

УДК 624.012.1/.2

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\(42\)-111-123](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-111-123)

EDN: DCMAEH

УСИЛЕНИЕ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ ИНЪЕКЦИЕЙ МЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

Е.М. ИЩУК

М.К. ИЩУК[✉], д-р техн. наук

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

Аннотация

Введение. Усиление кирпичной и каменной кладки инъекцией раствора под давлением является одним из основных способов восстановления монолитности кладки, восстановления, а в ряде случаев – и повышения несущей способности. В настоящей работе приводятся результаты проводившихся исследований прочности кладки, усиленной инъекцией метилметакрилата, которые входят в комплексную программу, начатую еще в 2004 г. и продолжающуюся по настоящее время. За счет высокой проникающей способности метилметакрилата усиление им кладки с небольшим раскрытием трещин может найти широкое применение.

Цель. Оценка эффективности усиления инъекцией метилметакрилата кладки.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводились в два этапа. На первом испытывались на сжатие образцы кладки, изготовленные в виде столбов. На втором в образцы с образовавшимися трещинами производилась инъекция метилметакрилата под давлением. Усиленные таким образом образцы испытывались вновь с целью оценки величины коэффициента увеличения прочности.

Результаты. Исследовалось распространение метилметакрилата по кладке при его инъекции под давлением, а также по отдельным образцам кирпича и раствора без давления. Показано, что технология усиления кладки инъекцией метилметакрилата существенно отличается от технологии усиления бетона, где возможно обеспечить высокое давление и благодаря этому хорошее распространение по телу бетона.

Выводы. Инъекция метилметакрилата в кладку с множественными силовыми трещинами позволяет повысить ее несущую способность не менее чем в 1,2 раза.

Результаты исследований использованы при разработке нормативных документов по усилению каменных конструкций.

Ключевые слова: кирпичная кладка, усиление кладки инъекцией метилметакрилата, прочность и деформации кладки, трещины, распространение метилметакрилата по кладке, испытание на сжатие, рекомендации по усилению, коэффициент увеличения прочности усиленной кладки

Для цитирования: Ищук Е.М., Ищук М.К. Усиление кирпичной кладки инъекцией метилметакрилата. Вестник НИЦ «Строительство». 2024;42(3):111–123. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\(42\)-111-123](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-111-123)

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 03.07.2024

Поступила после рецензирования 20.07.2024

Принята к публикации 25.07.2024

BRICK MASONRY REINFORCEMENT WITH METHYL METHACRYLATE INJECTION

E.M. ISHCHUK

M.K. ISHCHUK✉, Dr. Sci. (Engineering)

*Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction,
2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation*

Abstract

Introduction. Structural reinforcement of brick and stone masonry by grouting materials under pressure is an efficient approach to restoring the masonry integrity, and, in some cases, improving its bearing capacity. This paper presents the results of research studies into the strength of a masonry structure reinforced by methyl methacrylate injection. This research is part of a larger project, which was launched in 2004 and continues to date. Due to the high penetrating ability of methyl methacrylate, reinforcement of masonry structures with small crack opening seems highly promising.

Aim. Evaluation of the effectiveness of methyl methacrylate injection for masonry reinforcement.

Materials and methods. The experimental studies were carried out in two stages. At the first stage, masonry specimens manufactured in the form of columns were subjected to compression tests. At the second stage, methyl methacrylate was injected under pressure into the specimens with formed cracks. The as-reinforced specimens were tested again in order to evaluate their strength increase factor.

Results. The distribution of methyl methacrylate throughout masonry when injected under pressure, as well as through individual brick and mortar specimens without pressure, was studied. It is shown that the technology of masonry reinforcement by methyl methacrylate differs significantly from that of concrete consolidation, where higher pressures contribute to its more even distribution over the concrete body.

Conclusions. Injection of methyl methacrylate into masonry with multiple load cracks can increase its load-bearing capacity by at least 1.2 times.

The results of research were used in the development of normative documents on reinforcement of masonry structures.

Keywords: masonry, brick masonry reinforcement with methyl methacrylate injection, brickwork strength and deformations, cracks, methyl methacrylate distribution in brickwork, compression test, reinforcement recommendations, reinforced brickwork strength increase factor

For citation: Ishchuk E.M., Ishchuk M.K. Brick masonry reinforcement with methyl methacrylate injection. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;42(3):111–123. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\(42\)-111-123](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-111-123)

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 03.07.2024

Revised 20.07.2024

Accepted 25.07.2024

Введение

Усиление кирпичной и каменной кладки инъекцией раствора под давлением является одним из основных способов восстановления монолитности кладки, а в ряде случаев – и повышения несущей способности.

В рекомендациях ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко [1, 2], разработанных на основе экспериментов В. П. Ворониной [3] и действовавших в развитие СНиП II-22-81* «Каменные и армокаменные конструкции» [4], рассматривалось усиление кладки с трещинами инъекцией раствора под давлением. Для кладки из керамического кирпича на растворе прочностью 3,9–5,7 МПа при усилении инъекцией цементно-песчаных растворов увеличение прочности кладки принято в 1,13–1,25 раза. При усилении полимерцементными растворами рост прочности кладки принимается в 1,25–1,37 раза при прочности кладочного раствора 5,2–7,9 МПа. При усилении кладки с трещинами на растворе прочностью 7,3–11,5 МПа и раствором на основе эпоксидной смолы увеличение прочности кладки принято в 1,6–1,8 раза.

В 1991 г. были выпущены методические указания по технологии инъекционного укрепления каменных кладок памятников архитектуры [5].

В работе [6] исследовались прочность и деформации кирпичной кладки, усиливаемой инъекцией раствора фурановой смолы. При прочности кладочного раствора 1–2,5 МПа в зависимости от способа приложения нагрузки увеличение прочности усиленной кладки по сравнению с неусиленной составило 63 %. В то же время при прочности раствора 7,5–11 МПа эффект от усиления оказался ниже и составил 37,5 %. Это относилось к усилению образцов кладки как с трещинами, так и без них. В выводах автор рекомендует принять коэффициент условий работы для всех случаев нагружения и при разных прочностях кладочного раствора 1,2.

В работе Л. В. Дубровской приведены результаты усиления кладки памятников Казахстана, выполненной из необожженного кирпича на лессовом растворе инъекцией гипсового раствора [7].

В 2006 г. авторами данной работы опубликована статья [8], подводившая итог проведенным работам по усилению кирпичной кладки инъекцией полимерцементного раствора с добавками извести. Было показано, что «...несущая способность кладки с силовыми трещинами после ее усиления инъекцией может увеличиться по сравнению с первоначальной до 30 %, чего нельзя сказать о кладке без трещин... Инъекция кладки имеет смысл только при наличии там трещин, пустот, незаполненных швов и т. п. В противном случае эффект при очень частом устройстве отверстий для подачи раствора будет в лучшем случае нулевым. В худшем случае кладку можно ослабить. И уж совсем неправильным будет после проведения такого «усиления» увеличивать расчетное сопротивление кладки...».

В 2008 г. авторами были проведены испытания кладки из керамического кирпича, сложенной на цементно-песчаном и известковом растворах [9], усиленной инъекцией эпоксидной смолой производства итальянской фирмы Globalchimica S.R.L. Эффект от усиления был получен при испытании образцов с множественными силовыми трещинами, полученными после испытания в прессе неусиленных образцов. Было установлено, что инъекционный раствор в образцах без трещин при растворах с низкой прочностью (до 0,2 МПа) распространялся в основном на незначительные расстояния по контакту между кирпичом и кладочным раствором. В образцах с трещинами инъекционный раствор

распространялся практически по всей кладке. Авторы делают выводы, что эффективность усиления кладки методом инъекции зависит во многом от качества кладки, наличия или отсутствия неплотностей в растворных швах, пустот и трещин, а также прочности кладочного раствора.

В СТО 36554501-010-2008 [10], разработанном на основе проведенных исследований, для участков кладки с трещинами, расстояние между которыми не превышает 15–20 см, коэффициент увеличения прочности кладки, усиленной инъекцией эпоксидной смолы, рекомендуется принять равным 3,0 при прочности кладочного раствора не более 0,2 МПа и 1,5 при растворах большей прочности.

В докладе авторов настоящей статьи на конференции в Германии в 2012 г. сообщалось об эффективности разработанных составов для усиления исторической кладки инъекцией под давлением раствором на основе гидравлической извести с минеральными добавками на основе микродура [11].

В работе А. А. Шилина [12] приведены различные составы инъекционных растворов, в том числе для каменной кладки.

В работе (2017 г.) [13] подведен итог испытаний кладки из исторического и современного кирпича, усиленной различными составами.

В СП 427.1325800.2018 [14] были внесены основные положения по усилению кладки методом инъекции. Указано, что повышение несущей способности кладки при усилении инъекцией возможно только при наличии множественных силовых трещин (терминология авторов), характеризующихся тем, что расстояние между ними не должно превышать 15–20 см (рис. 1). В противном случае усиление следует считать конструктивным, направленным на обеспечение монолитности кладки. В развитие этого СП были разработаны «Методические указания по усилению каменной кладки, в том числе исторических зданий, инъекцией раствором» [15].

В работе [16] (2018 г.) приведены результаты испытаний кирпичной кладки, усиленной методом инъекции на центральное сжатие по методике ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. Для каждого вида раствора было изготовлено по два образца кладки. Установлено, что при инъекции раствором Макфлюа прочность кладки увеличивалась на 25–30 % по сравнению с неусиленной кладкой, а при инъекции Микродур R-X/E – на 80 %. В работе [17] (2023 г.) приводятся результаты испытаний тех же образцов, описанных в [16].

В работе [18] исследовалась возможность оценки прочности усиленной и неусиленной инъекцией кладки по прочности извлекаемых из стены на разных ее участках кернов. Приведенная в статье методика представляется спорной.

Проводимые за рубежом исследования по усилению кирпичной кладки методом инъекции и разрабатываемые на их основе рекомендации направлены, в первую очередь,

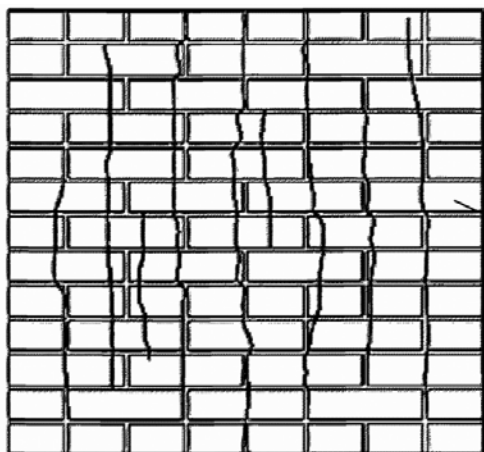


Рис. 1. Множественные силовые трещины [13, 14]
Fig. 1. Multiple load cracks [13, 14]

на повышение монолитности кладки. При этом увеличение прочности кладки, усиленной методом инъекции, в этих документах не регламентируется.

В настоящей работе приводятся результаты проводившихся авторами исследований прочности кладки, усиленной инъекцией метилметакрилата, которые входят в комплексную программу, начатую еще в 2004 г. и продолжающуюся по настоящее время.

1. Экспериментальные исследования усиления кладки инъекцией метилметакрилата

1.1. Исследования усиления кладки инъекцией метилметакрилата без трещин

1.1.1. Материалы для кладки. Методика проведения испытаний кладки

Все образцы изготавливались из полнотелого керамического кирпича. Образцы № 25 и 26 были изготовлены из кирпича марки 75 на растворе прочностью на сжатие 0,8 МПа. Образец № 8 изготовлен из кирпича марки 175. Образец № 9 изготовлен из исторического кирпича прочностью 7,5 МПа на известковом растворе прочностью 0,8 МПа.

Образцы испытывались в гидравлическом прессе, деформации кладки измерялись индикаторами с ценой деления 0,01 мм.

Верхняя плита пресса была оборудована шаровым шарниром, нижняя заклинена. Нагрузка подавалась этапами, равными примерно 0,1 от разрушающей нагрузки. После подачи нагрузки на каждом из этапов производилась выдержка длительностью по 3 минуты.

1.1.2. Методика усиления образцов кладки без трещин

В образцах без трещин отверстия бурились под углом к горизонту таким образом, чтобы пересекались и вертикальные, и горизонтальные растворные швы. Раствор метилметакрилата подавался под давлением.

1.1.3. Характер разрушения опытных образцов, усиленных без трещин

Разрушение образцов происходило в результате образования вертикальных трещин, разделяющих ее на отдельные столбики. Фотографии образцов после их испытаний приведены на фото в табл. 1.

1.1.4. Упругие свойства кладки, усиленной без трещин

На рис. 2 и 3 приведены графики зависимости относительных вертикальных деформаций кладки для образцов из кирпича марки М175 и М75 от относительного уровня обжатия. Из них видно, что нелинейные составляющие вертикальных деформаций относительно невелики. Графики горизонтальных деформаций имеют более ярко выраженную нелинейную зависимость.

1.1.5. Распространение метилметакрилата в кладке без трещин

Исследовалось распространение метилметакрилата по кладке. Следует отметить, что при закачке метилметакрилата достичь требуемого давления 20 атм., как это практикуется при инъекции в бетон, не удавалось, т. к. раствор выходил на поверхность по неплотным растворным швам.

Таблица 1

Образцы, усиленные инъекцией в кладку без трещин

Table 1

Specimens reinforced by grouting into a masonry structure without cracks

№	Марка	Эскиз после испытания	$K_{усил} = N_{усил} / N_{эт}$	Расход раствора
1	№ 25		1,17	8,5 л
2	№ 26		1,17	10,5 л
3	№ 8		1,0	20 л

Таблица 1. Продолжение
Table 1. Continuation

№	Марка	Эскиз после испытания	$K_{\text{усилен}} = N_{\text{усил}} / N_{\text{эт}}$	Расход раствора
4	№ 19		1,0	

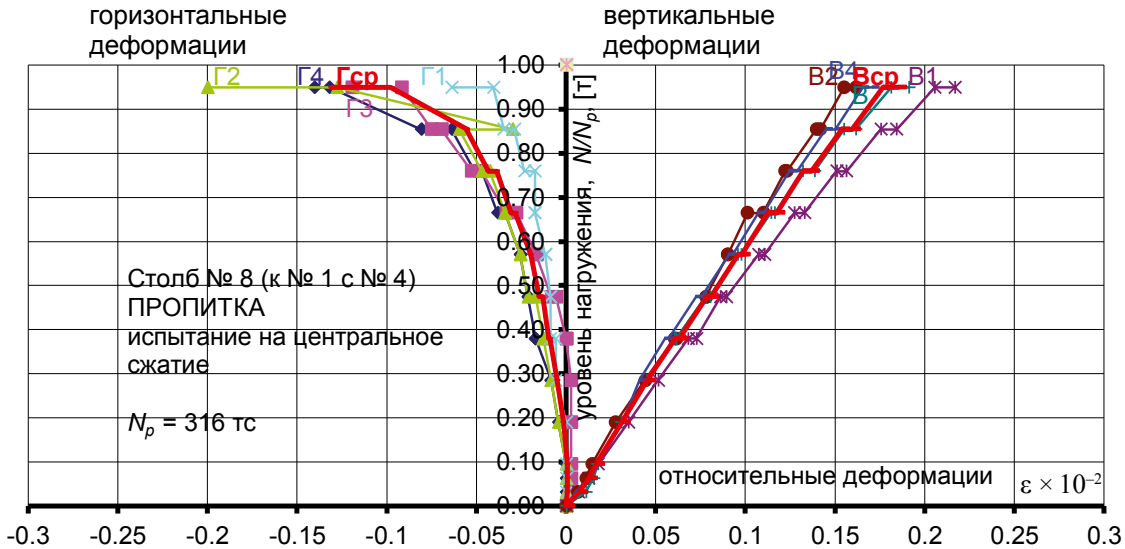


Рис. 2. Деформации образца № 8 из кирпича марки М175
Fig. 2. Deformations of specimen No. 8 made of M175 brick

Проведенные тестовые испытания на малых образцах (растворных кубах и отдельных кирпичах) показали, что при отсутствии давления метилметакрилат распространяется по этим материалам на незначительное расстояние от отверстий, не превышающее нескольких сантиметров (рис. 4).

Из рис. 5 и 6 видно, что в образцах-столбах без трещин метилметакрилат также распространялся на относительно небольших участках, расположенных вблизи отверстий, через которые производилась его подача.

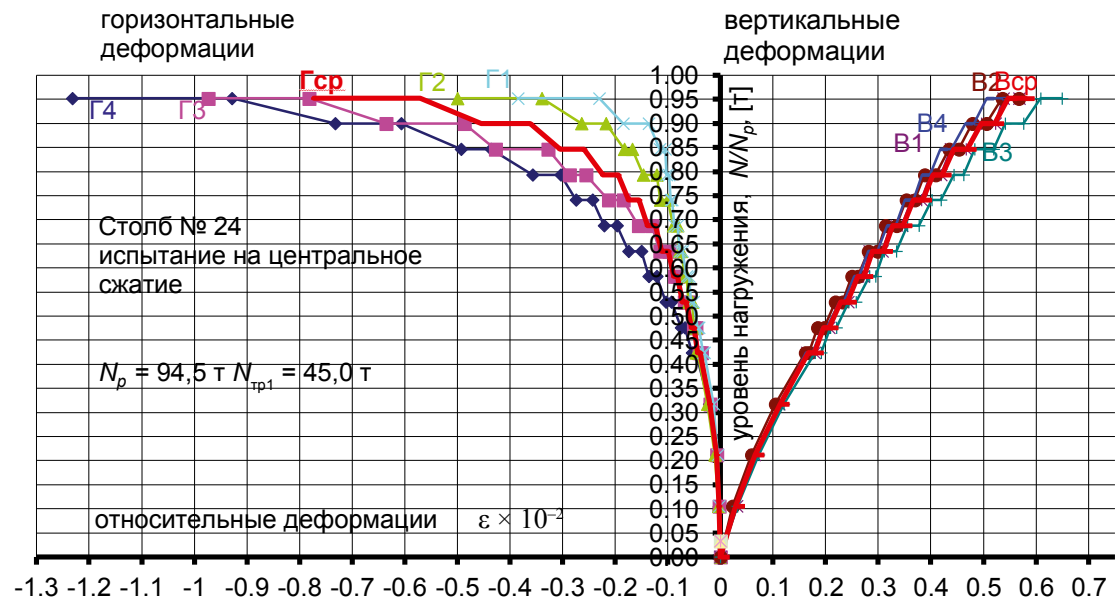


Рис. 3. Деформации образца № 24 из кирпича марки М75
Fig. 3. Deformations of specimen No. 24 made of M75 brick



Рис. 4. Пробная инъекция метилметакрилата без давления в растворные кубики
Fig. 4. Test injection of methyl methacrylate without pressure into mortar cubes



Рис. 5. Вскрытие кладки из исторического кирпича с целью определения границ зоны пропитки метилметакрилатом

Fig. 5. Opening of a historic brick masonry to determine the boundaries of the methyl methacrylate impregnation area

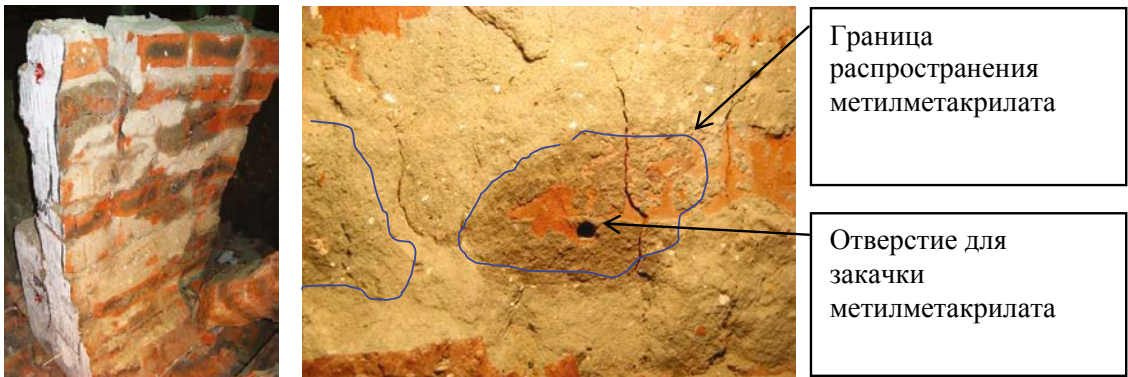


Рис. 6. Вскрытие кладки из современного кирпича с целью определения границ зоны пропитки метилметакрилатом

Fig. 6. Opening of a modern brick masonry to determine the boundaries of the methyl methacrylate impregnation area

1.2. Исследование усиления кладки с трещинами инъекцией метилметакрилата

1.2.1. Материалы и методика проведения испытаний кладки

Для исследований был применен тот же полнотелый керамический кирпич и кладочный раствор, что и в образцах № 25 и 26 в первой серии испытаний усиленных без трещин образцов. Методика испытаний идентична приведенной в разделе 1.1. После испытаний в прессе образцы, получившие трещины, усиливались методом инъекции.

1.2.2. Результаты испытаний

Фотографии образцов после первого и второго этапов испытаний приведены в табл. 2. После первого этапа испытаний трещины в кладке появились достаточно равномерно, как и в образцах-близнецах из первой серии испытаний № 25 и 26. Предельная нагрузка у всех образцов оказалась практически одинаковой (94 тс).

После второго этапа испытаний предельные нагрузки существенно различались (в 1,5 раза), превышая предельные усилия в неусиленных образцах в 1,38–2,1 раза.

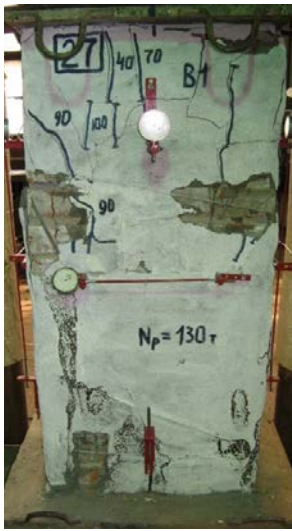
Основные трещины и сколы наблюдались в верхней части образцов.

Таблица 2

Образцы, усиленные инъекцией в кладку с трещинами

Table 2

Specimens reinforced by injection into a cracked masonry

№	Марка	Эскиз до испытания	Эскиз после испытания	$K_{усил} = \frac{N_{усил}}{N_{эт}}$	Расход раствора
1	№ 23–27			1,38	30 л
2	№ 24–28			2,1	37 л (пропитался в основном только низ, там кладка более прочная)



Граница
распространения
метилметакрилата
в нижней части
образца

Рис. 7. Проникание метилметакрилата в кладку с трещинами, образовавшимися после первого этапа испытаний.
Пропиталась кладка в основном только в нижней части образца
Fig. 7. Penetration of methyl methacrylate into a masonry structure with cracks formed after the first stage of testing.
The masonry was mainly impregnated only in the lower part of the specimen

1.2.3. Распространение метилметакрилата в кладке с трещинами

Благодаря трещинам распространение метилметакрилата по телу кладки было существенно выше, чем в образцах без трещин. Косвенно об этом говорит тот факт, что расход метилметакрилата во втором случае был в среднем в 3,7 раза выше. Вместе с тем вследствие большой текучести метилметакрилата происходило его стекание в низ образца, что привело к тому, что прочность нижней части кладки оказалась выше, чем верхней. Выполненные вскрытия кладки после испытаний образцов подтвердили неравномерность распространения метилметакрилата (рис. 7).

Выводы

1. Технология усиления кладки инъекцией метилметакрилата существенно отличается от технологии усиления бетона, где возможно обеспечить высокое давление и благодаря этому – хорошее распространение по телу бетона.
2. Инъекция метилметакрилата в кладку, не имеющую трещин, не гарантирует повышения ее несущей способности и потому не рекомендуется.
3. Инъекция метилметакрилата в кладку с множественными силовыми трещинами позволяет повысить ее несущую способность.
4. Вследствие большой текучести метилметакрилата инъекцию следует проводить ярусами по высоте не более 50 см, начиная следующий ярус уже после полимеризации на нижнем ярусе.
5. Учитывая большой разброс прочности, рекомендуется коэффициент увеличения прочности кладки, усиленной с трещинами, по отношению к прочности аналогичной неусиленной кладки, не имеющей трещин, принимать по нижней границе равным 1,2 при прочности кладочного раствора 5 МПа и выше.

Список литературы

1. Рекомендации по повышению качества каменной кладки и стыков крупнопанельных зданий инъектированием под давлением. Москва: Стройиздат; 1987.
2. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений. Москва: Стройиздат; 1984.
3. Воронина В.П. Прочность и деформативность кирпичной кладки и стыков крупнопанельных зданий, инъектированных цементными растворами [диссертация]. Москва; 1986.
4. СНиП II-22-81*. Каменные и армокаменные конструкции. Москва: Госстрой России; 2004.
5. Технология инъекционного укрепления каменных кладок памятников архитектуры. Методические рекомендации. Москва: Ин-т «Спецпроектреставрация»; 1991.
6. Ханов Н.М. Прочность и деформативность кирпичной кладки при местном сжатии с учетом ее инъектирования модифицированными полимерными композициями [диссертация]. Москва; 1993.
7. Дубровская Л.В. Прочность и деформативность кирпичной кладки памятников архитектуры Казахстана и разработка методов ее усиления [диссертация]. Москва; 2004.
8. Ищук М.К., Фролова И.Г., Ищук Е.М. Усиление каменных конструкций. Промышленное и гражданское строительство. 2006;(8):28–30.
9. Ищук М.К., Ищук Е.М., Фролова И.Г. Усиление кладки методом инъекции эпоксидной смолы. Промышленное и гражданское строительство. 2013;(4):48–51.
10. СТО 36554501-010-2008. Усиление кирпичной кладки методом инъекции эпоксидной смолы «GLOBALPOX I-10/138/ВТ». Москва: ФГУП «НИЦ «Строительство»; 2008.
11. 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.
12. Шилин А.А. Ремонт строительных конструкций с помощью инъектирования. Москва: Горная книга: Изд-во МГГУ; 2009.
13. Ищук М.К. 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; 2019.
14. СП 427.1325800.2018. Каменные и армокаменные конструкции. Методы усиления. Москва: Стандартинформ; 2019.
15. 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>.
16. 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.
17. 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/10.33622/0869-7019.2023.02.37-43>
18. 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>

References

1. Recommendations for improving the quality of masonry and joints of large-panel buildings by injection under pressure. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1987. (In Russian).
2. Recommendations for strengthening stone structures of buildings and structures. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1984. (In Russian).
3. Voronina V.P. Strength and deformability of brickwork and joints of large-panel buildings injected with cement mortars [dissertation]. Moscow; 1986. (In Russian).
4. SNiP II-22-81*. Stone and reinforced stone structures. Moscow: Gosstroy of Russia; 2004. (In Russian).
5. Technology of injection reinforcement of masonry of architectural monuments. Methodological recommendations. Moscow: Spetsproektrestavratsiya; 1991. (In Russian).
6. Khanov N.M. Strength and deformability of brickwork under local compression, taking into account its injection with modified polymer compositions [dissertation]. Moscow; 1993. (In Russian).

7. Dubrovskaya L.V. Strength and deformability of brickwork of architectural monuments of Kazakhstan and the development of methods for its reinforcement [dissertation]. Moscow; 2004. (In Russian).
8. Ishchuk M.K., Frolova I.G., Ishjuk E.M. Reinforcing the brick structures. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2006;(8):28–30. (In Russian).
9. Ishchuk M.K., Ishchuk E.M., Frolova I.G. Strengthening of masonry with injection of epoxy resin. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2013;(4):48–51. (In Russian).
10. STO 36554501-010-2008. Strukturwl restoration of brik masoury by injection with epoxy «GLOBALPOX 1-10/138/BT». Moscow: FSUE Research Center of Construction; 2008. (In Russian).
11. 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.
12. Shilin A.A. Repair of building structures by injection. Moscow: Gornaya kniga: Publishing House of Moscow State University; 2009. (In Russian).
13. Ishchuk M.K. A study of the strength and deformations of brick walls and vaults reinforced with the use of domestic technologies and materials compatible with historical masonry. Research and Development Report No. AAAA-B19-219052790078-0. Moscow; 2019. (In Russian).
14. SP 427.1325800.2018. Masonry and reinforced masonry structures. Methods of strengthening. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
15. Methodological guidelines for strengthening masonry, including historical buildings, by injection of mortar [internet]. Moscow; 2019. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293720/4293720336.pdf>. (In Russian).
16. Zabelina O.B., Kunin Yu.S. The choice of a method for strengthening brick vertical structures after a detailed technical inspection of the object of the federal state budgetary institution of culture Polytechnic Museum. Science and Business. 2018;(11):102–107. (In Russian).
17. Granovskiy A.V., Kunin Yu.S., Legetskiy O.E. Evaluation of the strength of brickwork reinforced with an injection compound. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2023;(2):37–43. (In Russian). <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2023.02.37-43>
18. Granovskiy A.V., Kunin Yu.S., Legetskiy O.E. Injection formulations to increase the strength and solidity of brickwork. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2023;(4):16–20. (In Russian). <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2023.04.16-20>

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
тел.: +7 (926) 329-29-69

Evgeniy M. Ishchuk, Group Leader of the 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
tel.: +7 (926) 329-29-69

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
тел.: +7 (926) 535-20-32; +7 (499) 174-79-96 (83)

Mikhail K. Ishchuk✉, Dr. Sci. (Engineering), Head of the 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
tel.: +7 (926) 535-20-32; +7 (499) 174-79-96 (83)

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author