

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСИЛЕНИЯ КЛАДКИ ИНЪЕКЦИЕЙ РАСТВОРА

Е.М. ИЩУК<sup>1</sup>

М.К. ИЩУК<sup>1</sup>, д-р техн. наук

Н.Н. ЛАСЬКОВ<sup>2</sup>, д-р техн. наук

<sup>1</sup> Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», ул. 2-я Институтская, д. 6, к. 1. г. Москва 109428, Россия

<sup>2</sup> Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС), ул. Германа Титова, д. 28, к. 1, г. Пенза, 440028, Россия

## Аннотация

*Введение.* Инъекция кладки под давлением является одним из наиболее эффективных методов восстановления ее монолитности на участках с трещинами, расслоением, участках ремонта и сопряжения разнородных кладок. Особую ценность метод инъекции имеет для исторических зданий.

*Цель.* Получение на основе экспериментальных данных коэффициентов, характеризующих эффективность методов усиления кладки инъекцией раствора, в том числе в сочетании с конструктивным косвенным армированием.

*Материалы и методы.* Испытывались образцы, усиленные инъекцией раствора, в том числе с конструктивным армированием, при равномерно распределенной нагрузке и местном сжатии из исторического и современного кирпича, выполненные на растворах различной прочности. Исследовалась совместная работа усиленной кладки на участках ее ремонта с вычинкой и образцов, в которых внутренняя забутовка отличалась по прочности и деформациям от лицевых слоев.

*Результаты.* Получены коэффициенты усиления кладки инъекцией. Результаты исследований использованы при разработке нормативных документов и проектов усиления каменных конструкций.

*Выводы.* В случае имеющихся в кладке трещин, расположенных на расстоянии 10–25 см, возможно повышение несущей способности кладки. Эффективность усиления возрастает для кладок, выполненных на слабых растворах. Наилучший эффект получен в случае инъекции эпоксидной смолы. Применение цементных растворов с добавкой извести позволяет в исторических зданиях восстановить монолитность кладки. Значительный эффект дает комбинированный метод усиления инъекцией в сочетании с косвенным армированием.

**Ключевые слова:** кирпичная кладка, усиление инъекцией, конструктивное косвенное армирование, инъекционный раствор, полимерцементный раствор, известь, эпоксидная смола, метилметакрилат, испытания на центральное и местное сжатие, коэффициент увеличения прочности кладки

**Для цитирования:** Ищук Е.М., Ищук М.К., Ласьков Н.Н. Экспериментальные исследования эффективности усиления кладки инъекцией раствора // Вестник НИЦ «Строительство». 2026. 1(48). С. 74–97. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2026-1\(48\)-74-97](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2026-1(48)-74-97)

## Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

## Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 12.01.2026

Поступила после рецензирования 02.02.2026

Принята к публикации 03.02.2026

## EXPERIMENTAL STUDIES OF THE EFFECTIVENESS OF MASONRY REINFORCEMENT BY MORTAR INJECTION

E.M. ISHCHUK<sup>1</sup>

M.K. ISHCHUK<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Engineering)

N.N. LASKOV<sup>2</sup>, Dr. Sci. (Engineering)

<sup>1</sup> Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institut'skaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russia

<sup>2</sup> Penza State University of Architecture and Construction, German Titov str., 28, bld. 1, Penza, 440028, Russia

### Abstract

*Introduction.* Pressure injection of masonry is one of the most effective methods for restoring its integrity in areas with cracks, delamination, repairs, and joints between dissimilar masonry. This injection method is especially valuable for historic buildings.

*Aim.* To obtain experimental data on the strength and deformations of masonry reinforced by pressure injection of mortar.

*Materials and methods.* Tests were conducted on specimens reinforced with mortar injection, including those with structural reinforcement, under uniformly distributed loads and localized compression, using historical and modern solid brick in the form of pillars and walls, constructed with mortars of varying strengths. The combined performance of reinforced masonry in repair sections with filler and specimens in which the inner layer (backfill) differed in strength and deformation from the facing layers was studied.

*Results.* Strengthening coefficients for masonry reinforced by pressure injection were obtained. The research results were used in the development of regulatory documents for masonry structures and recommendations and projects for strengthening masonry structures, including historic buildings.

*Conclusions.* In cases of multiple cracks in masonry spaced 10–25 cm apart, it is possible to increase the load-bearing capacity of the masonry. The effectiveness of reinforcement increases for masonry constructed with weak mortars. The best results are achieved with epoxy resin injection. The use of cement mortars with hydraulic lime allows for the restoration of the integrity of masonry in historic buildings. A combination of injection reinforcement and indirect reinforcement using drilled holes in the masonry produces significant results.

**Keywords:** brickwork, injection reinforcement, structural indirect reinforcement, injection mortar, polymer cement mortar, hydraulic lime, epoxy resin, methyl methacrylate, central and local compression tests, masonry strength increase factor

**For citation:** Ishchuk E.M., Ishchuk M.K., Laskov N.N. Experimental studies of the effectiveness of masonry reinforcement by mortar injection. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*, 2026, 1(48), pp. 74–97. (In Russian) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2026-1\(48\)-74-97](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2026-1(48)-74-97)

### Authors contribution statement

All authors have contributed equally to the work and this publication.

### Funding

No funding support was obtained for the research.

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 12.01.2026

Revised 02.02.2026

Accepted 03.02.2026

## Введение

Одним из первых нормативных документов по усилению кладки инъекцией была инструкция, изданная в 1937 г. [1] для гидротехнических сооружений, основанная на практике строительства. Одним из первых исследователей инъекционных растворов для восстановления монолитности кладки на участках с трещинами, расслоениями был Б.Н. Зворыкин [2]. Им же в 1973 г. опубликованы результаты исследований свойств цементных растворов с добавками [3]. Автор высказывает мнение, что для усиления кладки целесообразно применять растворы с более низким модулем упругости. Для инъекции кладки с трещинами автор предлагает вводить тонкомолотые минеральные добавки, а при трещинах шириной более 5 мм дополнительно вводить 5–10 % от веса цемента поливинилацетатную эмульсию (ПВА). Исследований прочности и деформаций кладки, усиленной инъекцией раствором, автором не производилось.

В работе А.И. Мартемьянова и В.В. Ширина [4] кратко описана технология восстановления инъекцией цементных растворов монолитности кладки с трещинами зданий, пострадавших при землетрясениях.

В работе А.А. Шишкина [5] отмечено, что нагнетание раствора для повышения монолитности, водонепроницаемости и долговечности широко применяют при строительстве. При этом уже стали применяться не только цементные, но и полимерцементные и эпоксидные инъекционные растворы. Вместе с тем упрочнение поврежденных трещинами каменных конструкций вместо стальных, железобетонных и растворных обойм или других способов практически не осуществлялось. Автор описывает методику усиления кладки с трещинами, разработанную на основе проведенных в 1972–1974 гг. В.П. Ворониной в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко исследований [6]. При этом он отмечает, что даже при высоком качестве заполнения пустот и трещин эффект усиления получался неодинаковым. В этой связи им предлагается для кладки усиленной инъекцией цементными растворами не только не учитывать повышение прочности, но в ряде случаев учитывать ее снижение. Им предложено для кладки с трещинами, усиленной инъекцией, следующие величины предела прочности кладки:

- для цементных растворов  $R_y = 0,9 - 1R$ ;
- для полимерцементных растворов (с добавкой ПВА)  $R_y = 1 - 1,2R$ ;
- для растворов на основе эпоксидной смолы  $R_y = 1,3 - 1,5R$ ,

где  $R_y$  и  $R$  – прочность усиленной и неусиленной кладки при сжатии.

На основе проведенных В.П. Ворониной исследований в 1984–1987 гг. разработаны рекомендации по усилению кладки растворами, приготавливаемыми на основе цемента, в ряде случаев с добавками полимеров (ПВА) [7, 8]. Там же даны указания по применению растворов на основе эпоксидной смолы. Применение добавок из молотого песка принималось в зависимости от ширины раскрытия трещин. Указывалось, что «предел прочности кирпичной кладки при сжатии, усиленной инъектированием раствора в трещины, принимается с введением следующих коэффициентов:

- для кладки с трещинами от силовых воздействий и усиленных инъектированием цементными и цементно-песчаными растворами – 1,1;
- то же, при инъектировании цементно-полимерными – 1,3;
- то же, при усилении инъектированием полимерными растворами – 1,5;
- для кладок стен с одиночными трещинами от неравномерной осадки стен или нарушением связи между совместно работающими стенами и усиленных инъектированием цементно-полимерными и полимерными растворами – 1».

В работах М. Малярик исследовались полимерцементные растворы для кладки, улучшающие ее свойства, в том числе сцепление кирпича с раствором [9, 10].

В работе Г.В. Бессонова [11] приведены рекомендации по укреплению инъекцией цементным и сложным раствором распорных сводов, арок. Там же дано краткое описание восстановления монолитности расслоившейся кладки с устройством косвенного армирования.

В [12] приведены разработанные в 1990 г. ТбилЗНИИЭП рекомендации по технологии и составам для инъекции эпоксидного полимерраствора и полимерцементного раствора в трещины в бетонных блоках и панелях при ремонте зданий в районах с сейсмической активностью.

В работе О.Е. Легецкого [13] приведены результаты исследований уплотнения дефектного бетона гидросооружений полимерными композициями пониженной вязкости, в частности на основе метилметакрилата.

В рекомендациях, разработанных под руководством Н.Н. Карева [14], основное внимание уделено применению цементно-известковых растворов для восстановления монолитности кладки с трещинами. При этом указано, что растворы с большим содержанием цемента могут применяться и для повышения несущей способности кладки с трещинами, однако коэффициенты увеличения прочности там не приведены.

В диссертационной работе Н.М. Ханова [15] исследовалась прочность кирпичной кладки, усиливаемой инъекцией растворов фурановой смолы. При прочности кладочного раствора 1–2,5 МПа в зависимости от способа приложения нагрузки увеличение прочности усиленной кладки по сравнению с не усиленной составило 63 %, а при прочности 7,5–11 МПа эффект от усиления составил 37,5 %. Это относилось к усилению образцов кладки как с трещинами, так и без них. В выводах к работе автор рекомендует принять единый коэффициент условий работы для всех случаев нагружения и при разных прочностях кладочного раствора 1,2.

В работе Л.В. Дубровской [16] приведены результаты исследований усиления кладки памятников Казахстана, выполненной из необожженного кирпича на лессовом растворе, инъекцией гипсового раствора.

В работе Д.В. Курлапова и др. [17] приводятся результаты лабораторных исследований по изучению вязкости цементно-полимерных инъекционных растворов, прочности на срез цементированных швов и т. п.

В работе А.А. Шилина [18] приведены рекомендации по составам растворов и методам производства работ по инъекции, в том числе каменной кладки.

Начиная с 2005 г. и по настоящее время авторы проводят комплексные исследования методов усиления кладки инъекцией раствора [19–36 и др.]. В настоящей работе обобщаются результаты исследований кладки, усиленной инъекцией растворов различных составов, в том числе в сочетании с конструктивным косвенным армированием. Проведенные исследования позволили уточнить ряд особенностей работы усиленной кладки на участках ее ремонта с вычинкой, при различных прочностных и деформационных характеристиках лицевых слоев и забутовки, выявить зависимости эффективности усиления кладки от прочности кладочного раствора, характера повреждений в кладке.

Исследования усиления кладки косвенным армированием, учитываемым в расчетах по несущей способности, также были начаты в 2005 г., их анализ будет представлен в отдельной статье.

В последнее время появились работы и других авторов, выполненные по методике ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, в целом подтверждающие результаты проведенных исследований [37, 38]. Также этими же авторами говорится об испытании на сжатие кернов, отобранных из стены из заполненной инъекционным раствором трещины, и кернов, отобранных на неусиленных участках [39]. По результатам испытаний этих кернов авторы делают выводы о прочности кладки в целом на усиленных и неусиленных участках.

В зарубежной литературе достаточно широко освещены методы усиления кладки инъекцией [40–45 и др.], направленные на повышение ее монолитности. Увеличение прочности усиленной инъекцией кладки в нормативных документах не регламентируется.

## **1. Исследования кладки, усиленной инъекцией эпоксидной смолы**

### **1.1. Материалы для кладки. Методики усиления и проведения испытаний кладки**

Для изготовления образцов применялся современный керамический кирпич М75 и М175, а также отобранный при реконструкции Большого театра (БТ) М50 и М100 и из кладки стен ЦВЗ «Манеж» М50. Кладка образцов выполнялась в виде столбов с габаритами в плане  $\sim 0,4 \times 0,5$  м из современного кирпича М175 и кирпича БТ и  $\sim 0,25 \times 0,4$  м из кирпича «Манеж».

Образцы испытывались на сжатие в гидравлическом прессе. Деформации кладки вычислялись по перемещениям, определяемым индикаторами часового типа и прогибомерами с ценой деления 0,01 мм.

Часть образцов испытывалась в два этапа. После получения трещин на первом этапе образцы усиливались инъекцией и испытывались вновь. Инъекция производилась через патрубки, установленные на трещины. На другой части образцов инъекция выполнялась до их испытания. В этих образцах отверстия, в которые подавалась смола, бурились под углом к горизонту таким образом, чтобы пересекались как вертикальные, так и горизонтальные растворные швы.

### **1.2. Результаты испытаний образцов кладки**

#### *1.2.1. Характер разрушения опытных образцов*

Результаты испытаний приведены в табл. 1. Кладка образцов на первом этапе разрушалась с образованием вертикальных трещин, разделяющих ее на отдельные столбики (рис. 1а). На втором этапе после выполненного усиления трещины образовывались чаще не на прежних, а на новых местах (рис. 1б, в). Разрушение кладки из исторического кирпича на втором этапе после ее усиления происходило преимущественно от раздробления кирпичей на отдельных участках (рис. 1з).

Разрушение кладки, усиленной без трещин и испытанной в один этап, выполненной как из исторического, так из современного кирпича, происходило в результате образования вертикальных трещин, разделяющих ее на отдельные столбики.

#### *1.2.2. Прочность кладки*

Рост прочности усиленной кладки, выполненной из кирпича БТ на кладочном растворе прочностью  $R_2 = 0,2$  МПа, по отношению к неусиленной, испытанной на первом этапе, составил в среднем более 7 (рис. 2).

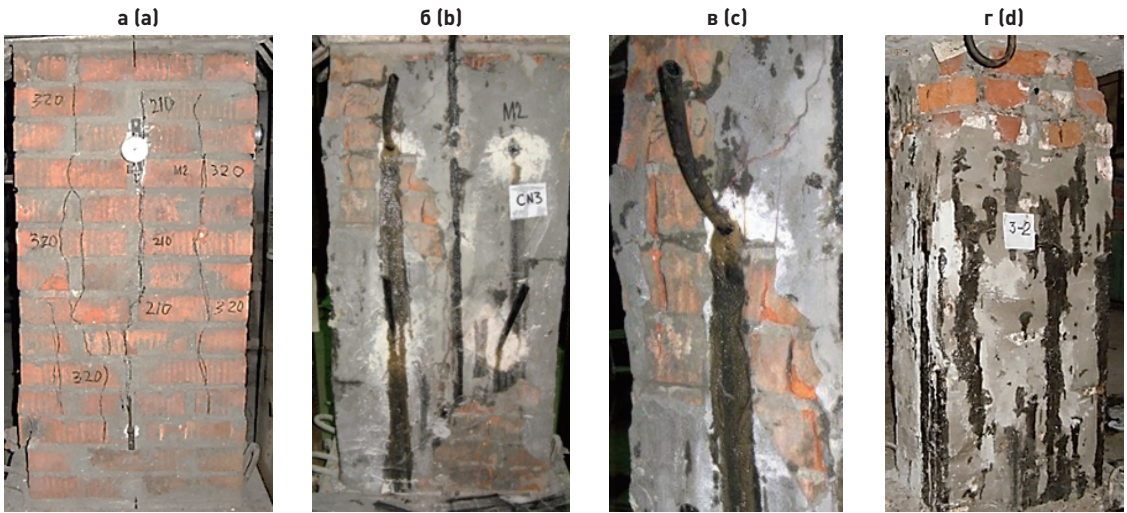


Рис. 1. Образцы, усиленные после 1-го этапа и испытанные: а – из современного кирпича М175 после 1-го этапа испытаний; б, в – после 2-го этапа; г – из исторического кирпича М50 после 2-го этапа

Fig. 1. Samples reinforced after the 1st stage and tested: а – from modern brick M175 after the 1st stage of testing; б, с – after the 2nd stage; d – from historical brick M50 after the 2nd stage

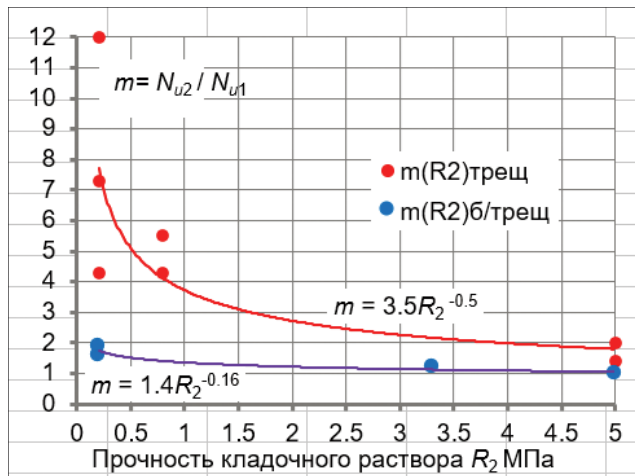


Рис. 2. Зависимости коэффициента роста прочности кладки  $m$  от прочности кладочного раствора  $R_2$   
 Fig. 2. Dependence of the growth coefficient of masonry strength  $m$  on the strength of the masonry mortar  $R_2$

В образцах из кирпича БТ, усиленных без трещин, при прочности кладочного раствора  $R_2 = 0,2$  МПа наблюдался рост прочности усиленной кладки в 1,7 раза по сравнению с эталонными образцами из такого же кирпича и раствора. Однако в образцах из кирпича «Манеж» с  $R_2 = 3,3$  МПа и из современного кирпича с  $R_2 = 5$  МПа, также усиленных без трещин, рост прочности кладки в результате ее инъекции не происходил.

### 1.2.3. Распространение эпоксидной смолы

В кладке, усиленной без трещин, эпоксидная смола распространялась на относительно небольших участках, расположенных вблизи отверстий, через которые производилась ее подача, по контакту между кирпичом и кладочным раствором. Сам кладочный раствор при этом пропитывался только на несколько сантиметров в радиусе

от отверстия для подачи инъекционного раствора (рис. 3а). В кладке с трещинами смола распространялась по трещинам и на небольшие участки примыкающих к ним растворных швов (рис. 3б).



**Рис. 3.** Проверка проникания смолы в тело кладки: а – отсутствие следов смолы при вскрытии кладки из исторического кирпича с прочностью раствора 3,3 МПа, инъекция которой производилась при отсутствии трещин; б – распространение смолы в кладке из современного кирпича М175 на растворе М50 вдоль трещин и прилегающих растворных швах

**Fig. 3.** Testing the penetration of epoxy resin into the body of the masonry: a – absence of traces of epoxy resin when opening masonry made of historical brick with a mortar strength of 3.3 MPa, the injection of which was carried out in the absence of cracks; b – spreading epoxy resin in masonry made of modern M175 bricks on M50 mortar into cracks and adjacent mortar joints

## 2. Исследования кладки, усиленной инъекцией эпоксидной смолы в сочетании с конструктивным косвенным армированием

### 2.1. Материалы для кладки. Методики усиления и проведения испытаний кладки

Образцы выполнялись в виде стенок с габаритами  $\sim 0,4 \times 1,4 \times 1,4$  м (рис. 4) из современного кирпича марки М50 на сложном растворе прочностью 0,2 МПа. Кладка усиливалась комбинированным методом инъекцией эпоксидной смолы на участках с трещинами, образовавшимися после первого этапа испытаний, с одновременной установкой косвенного армирования в виде стальных шпилек с резьбой М8. Инъекционный раствор подавался под давлением 2 атм как в установленные на трещинах патрубки, так и в отверстия, в которые были установлены стальные шпильки.

### 2.2. Методика проведения испытаний кладки на местное сжатие

Испытания производились на местное сжатие, нагрузка передавалась через стальную балку шириной 10 см. В остальном методика проведения испытаний идентична приведенной выше для испытаний равномерно распределенной нагрузкой. Испытания проводились в два этапа. Усиленные после первого этапа образцы испытывались вновь.

Таблица 1

Прочностные характеристики кладки образцов, усиленных инъекцией

Table 1

Strength characteristics of masonry samples reinforced with injection

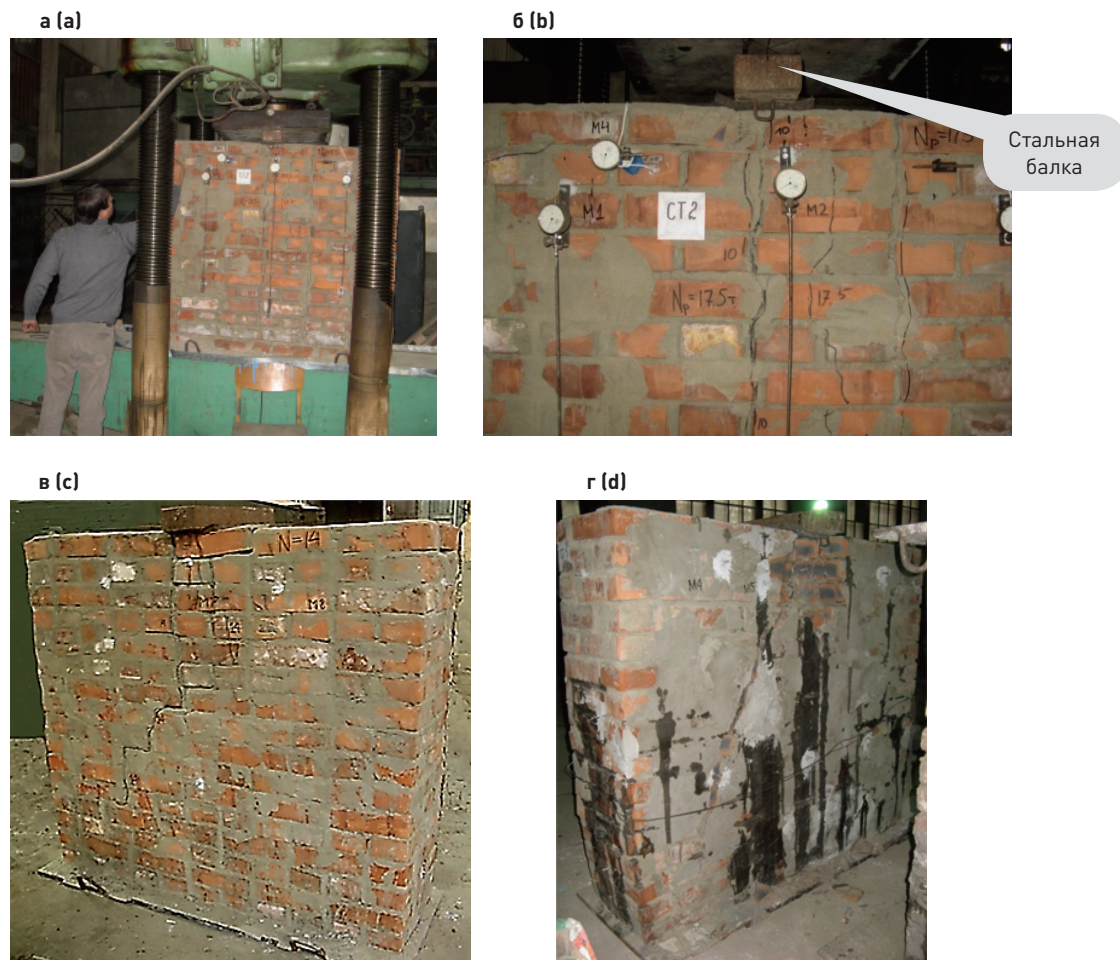
№ п/п	Серия	Марка образца		Предельное усилие, МН		Габар. гор. сечения, м	Масштабный коэф., $K_m$	Прочность кладки, МПа		Кэф. $m = N_{02} / N_{01}$			
		до усиления (1-й этап)	после усиления (2-й этап)	на 1-м этапе, $N_{ц1}$	на 2-м этапе, $N_{ц2}$			до усиления, $R_u$	после усиления, $R_{у,усп}$				
<b>Образцы, усиленные инъекцией эпоксидной смолы в кладку без трещин, испытанные в один этап</b>													
1	БТ-Иэл-б/тр	№ 1-1 М100	№ 1-2	Эталон 2-1	0,54	~0,42×0,56	1	1,5*	2,4	1,6			
2				Эталон 2-2	0,65						1,9		
3	М2	№ 4-1 Эталон	№ 4-2	0,60	-	~0,39×0,51	1	3,0	-	-			
4				0,74	-						1,2		
5				Эталон 0,60	-						3,0	-	
6	Совр-Иэл-б/тр	№ 5-1	-	-	3,32	~0,39×0,54	1	15,3*	15,8	1,0			
<b>Образцы с трещинами, полученными на первом этапе испытаний, усиленные после 1-го этапа инъекцией эпоксидной смолы и испытанные вновь на 2-м этапе</b>													
7	БТ-Иэл-тр	№ 2-1 М100	№ 2-2 М100	№ 2-1.Иэл	0,13	1,43	~0,42×0,57	1	0,5	6,0	12,0		
8					0,35	1,58						1,5	4,3
9					№ 3-2 М50	0,16						1,18	0,8
10	М1Иэл-тр	№ 1д	№ 2д	№ 1д-Иэл	0,18	0,78	~0,25×0,38	0,91	1,7	7,4	4,3		
11					№ 2д-Иэл	0,20						1,10	1,9
12	Совр-Иэл-тр	№ 1	№ 3	№ 1 Иэл	3,20	6,50	~0,53×0,40	1,0	15,1	30,7	2,0		
13					№ 3 Иэл	3,20						4,40	15,5
<b>Образцы с трещинами, полученными на 1-м этапе испытаний, усиленные после 1-го этапа инъекцией эпоксидной смолы в сочетании с конструктивным косвенным армированием и испытанные вновь на 2-м этапе</b>													
14	Совр-Ст-Иэл-тр-Арм	№ 1	№ 2	№ 1Иэл Арм	0,14	1,30	~0,4×1,4	-	-	-	9,3		
15					№ 1Иэл Арм	0,18						0,90	5,0

### 2.3. Результаты испытаний

#### 2.3.1. Характер разрушения опытных образцов

Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Разрушение образцов на первом этапе происходило по двум типам: с образованием сквозных вертикальных трещин (рис. 4а, б) и с образованием наклонных сквозных трещин, берущих начало от участка приложения местной нагрузки (рис. 4в, г).



**Рис. 4.** Испытанные на местное сжатие образцы серии Совр-Ст-Иэп-тр-Арм: а, б – с вертикальными трещинами после 1-го этапа; в – с наклонными трещинами после 1-го этапа; г – с наклонными трещинами после 2-го этапа  
**Fig. 4.** Samples of the Sovrem-St-Iep-tr-Arm series tested for local compression: а, б – with vertical cracks after the 1st stage; в – with inclined cracks after the 1st stage; г – with inclined cracks after the 2nd stage

#### 2.3.2. Прочность кладки

Несущая способность усиленной кладки превысила несущую способность неусиленной кладки в 5–9 раз.

#### 2.3.3. Распространение эпоксидной смолы

Эпоксидная смола распространялась вдоль трещин, частично заполняя контактные прослойки в растворных швах вблизи трещин.

### 3. Исследования кладки, усиленной инъекцией метилметакрилата

#### 3.1. Материалы для кладки. Методики усиления и проведения испытаний кладки

Образцы выполнялись в виде столбов (рис. 5) из современного кирпича М75 и М175 на растворе прочностью (0,8 и 1,2) МПа и М50 соответственно. Кладка усиливалась инъекцией метилметакрилата в трех образцах на участках с трещинами, образовавшимися после первого этапа испытаний и в двух – без трещин.

#### 3.2. Методика проведения испытаний

Образцы испытывались на центральное сжатие равномерно распределенной нагрузкой. Методика проведения испытаний идентична приведенной в 1.1.

#### 3.3. Результаты испытаний

##### 3.3.1. Характер разрушения и прочность кладки опытных образцов

Разрушение образцов, усиленных без трещин, было идентично разрушению неусиленных образцов на первом этапе и происходило в результате образования вертикальных трещин. Прочность кладки в усиленных образцах выросла по сравнению с прочностью в эталонных образцах в 1–1,2 раза. После второго этапа предельные усилия превысили предельные усилия в неусиленных образцах в 1,4–2,0 раза. Разрушение кладки сопровождалось трещинами и сколами, преимущественно в верхней части образцов.

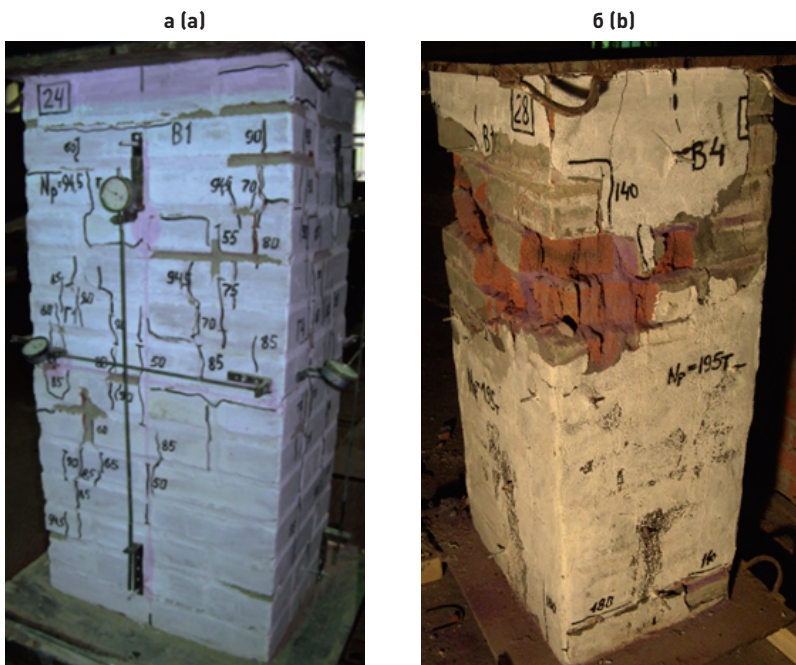


Рис. 5. Усиленный метилметакрилатом образец: а – после 1-го этапа испытаний; б – после 2-го этапа  
 Fig. 5. Methyl methacrylate-reinforced sample: a – after the 1st stage of testing; b – after the 2nd stage

##### 3.3.2. Распространение метилметакрилата

В кладке без трещин метилметакрилат распространялся на относительно небольших участках, расположенных вблизи отверстий, через которые производилась его подача (рис. 6).



Рис. 6. Вскрытие кладки из современного кирпича с целью определения границ зоны пропитки метилметакрилатом

Fig. 6. Opening of masonry made of modern bricks in order to determine the boundaries of the methyl methacrylate impregnation zone

В образцах с трещинами вследствие большой текучести метилметакрилата произошло его стекание в низ образца, что привело к тому, что прочность нижней части кладки оказалась выше, чем верхней.

#### 4. Исследования кладки, усиленной инъекцией раствора на основе тонкодисперсного цемента с добавкой извести

##### 4.1. Материалы для кладки. Методики усиления и проведения испытаний кладки

Образцы серии Совр-ЦС-И-М125 выполнялись в виде столбов с габаритами в плане  $\sim 0,51 \times 0,51$  м. Кладка велась из современного полнотелого керамического кирпича М125 на цементно-песчаном растворе прочностью М25. Образцы серии Совр-ЦС-И-М75 выполнялись в виде столбов с габаритами в плане  $\sim 0,40 \times 0,54$  м. Кладка образцов велась из современного полнотелого керамического кирпича М75 на цементно-песчаном растворе прочностью М25.

Образцы испытывались на сжатие равномерно распределенной нагрузкой по методике, идентичной описанной в 1.1. После первого этапа образцы с трещинами серии Совр-ЦС-И-М125 усиливались инъекцией раствора на основе тонкодисперсного цемента с добавкой гидравлической извести 20 % по объему, а образцы серии Совр-ЦС-И-М75 усиливались также на основе тонкодисперсного цемента с добавкой гидравлической извести и мраморной муки в равных долях по весу.

##### 4.2. Результаты испытаний

###### 4.2.1. Характер разрушения и прочность кладки опытных образцов

Разрушение образцов на обоих этапах происходило с образованием вертикальных трещин (рис. 7).

Коэффициент увеличения прочности  $m$  усиленной кладки  $R_{u2}$  по отношению к неусиленной  $R_{u1}$  составил 1–1,1. Результаты испытаний приведены в табл. 2.



Рис. 7. Образец серии Совр-ЦС-И: а – после 1-го этапа; б – после 2-го этапа  
 Fig. 7. Sample of the Sovr-CS-I series: a – after the 1st stage; b – after the 2nd stage

Таблица 2

**Прочностные характеристики образцов серий Совр-ЦС-И-М125, Совр-ЦС-И-М75, испытанных равномерно распределенной нагрузкой на центральное сжатие**

Table 2

**Strength characteristics of Sovr-CS-I-M125 and Sovr-CS-I-M75 series specimens tested under uniformly distributed central compression load**

№ п/п	Серия	Марка образца		Пред. усилие, МН		Габар. сеч., м	Масштабн. коэф., $k_n$	Прочность кладки, МПа				$m = R_{u2} / R_{u1}$
		на 1-м этапе	на 2-м этапе	на 1-м этапе, $N_{u1}$	на 2-м этапе, $N_{u2}$			до усиления, $R_{u1}$		после усиления, $R_{u2}$		
								ед. знач.	средн.	ед. знач.	средн.	
1	Совр-ЦС-И М125	№ 1	№ 1И	1,67	1,84	0,51×0,51×1,14	1	6,4	6,2	7,1	6,7	1,1
2		№ 2	№ 2И	1,76	1,73			6,8		6,6		
3		№ 3	№ 3И	1,37	1,63			5,3		6,3		
4	Совр-ЦС-И М75	№ 7	№ 13И	1,08	1,14	0,40×0,50	1	5,0	4,8	5,3	4,8	1,0
5		№ 2-7	№ 15И	1,03	0,93	0,40×0,55	1	4,7		4,2		

## 5. Исследования многослойной кладки из исторического кирпича, усиленной инъекцией раствора на основе тонкодисперсного цемента с добавкой гидравлической извести

### 5.1. Материалы для кладки. Методики усиления и проведения испытаний кладки

Образцы выкладывались из кирпича «Манеж» марки М50. Забутовка (внутренний слой кладки), обычно имеющая меньшую прочность по сравнению с лицевыми слоями, выкладывалась на растворе прочностью 0,8 МПа и имела сечение в плане  $0,25 \times 0,38$  м. Лицевые слои выкладывались из того же кирпича на растворе прочностью 6,6 МПа. Перевязка забутовки и лицевых слоев осуществлялась через пять рядов кладки (рис. 8). Габариты образцов в плане составили  $\sim 0,38 \times 0,50$  м.

Образцы серии Забут-ЦС-И испытывались на сжатие равномерно распределенной нагрузкой, образцы серии Забут-МС-И испытывались на местное сжатие. Подробнее об испытаниях образцов обеих серий на первом этапе до их усиления написано в [37].



Рис. 8. Изготовление образцов серий Забут-ЦС и Забут-МС  
Fig. 8. Manufacturing of samples of the Zabut-CS and Zabut-MS series

Магистральные трещины, образовавшиеся после первого этапа (рис. 9а), усиливались инъекцией раствора на основе тонкодисперсного цемента с добавкой гидравлической извести и мраморной муки в равных долях по объему (рис. 9б). При этом проникание инъекционного раствора в мелкие замкнутые трещины в кирпичах, характеризующие фактически раздробленные кирпичи, имеющих низкую прочность, практически не происходило (рис. 9б).



Рис. 9. Образцы серии Забут-ЦС, испытываемые равномерно распределенной нагрузкой:  
а – после первого этапа испытаний; б – инъекция кладки перед вторым этапом испытаний  
Fig. 9. Specimens of the Zabut-CS series tested with a uniformly distributed load:  
а – after the first stage of testing; б – injection of masonry before the second stage of testing

Образцы серии Забут-МС-И одновременно с инъекцией усиливались конструктивным косвенным армированием (стальными шпильками М6), устанавливаемым в одном направлении и пересекающим основные вертикальные трещины между лицевыми слоями и забутовкой (рис. 10).



Рис. 10. Усиление образца серии Забут-МС инъекцией раствора и односторонним конструктивным косвенным армированием

Fig. 10. Strengthening of the Zabut-MS series sample by injection of mortar and one-sided structural indirect reinforcement

## 5.2. Результаты испытаний образцов серии Забут-ЦС-И

### 5.2.1. Характер разрушения опытных образцов. Прочность кладки

Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

### Прочностные характеристики образцов серий Забут-ЦС-И, Забут-МС-И

Table 3

#### Strength characteristics of samples of the Zabut-CS-I, Zabut-MS-I series

№ п/п	Серия	Марка образца		Пред. усилие, МН		Габар. гор. сеч., м	Масштабн. коэф., $K_m$					$m = N_{u2} / N_{u1}$
		на 1-м этапе	на 2-м этапе	на 1-м этапе, $N_{u1}$	на 2-м этапе, $N_{u2}$							
<b>Образцы из кирпича «Манеж» М50</b>												
1	За-бут-ЦС	№ 1-4д	№5 И	0,84	0,49	0,38×0,51	1					0,6
2		№ 2-5д	№6 И	0,72	0,59							0,8
3	Забут-МСМС	№ 3-8с	№ 3-8с-И-Арм	0,34	1,18		1					3,5
4		№ 4-9с	№ 4-9с-И-Арм	0,34	0,71		1					2,1

На втором этапе разрушение образцов происходило в основном от появления магистральной трещины между одним из лицевых слоев и забутовкой и раздроблением кладки неотделившегося лицевого слоя и забутовки (рис. 11).



**Рис. 11.** Образец серии Забут-ЦС-И после второго этапа испытаний  
**Fig. 11.** Zabut-CS-I series specimen after the second stage of testing

Предельное усилие  $N_u$  усиленных образцов оказалось ниже, чем в неусиленных образцах на 20–40 % вследствие того, что в мелкие замкнутые трещины в кирпичах инъекционный раствор не проникал и на втором этапе произошло окончательное раздробление кирпичей.

### 5.3. Результаты испытаний образцов серии Забут-МС-И

#### 5.3.1. Характер разрушения опытных образцов. Прочность кладки

Таблица 4

**Прочностные характеристики кладки образцов серий Забут-МС, Выч-И-Арм, испытанных на местное сжатие**

Table 4

**Strength characteristics of masonry samples of the Zabut-MS, Vych-I-Arm series, tested for local compression tested for local compression**

№ п/п	Серия	Марка образца		Пред. усилие, МН		Масштабн. коэф., $k_n$	$m = N_{u2} / N_{u1}$
		на 1-м этапе	на 2-м этапе	на 1-м этапе, $N_{u1}$	на 2-м этапе, $N_{u2}$		
<b>Образцы из кирпича «Манеж» с различными свойствами забутовки и лицевых слоев. После испытания на 1-м этапе они усилены инъекцией раствора на основе тонкодисперсного цемента с добавкой извести и испытаны вновь</b>							
1	Забут-МС	№ 3-8с	№ 3-8с-И-Арм	0,34	1,18	1	3,5
2		№ 4-9с	№ 4-9с-И-Арм	0,34	0,71	1	2,1
<b>Образцы из современного кирпича, усиленные новой кладкой. После испытания на 1-м этапе получившие трещины образцы усилены инъекцией раствора на основе тонкодисперсного цемента с добавкой извести в сочетании с конструктивным косвенным армированием и испытаны вновь</b>							
3	Выч-И-Арм	№ 1ВХ	№ 1ВХ-И-Арм	0,44	0,93	1	2,1
4		№ 2ВХ	№ 14ВХ-МС-И	0,50	0,93		1,9

№ п/п	Серия	Марка образца		Пред. усилие, МН		Масштабн. коэф., $K_n$	$m = N_{u2} / N_{u1}$
		на 1-м этапе	на 2-м этапе	на 1-м этапе, $N_{u1}$	на 2-м этапе, $N_{u2}$		
5	Выч-И-Арм	№ 3ВХ	№ 3ВХ-МС-И	0,49	0,98	1	2,0
6		№ 1ВП	№ 12ВП-И-Арм	0,47	1,20		2,6
7		№ 2ВП	№ 2ВП-И-Арм	0,44	1,47		3,3
8		№ 3ВП	№ 3ВП-И-Арм	0,49	1,47		3,0

а (a)



б (b)



**Рис. 12.** Образец из исторического кирпича, получивший трещины после 1-го этапа испытаний на местное сжатие (а), образец, усиленный инъекцией раствора и косвенным армированием, после 2-го этапа (б)  
**Fig. 12.** Sample made of historical brick, which received cracks after the 1st stage of local compression tests (a), reinforced with mortar injection and indirect reinforcement, after the 2nd stage (b)

## 6. Исследования многослойной кладки из современного кирпича, усиленной инъекцией раствора на основе тонкодисперсного цемента с добавкой извести в сочетании с конструктивным косвенным армированием (серия Выч-И-Арм)

### 6.1. Материалы для кладки. Методики усиления

Образцы испытывались на местное сжатие в два этапа. На первом этапе испытывались неусиленные инъекцией образцы, имитировавшие кладку на участке ее ремонта «новой» кладкой на участках вычинки (рис. 13). На втором этапе испытывались усиленные инъекцией раствора в сочетании с конструктивным косвенным армированием образцы, получившие трещины на первом этапе (рис. 13) [25].



**Рис. 13.** Изготовление образцов, имитирующих восстановление «старой» кладки «новой» кладкой: а – образцы, имитирующие «старую» кладку; б – устройство «новой» кладки  
**Fig. 13.** Manufacturing of samples simulating the restoration of "old" masonry with "new" masonry: a – samples simulating "old" masonry; b – construction of "new" masonry

Кладка усиливалась инъекцией раствора на основе тонкодисперсного цемента с добавкой гидравлической извести и мраморной муки в равной пропорции по объему на участках с трещинами, образовавшимися после первого этапа испытаний. Затем в пробуренные в кладке отверстия по направлению вдоль широкой стороны образца устанавливались стальные шпильки с резьбой М6, соединяющие «старую» и «новую» кладки, разделенные трещинами после первого этапа испытаний.

## 6.2. Результаты испытаний

Если на первом этапе испытаний первые трещины появились на широких гранях по вертикальным швам между «старой» и «новой» кладками, то в усиленной кладке трещины образовывались преимущественно на боковых гранях, а под передающей нагрузкой стальной плитой происходило раздробление и скалывание кладки (рис. 14).

Прочность усиленной кладки выросла по сравнению с неусиленной в 2–3 раза.



**Рис. 14.** Образец из современного кирпича, имитирующий получивший трещины после 1-го этапа испытаний на местное сжатие, усиленный инъекцией раствора и косвенным армированием, после 2-го этапа испытаний.  
**Fig. 14.** Sample 111 (B) made of modern brick, which developed cracks after the 1st stage of local compression testing, reinforced with mortar injection and indirect reinforcement, after the 2nd stage of testing

Таблица 5

**Прочностные характеристики кладки образцов серии Выч-И-Арм,  
 испытанных на местное сжатие**

Table 5

**Strength characteristics of masonry samples of the Vych-I-Arm series, tested for local  
 compression**

№ п/п	Серия	Марка образца		Пред. услие, МН		Масштабн. коэф., $K_m$	$m = N_{uz} / N_{u1}$
		на 1-м этапе	на 2-м этапе	на 1-м этапе, $N_{u1}$	на 2-м этапе, $N_{uz}$		
<b>Образцы из современного кирпича, усиленные новой кладкой. После испытания на 1-м этапе получившие трещины образцы усилены инъекцией раствора на основе тонкодисперсного цемента с добавкой извести в сочетании с косвенным армированием и испытаны вновь</b>							
3	Выч-И-Арм	№ 1ВХ	№ 1ВХ-И-Арм	0,44	0,93	1	2,1
4		№ 2ВХ	ВХ-МС-И	0,50	0,93		1,9
5		№ 3ВХ	ВХ-МС-И	0,49	0,98		2,0
6		№ 1ВП	ВП-И-Арм	0,47	1,20		2,6
7		№ 2ВП	№ 2ВП-И-Арм	0,44	1,47		3,3
8		№ 3ВП	№ 3ВП-И-Арм	0,49	1,47		3,0

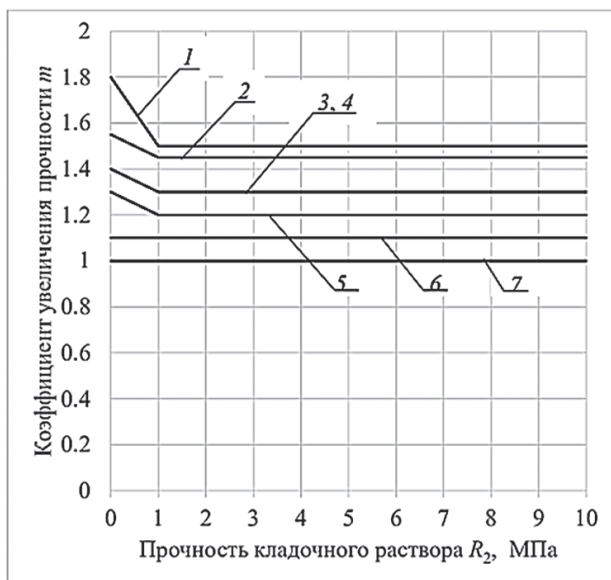
## 7. Анализ результатов исследований

Прониканию раствора и эффективности усиления кладки способствуют трещины и расслоение кладки, наличие участков с разнородной кладкой, не полностью заполненные раствором швы и т. п. Наилучший эффект достигается при низкой прочности кладочного раствора. В ряде случаев инъекцию целесообразно сочетать с другими методами усиления, такими как устройство косвенного армирования, обойм, сердечников и т. п. [19 и др].

При наличии в кирпичах коротких замкнутых трещин и раздробления кладки эффективность усиления инъекцией может оказаться низкой, в данном случае инъекцию целесообразно сочетать с косвенным армированием.

Инъекцию кладки, не имеющей трещин или имеющей отдельные деформационные трещины, расположенные на значительном расстоянии друг от друга, в большинстве случаев следует рассматривать как профилактическое мероприятие, способствующее восстановлению монолитности кладки на участках с трещинами, расслоением кладки, сопряжением разнородных кладок.

На рис. 15 приведены рекомендуемые для практического использования графики зависимости коэффициента увеличения прочности усиленной кладки  $m$  от прочности кладочного раствора  $R_2$  для различных видов инъекционных растворов.



**Рис. 15.** Рекомендуемые для практического использования графики зависимости коэффициента увеличения прочности усиленной кладки  $m$  от прочности кладочного раствора  $R_2$  для различных видов инъекционных растворов: 1 – на основе эпоксидной смолы; 2 – тонкодисперсные полимерцементные; 3 – на основе метилметакрилата; 4 – полимерцементные; 5 – на основе фурановой смолы; 6 – цементные; 7 – известково-цементные

**Fig. 15** – Recommended for practical use graphs of the dependence of the coefficient of increase in the strength of reinforced masonry  $m$  on the strength of the masonry mortar  $R_2$  for various types of injection mortars: 1 – based on epoxy resin; 2 – finely dispersed polymer-cement; 3 – based on methyl methacrylate; 4 – polymer-cement; 5 – based on furan resin; 6 – cement; 7 – lime-cement

Результаты исследований использованы в СП 427.1325800 [28] и методических указаниях [29]. Для неусиленной кладки, имеющей дефекты, расчет производится по формуле:

$$N \leq N_f \tag{1}$$

где  $N$  – расчетное усилие;

$N_f$  – фактическая несущая способность с учетом имеющихся дефектов, определяемая по формуле:

$$N_f = k_{mc} \times N_c \tag{2}$$

$N_c$  – расчетная несущая способность, определяемая без учета понижающих коэффициентов  $k_{mc}$  подстановкой в соответствующие формулы фактических значений прочности (марок) материалов, площади сечения кладки, арматуры и т. п.;

$k_{mc}$  – коэффициент технического состояния, учитывающий снижение несущей способности при наличии дефектов, трещин, повреждений, увлажнении материалов и т. п., принимаемый по СП [28].

Для усиленной инъекцией кладки коэффициент  $k_{mc}$  при отсутствии других понижающих факторов, кроме трещин, принимается равным 1,0. Для оценки роста прочности кладки сжатию после ее усиления инъекцией введен коэффициент  $m$ , показывающий увеличение прочности усиленной кладки  $R_{reinf}$  по сравнению с такой же кладкой без дефектов:

$$R_{reinf} = m \times R, \tag{3}$$

где  $R$  – сопротивление сжатию кладки без дефектов.

Коэффициенты  $m$  больше единицы применяют только к кладке, имевшей до усиления множественные силовые трещины и усиленной с соблюдением всех требований по технологии производства работ и составам растворов. Под множественными трещинами мы понимаем трещины, расположенные на расстоянии друг от друга не более чем на 25 см.

Инъекцию кладки с трещинами целесообразно проводить после стабилизации процесса развития трещин и устранения причин, их вызывающих.

## Список литературы

1. Временная инструкция по составлению проектов и производству работ по цементации бетонных каменных кладок. Москва: ОНТИ. 1937. 56 с.
2. Зворыкин Б.Н. Методика укрепления каменных (кирпичных) кладок памятников архитектуры путем нагнетания растворов в трещины кладки. Практика реставрационных работ, сб. 1. Москва. 1954.
3. Зворыкин Б.Н. Растворы для инъекции каменной кладки. Теория и практика реставрационных работ. Москва: Стройиздат, 1973. Вып. 3. С. 25–27.
4. Мартемьянов А.И., Ширин В.В. Способы восстановления зданий и сооружений, поврежденных землетрясением. Москва: Стройиздат, 1978. 204 с.
5. Шишкин А.А. Использование несущих элементов зданий и сооружений при их реконструкции и модернизации Москва: Стройиздат, 1975. 91 с.
6. Воронина В.П. Прочность и деформативность кирпичной кладки и стыков крупнопанельных зданий, инъецированных цементными растворами. Диссертация. Москва, 1986
7. Рекомендации по повышению качества каменной кладки и стыков крупнопанельных зданий инъецированием под давлением // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР. Москва: Стройиздат, 1987. 22 с.
8. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР. Москва: Стройиздат, 1984. 36 с.
9. Малярик М.Г. Влияние полимерных добавок к цементным растворам на повышение монолитности и прочности кирпичной кладки. Дис. канд. техн. наук. Москва, 1981.
10. Малярик М.Г. Прочность и деформации полимерцементных растворов / *Научно-технический реферативный сборник. ВНИИИС*. 1980. Сер.14. Вып.10. С. 22–25.
11. Бессонов Г.В. Методические рекомендации «Исследование деформаций, расчет несущей способности и конструктивное укрепление древних распорных систем». Москва, 1989. Объединение «Росреставрация».
12. Рекомендации по восстановлению и усилению крупнопанельных зданий полимеррастворами. ТбилЗНИИЭП, Тбилиси, 1989.
13. Легацкий О.Е. Инъекционное уплотнение дефектного бетона гидросооружений полимерными композициями пониженной вязкости: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.23.16 / В/О Союзводпроект. Всесоюз. гос. головной проектно-изыскат. и НИИ по проектированию водохоз. и мелиор. объектов им. Е.Е. Алексеевского. Москва, 1989. 22 с.
14. Карев Н.Н. Технология инъекционного укрепления каменных кладок памятников архитектуры [Метод. рекомендации] / Всесоюз. специализир. реставрац. произв. об-ние «Союзреставрация». Проект. ин-т по реставрации памятников истории и культуры «Спецпроектреставрация». Москва: Ин-т «Спецпроектреставрация» 1991. 38 с.
15. Ханов Н.М. Прочность и деформативность кирпичной кладки при местном сжатии с учетом ее инъецирования модифицированными полимерными композициями [диссертация]. Москва; 1993.
16. Дубровская Л.В. Прочность и деформативность кирпичной кладки памятников архитектуры Казахстана и разработка методов ее усиления [диссертация]. Москва. 2004.
17. Курлапов Д.В. и др. Инъецирование как метод усиления каменных конструкций // *Инженерно-строительный журнал*. 2009. № 3(5). С. 17–21.
18. Шилин А.А. Ремонт строительных конструкций с помощью инъецирования. Москва: Горная книга: Изд-во МГГУ. 2009.
19. Ищук М.К., Фролова И.Г., Ищук Е.М. Усиление каменных конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. 2006. № 8. С. 00–00.

20. Ищук М.К., Ищук Е.М., Фролова И.Г. Усиление кладки методом инъекции эпоксидной смолы // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 4. С. 48–51.
21. Ищук М.К., Ищук Е.М. и др. Стандарт организации СТО 36554501-010-2008 «Усиление кирпичной кладки методом инъекции эпоксидной смолы GLOBALPOX I-10/138/BT».
22. Ishchuk M.K., Ishchuk E.M. Stress and strains of reinforced Masonry // CIB W023 – Wall Structures. Moscow, September, 2010.
23. Pantschenko A., Ishchuk M., Ishchuk E. Modifizierten Feinstzemente für die Mauerwerksanierung. In: Ibausil, Weimar, 12–15 september 2012. 18 Internationale Baustofftagung. Vol. 2. Weimar: Bauhaus – Universität Weimar; 2012, p. 172.
24. Ищук М.К., Ищук Е.М., Соколов Б.С. Исследование прочности и деформаций кирпичных стен и сводов Грановитой палаты Московского кремля // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2013. № 4 (249). С. 15–20.
25. Ищук М.К., Ищук Е.М., Фролова И.Г. Совместная работа старой и новой кладок на участках с вычинкой // *Промышленное и гражданское строительство*. 2014. № 1. С. 28–30.
26. Ищук М.К., Ищук Е.М. Усиление исторической кладки инъекцией растворов на основе извести // В книге: Природные условия строительства и сохранения храмов православной Руси. *Сборник тезисов 6-го Международного научно-практического Симпозиума*. 2015. С. 119–120.
27. Ищук М.К., Ищук Е.М. и др. Исследование прочности и деформаций кирпичных стен и сводов, усиленных с применением отечественных технологий и материалов, совместимых с исторической кладкой. Отчет о НИР/ НИОКР № АААА-Б19-219052790078-0. Москва; 2017.
28. Ищук М.К., Ищук Е.М. и др. СП 427.1325800.2018. Каменные и армокаменные конструкции. Методы усиления. Москва: Стандартинформ; 2019.
29. Ищук М.К., Ищук Е.М. Методические указания по усилению каменной кладки, в том числе исторических зданий, инъекцией раствором [интернет]. Москва; 2019. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293720/4293720336.pdf>.
30. Ищук М.К., Ищук Е.М. Прочность и деформации каменной кладки, усиленной инъекцией раствора // В сб.: Эффективные строительные конструкции: теория и практика. *Сборник статей XX Международной научно-технической конференции*. Под редакцией Н.Н. Ласькова. 2020. С. 63–69.
31. Ищук М.К., Грановский А.В., Гогоуа О.К., Ищук Е.М. и др. СП 427.1325800.2018 Каменные и армокаменные конструкции. Методы усиления. М., 2019.
32. Ищук М.К., Ищук Е.М. Экспериментальные исследования каменной кладки, усиленной инъекцией раствора в сочетании с косвенным армированием В книге: Международный строительный конгресс. Наука. Инновации. Цели. Строительство. *Сборник тезисов докладов*. М., 2023. С. 188–190. <https://doi.org/10.37538/2949-219X-2023-188-190>
33. Ищук М.К., Ищук Е.М. Предложения в СП 427.1325800 «Каменные и армокаменные конструкции. Методы усиления». В книге: Международный строительный конгресс. Наука. Инновации. Цели. Строительство. *Сборник тезисов докладов*. Москва, 2023. С. 191–193. <https://doi.org/10.37538/2949-219X-2023-191-193>
34. Ищук Е.М. Экспериментальные исследования каменной кладки, усиленной инъекцией раствора в сочетании с косвенным армированием // В сб. тезисов *Онищиковских чтений под ред. Ведякова И.И.*, Ищука М.К. Москва, 2024. С. 28 – 30.
35. Ищук М.К., Ищук Е.М. Исследования кирпичной кладки, усиленной инъекцией раствора в сочетании с косвенным армированием // В сб. тезис. докладов *Международной научной конференции, посвященной 50-летию кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» и 105-летию Казанской школы железобетона*. Казань, 2024. Издательство: Казанский государственный архитектурно-строительный университет. С. 16.
36. Ищук Е.М., Ищук М.К. Усиление кирпичной кладки инъекцией метилметакрилата // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024. № 3 (42). С. 111–123.
37. Ищук М.К., Ищук Е.М. Исследование прочности и деформаций исторической кладки // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2025. № 4. С. 33–46. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-33-46](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-33-46)
38. Забелина О.Б., Кунин Ю.С. Выбор способа усиления кирпичных вертикальных конструкций после детального технического обследования объекта федерального государственного бюджетного учреждения культуры Политехнический музей // *Наука и бизнес*. 2018;(11):102–107.
39. Грановский А.В., Кунин Ю.С., Легецкий О.Е. Оценка прочности кирпичной кладки, усиленной инъекционным составом // *Промышленное и гражданское строительство*. 2023;(2):37–43. <https://doi.org/10.33622/08697019.2023.02.37-43>

40. Грановский А.В., Кунин Ю.С., Легецкий О.Е. Инъекционные составы для повышения прочности и монолитности кирпичной кладки // *Промышленное и гражданское строительство*. 2023;(4):16–20. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2023.04.16-20>.
41. F. da Porto, C. Modena, M.R. Valluzzi (UNIPD) / L. Binda, A. Saisi Experimental Tests on Irregular Masonry Issued by (POLIMI) – WORK PACKAGE 9 (Leader: UCLM): Structural Models /DELIVERABLE D9.2 September 2004, 37 p.
42. Kwiecień A., Zajac B. Static and dynamic properties of a flexible joint working in cracked historical masonries. Cracow University of Technology, Cracow, Poland R. Jankowski. Gdansk University of Technology, Gdansk, Poland
43. Marco Corradi, Antonio Borri, Elena Poverello, Giulio Castori. The use of transverse connectors as reinforcement of multi-leaf walls. *Materials and Structures*, 2017, 50:114  
DOI 10.1617/s11527-016-0977-3
44. Hartmut H. Probst CINTEC-Injektionsverankerungs-Systeme Fortschrittliche Technik für Instandsetzungen, Nachbewehrungen und Verankerungen im Mauerwerksbau // © Ernst & Sohn • das Mauerwerk • Heft 3 • 2001
45. Toralf Burkert, Christian Fuchs, Jörg Schweinfurth. Safeguarding and retrofitting works at the UNESCO // Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin · Mauerwerk 22 [2018], Heft 2. P. 91 – 102. DOI: 10.1002/dama.201800009
46. L. Binda, C. Modena, A. Saisi, R. Tongini Folli, M.R. Valluzzi. Bed joints structural repointing of historic masonry structures. 9-th Canadian masonry symposium. P. 12
47. Гроздов В.Т. Реконструкция зданий и сооружений, техническое обследование, испытание и усиление строительных конструкций. СПбВВИСУ: СПб. 2004. 244 с.

## References

1. Temporary instructions for drafting projects and carrying out work on grouting concrete stone masonry. Moscow, ONTI, 1937, 56 p.
2. Zvorykin B.N. Methodology for strengthening stone (brick) masonry of architectural monuments by injecting mortar into cracks in the masonry. Practice of restoration work, collection 1. Moscow. 1954.
3. Zvorykin B.N. Mortars for injecting masonry. Theory and practice of restoration work. Moscow: Stroyizdat, 1973, Issue 3, pp. 25–27.
4. Martemyanov A.I., Shirin V.V. Methods for restoring buildings and structures damaged by an earthquake. Moscow: Stroyizdat, 1978, 204 pp.
5. Shishkin A.A. Use of Load-Bearing Elements of Buildings and Structures during Their Reconstruction and Modernization. Moscow: Stroyizdat, 1975, 91 p.
6. Voronina V.P. Strength and Deformability of Brickwork and Joints of Large-Panel Buildings Injected with Cement Mortars. Dissertation. Moscow, 1986.
7. Recommendations for Improving the Quality of Masonry and Joints of Large-Panel Buildings by Pressure Injection. Koucherenko Central Research Institute of Building Structures of the USSR Gosstroy, Moscow: Stroyizdat, 1987, 22 p.
8. Recommendations for Strengthening Masonry Structures of Buildings and Structures. Koucherenko Central Research Institute of Building Structures of the USSR Gosstroy, Moscow: Stroyizdat, 1984, 36 p.
9. Malyarik M.G. The Effect of Polymer Additives to Cement Mortars on Improving the Integrity and Strength of Brickwork. Cand. Sci. [Eng.] Dissertation. Moscow: 1981, 175 p.
10. Malyarik M.G. Strength and Deformations of Polymer-Cement Mortars. *Scientific and Technical Abstract Collection*. VNIIS, 1980, Series 14, Issue 10, pp. 22–25.
11. Bessonov G.V. Methodological Recommendations “Study of Deformations, Calculation of Bearing Capacity, and Structural Strengthening of Ancient Thrust Systems”, Moscow, 1989, Rosrestavratsiya Association
12. Recommendations for the Restoration and Strengthening of Large-Panel Buildings with Polymer Mortars. Tbilisi ZNIIEP, Tbilisi, 1989.
13. Legetsky O.E. Injection Compaction of Defective Concrete of Hydraulic Structures with Low-Viscosity Polymer Composites: Abstract of Candidate of Technical Sciences Dissertation: 05.23.16 / V/O Soyuzvodproekt. All-Union State Leading Design and Survey Institute and Research Institute for Design of Water Management and Land Reclamation Facilities named after E.E. Alekseevsky. Moscow, 1989, 22 p.
14. Karev N.N. Technology of Injection Strengthening of Masonry of Architectural Monuments. Methodological Recommendations. All-Union Specialized Restoration Production Society “Soyuzrestavratsiya”, Design

Institute for Restoration of Historical and Cultural Monuments “Spetsproektrestavratsiya”, Moscow: Institute “Spetsproektrestavratsiya”, 1991, 38 p.

15. Khanov N.M. Strength and Deformability of Brickwork under Local Compression Taking into Account Its Injection with Modified Polymer Composites [dissertation]. Moscow, 1993.
16. Dubrovskaya L.V. Strength and Deformability of Brickwork of Architectural Monuments of Kazakhstan and Development of Methods for Its Strengthening [dissertation]. Moscow, 2004.
17. Kurlapov D. V. et al. Injection as a Method of Strengthening Masonry Structures. *Engineering and Construction Journal*, 2009, no. 3 (5), pp. 17–21.
18. Shilin A. A. Repair of Building Structures Using Injection. Moscow: Gornaya kniga: MGGU Publishing House, 2009.
19. Ishchuk M.K., Frolova I.G., Ishchuk E.M. Strengthening of Masonry Structures. *Industrial and civil engineering*, 2006, no. 8.
20. Ishchuk M.K., Ishchuk E.M., Frolova I.G. Strengthening Masonry by Injecting Epoxy Resin. *Industrial and civil engineering*, 2013, no. 4. pp. 48–51.
21. Ishchuk M.K., Ishchuk E.M. et al. Organization Standard STO 36554501-010-2008 “Strengthening Brickwork by Injecting Epoxy Resin GLOBALPOX I-10/138/BT”.
22. Ishchuk, M.K., E.M. Ishchuk Stress and Strains of Reinforced Masonry // CIB W023 – Wall Structures. Moscow, September, 2010.
23. Pantschenko A., Ishchuk M., Ishchuk E. Modifications of Reinforced Masonry Walls. In: Ibausil, Weimar, 12–15 September 2012. 18th Internationale Baustofftagung. Vol. 2. Weimar: Bauhaus – Universitat Weimar, 2012, p. 172.
24. Ishchuk M.K., Ishchuk E.M., Sokolov B.S. Study of Strength and Deformations of Brick Walls and Vaults of the Faceted Chamber of the Moscow Kremlin. *Structural Mechanics and Analysis of Structures*, 2013, no. 4 (249), pp. 15–20.
25. Ishchuk M.K., Ishchuk E.M., Frolova I.G. Joint work of old and new masonry on sites with a filler. *Industrial and civil engineering*, 2014, no. 1, pp. 28–30.
26. Ishchuk M.K., Ishchuk E.M. Strengthening of historical masonry by injection of lime-based mortars. In the book: Natural conditions of construction and preservation of churches of Orthodox Rus'. *Collection of abstracts of the 6th International scientific and practical Symposium*, 2015, pp. 119–120.
27. Ishchuk MK, Ishchuk EM et al. Study of strength and deformations of brick walls and vaults reinforced using domestic technologies and materials compatible with historical masonry. R&D Report No. AAAA-B19-219052790078-0. Moscow; 2017.
28. Ishchuk M.K., Ishchuk E.M., et al. SP 427.1325800.2018. Masonry and reinforced masonry structures. Strengthening methods. Moscow: Standartinform, 2019.
29. Ishchuk M.K., Ishchuk E.M. Guidelines for Strengthening Masonry, Including Historic Buildings, with Mortar Injection [Internet]. Moscow, 2019. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293720/4293720336.pdf>.
30. Ishchuk M,K., Ishchuk E.M. Strength and Deformations of Masonry Reinforced with Mortar Injection // In the collection: Effective Building Structures: Theory and Practice. *Collection of articles from the XX International Scientific and Technical Conference*. Edited by N.N. Laskov, 2020, pp. 63–69.
31. Ishchuk M.K., Granovsky A.V., Gogua O.K., Ishchuk E.M. and others. SP 427.1325800.2018 Masonry and reinforced masonry structures. Strengthening methods. Moscow, 2019.
32. Ishchuk M.K., Ishchuk E.M. Experimental studies of masonry reinforced with mortar injection in combination with indirect reinforcement. In the book: International Construction Congress. Science. Innovations. Objectives. Construction. *Collection of abstracts*, Moscow, 2023, pp. 188–190. <https://doi.org/10.37538/2949-219X-2023-188-190>
33. Ishchuk M.K., Ishchuk E.M. Proposals to SP 427.1325800 Masonry and reinforced masonry structures. Strengthening methods” In the book: International Construction Congress. Science. Innovations. Objectives. Construction. *Collection of abstracts*. Moscow, 2023, pp. 191–193. <https://doi.org/10.37538/2949-219X-2023-191-193>
34. Ishchuk E.M. Experimental studies of brick masonry reinforced by mortar injection in combination with indirect reinforcement. In the collection of abstracts of the *Onishchikov Readings*. Edited by Vedyakov I.I., Ishchuk M.K. Moscow, 2024, pp. 28–30.
35. Ishchuk M.K., Ishchuk E.M. Studies of brickwork reinforced by mortar injection in combination with indirect reinforcement. In the collection of abstracts. *Proceedings of the International Scientific Conference dedicated to the 50th Anniversary of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures and the*

*105th Anniversary of the Kazan School of Reinforced Concrete*. Kazan, 2024. Publisher: Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, p. 16.

36. Ishchuk E.M., Ishchuk M.K. Strengthening Brickwork by Injecting Methyl Methacrylate. *Bulletin of the Research Center for Construction*, 2024, no. 3 [42], pp. 111–123.

37. Ishchuk M.K., Ishchuk E.M. Study of Strength and Deformations of Historical Masonry. *Bulletin of the Research Center for Construction*, 2025, no. 4, pp. 33–46. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4\(47\)-33-46](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-4(47)-33-46)

38. Zabelina O.B., Kunin Yu.S. Selection of the method for strengthening vertical brick structures after a detailed technical inspection of the facility of the Federal State Budgetary Institution of Culture, the Polytechnic Museum. *Science and Business*, 2018;(11):102–107.

39. Granovsky A.V., Kunin Yu.S., Legetsy O.E. Strength assessment of brickwork reinforced with injection mortar. *Industrial and civil engineering*. 2023;(2):37–43. <https://doi.org/10.33622/08697019.2023.02.37-43>

40. Granovsky A.V., Kunin Yu.S., Legetsy O.E. Injection mortars for increasing the strength and monolithicity of brickwork. *Industrial and civil engineering*. 2023;(4):16–20. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2023.04.16-20>.

41. F. da Porto, C. Modena, M.R. Valluzzi (UNIPD) / L. Binda, A. Saisi. Experimental Tests on Irregular Masonry. Issued by [POLIMI] – WORK PACKAGE 9 (Leader: UCLM): Structural Models /DELIVERABLE D9.2 September 2004, 37 p.

42. Kwiecień A., Zajac B. Static and dynamic properties of a flexible joint working in cracked historical masonries Cracow University of Technology, Cracow, Poland R. Jankowski. Gdansk University of Technology, Gdansk, Poland

43. Marco Corradi, Antonio Borri, Elena Poverello, Giulio Castori. The use of transverse connectors as reinforcement of multi-leaf walls. *Materials and Structures*, 2017, 50:114

DOI 10.1617/s11527-016-0977-3

44. Hartmut H. Probst CINTEC-Injektionsverankerungs-Systeme Fortschrittliche Technik für Instandsetzungen, Nachbewehrungen und Verankerungen im Mauerwerksbau // © Ernst & Sohn • das Mauerwerk • Heft 3 • 2001

45. Toralf Burkert, Christian Fuchs, Jörg Schweinurth. Safeguarding and retrofitting works at the UNESCO // Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin Mauerwerk 22 (2018), Heft 2. Rue 91 – 102. DOI: 10.1002/dama.201800009

46. L. Binda, C. Modena, A. Saisi, R. Tongini Folli, M.R. Valluzzi. Bed joints structural repointing of historic masonry structures. 9th Canadian masonry symposium, p. 12.

47. Grozdov V.T. Reconstruction of Buildings and Structures, Technical Inspection, Testing and Strengthening of Building Structures. SPbVVISU: SPb, 2004, 244 p.

## Информация об авторах / Information about the authors

**Евгений Михайлович Ищук**, заведующий группой лаборатории реконструкции уникальных каменных зданий и сооружений, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: ruskon@inbox.ru

**Evgeny M. Ishchuk**, Group Head, Laboratory for the Reconstruction of Unique Stone Buildings and Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: ruskon@inbox.ru

**Михаил Карпович Ищук\***, д-р техн. наук, заведующий лабораторией реконструкции уникальных каменных зданий и сооружений, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: kamkon@yandex.ru

**Mikhail K. Ishchuk\***, Dr. Sci. (Engineering), Laboratory Head, Laboratory for the Reconstruction of Unique Stone Buildings and Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: kamkon@yandex.ru

**Николай Николаевич Ласьков**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой строительных конструкций, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза  
e-mail: lask58@mail.ru

**Nikolay N. Laskov**, Dr. Sci. (Engineering), Head of Department of Building Structures, Penza State University of Architecture and Construction, Penza  
mail: lask58@mail.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author