (115,73)	266 185	12,17 (5,33)	119,84 (125,17)	247 171	12,67 (3,00)	116,00 (119,00)	216 174	12,00 (4,83)	116,07 (121,50)	242 172
15000	300	11,73 (6,02)	127,46 (133,48)	256 169	12,67 (6,50)	137,84 (144,34)	237 156	11,50 (6,17)	130,5 (136,67)	238 155	12,00 (5,83)	133,50 (139,33)	242 163

(*)-в скобках указаны значения с учетом пластических деформаций

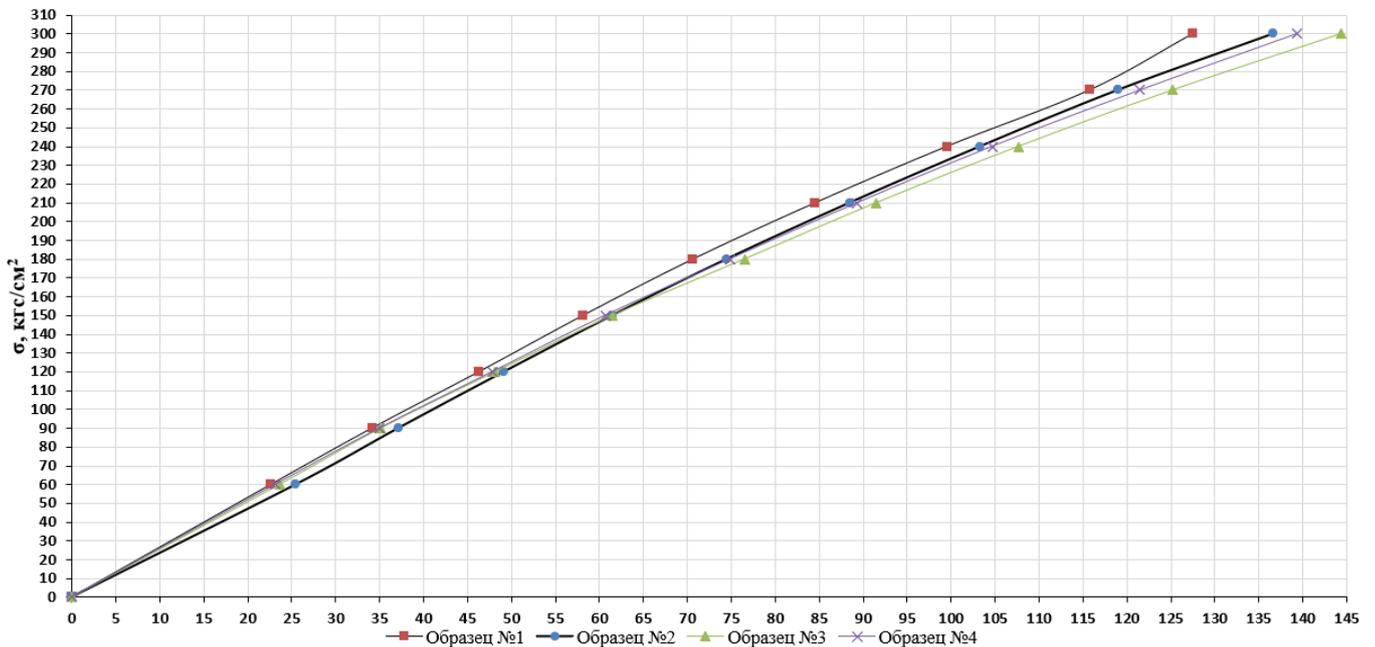


Рисунок 7 – Диаграмма деформирования σ - ε

Данные об адгезионной прочности, прочности и модуля упругости торкрет-бетона позволят более корректно оценить работу конструкций усиливаемых торкретированием при численном моделировании и расчетном обосновании.

Выводы

На основании проведенных экспериментальных исследований торкрет-бетона на предмет адгезии с основанием и прочностных свойств можно сделать следующие выводы:

1. В результате испытаний получен полный спектр физико-механических характеристик торкрет-бетона, с целью применения в численном моделировании усиления различных конструкций. Средний модуль упругости торкрет-бетона составил 26400 МПа. При одинаковом значении модуля упругости торкрет-бетона и тяжелого бетона, соответствующего классу В20, при торкретировании средняя плотность бетонной смеси меньше на 10% (2150 кг/м³), а призменная прочность больше на 64% (42 МПа).

2. Результаты испытаний опытных образцов кирпича с нанесенным слоем торкрет-бетона показали высокий уровень адгезии к базовому материалу кладки (швы, повышающие сцепление, были исключены), при котором разрушение происходило исключительно по кирпичу. Данный факт позволяет обоснованно применять торкрет-бетон при усилении каменной кладки без специальных мероприятий, повышающих сцепление (шпонки и микрошпонки, анкерный крепеж).

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., Басов 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 натурных 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 stahanovskikh metodov na vosstanovitel'nyh rabotah. Obshchestroitel'nye raboty [Application of Stakhanov 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. 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. SP 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. *ARPJ 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. SP 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

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

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

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

Information about authors:

Gladkikh Vitaly A.

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

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

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

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