УДК 69.04

© Н. С. Новожилова, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: nsn01@list.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-6-34-41

© N. S. Novozhilova, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: nsn01@list.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КИРПИЧНЫХ СТЕН, УСИЛЕННЫХ ДВУХСТОРОННИМ БЕТОННЫМ НАРАЩИВАНИЕМ, ПРИ МЕСТНОМ СЖАТИИ

STUDY OF THE STRESS STATE OF BRICK WALLS STRENGTHENED WITH DOUBLE-SIDED CONCRETE HEIGHTENING UNDER LOCAL COMPRESSION

При реконструкции зданий и сооружений старой застройки кирпичные несущие стены, поврежденные в процессе эксплуатации, имеют недостаточную несущую способность при передаче на них концентрированной местной нагрузки. При усилении кирпичных стен железобетоном не рассматривалась методика расчета усиленной кирпично-бетонной конструкции на воздействие местных нагрузок. Существующие методики позволяют проводить расчет на местное сжатие только кирпичных или только железобетонных конструкций. Проводится комплексный анализ особенностей напряженно-деформированного состояния замоделированной конструкции кирпичной кладки, усиленной двухсторонним бетонным наращиванием, позволяющий оценить предлагаемую методику расчета несущей способности при местном сжатии для варианта местной нагрузки, передаваемой по всей ширине стены.

Ключевые слова: усиление кирпичных стен, местное сжатие, напряженное состояние, моделирование.

At reconstruction of buildings and structures located in old urban development areas, brick bearing walls fractured during long-term operation, when subjected to a concentrated local loading, lack sufficient loading-carrying ability. When the brick walls are reinforced with ferro-concrete, the method of calculating the reinforced brick-concrete structure to the impact of local loads is not considered. Currently valid techniques make it possible to calculate on the local compression of only brick or of only reinforced concrete structures. The paper presents a comprehensive analysis of the features of the stress-deformed state of the old masonry's structural design reinforced with double-sided concrete heightening. The analysis results allow evaluating the proposed method of calculating the carrying capacity under local compression for the local load option regarding the entire width of the wall.

Keywords: strengthening brick walls, local compression, stress state, modeling.

Особенностям работы кирпичной кладки при различных нагрузках и напряженных состояниях уделялось внимание в работах [1–3], в том числе при внецентренном сжатии [4] и при сложном напряженном состоянии [5]. В процессе длительной эксплуатации зданий кирпичные конструкции получают повреждения, которые приводят к снижению прочности, устойчивости и эксплуатационной надежности как целого здания или

сооружения, так и отдельных его частей [6]. Несущая способность поврежденных конструкций может быть восстановлена или увеличена при подборе соответствующего варианта усиления, что позволит конструкции безотказно функционировать еще в течение длительного времени. Существуют и исследуются способы усиления каменных столбов различными обоймами: железобетонными [7], сталефибробетонными [8],

металлическими [9] и штукатурными [10]. Для усиления кирпичных стен большой протяженности применяются монолитные двухсторонние и односторонние железобетонные наращивания [6], сборные железобетонные плиты [11], железобетонные аппликации [12], композитные материалы [13]. Расчеты усиленных каменных конструкций рассматриваются в основном при центральном и внецентренном сжатии [14, 15]. Работа кирпичных стен, усиленных двухсторонним железобетонным наращиванием при опирании балок перекрытий или колонн, то есть при действии местной нагрузки, должным образом не исследовалась [16].

В условиях центрального или внецентренного сжатия при эксцентриситетах, не выходящих за пределы ядра сечения, расчет несущей способности для кирпичной кладки, усиленной железобетонной обоймой¹, проводится по формуле

$$N \leq \psi \varphi \left[\left(m_g m_k R + \eta \frac{3\mu}{1+\mu} \frac{R_{sw}}{100} \right) A + \frac{m_b R_b A_b + R_{sc} A'_s}{100} \right], \quad (1)$$

где коэффициенты ψ и η при центральном сжатии принимаются $\psi = 1$ и $\eta = 1$, при внецентренном $\psi = 1 - \frac{2e_0}{h}$ и $\eta = 1 - \frac{4e_0}{h}$; N — продольная сила; R — расчетное сопротивление кладки сжатию; A — площадь сечения усиливаемой кладки; A'_s — площадь сечения продольной арматуры обоймы; A_b — площадь сечения бетона обоймы, заключенного между хомутами и кладкой (защитный слой не учитывается в расчете); R_{sw} — расчетное сопротивление поперечной арматуры обоймы; R_b — расчетное сопротивление бетона сжатию; R_{sc} — расчетное сопротивление продольной сжатой арматуры; φ — коэффициент продольного изгиба, принимается как для неусиленной кладки (для центрально сжатой кладки); m_g — коэффициент, учитывающий длительное действие нагрузки (при размерах сечения менее 30 см); m_k — коэффициент условий работы кладки, принимается равным 1 при отсутствии повреждений в кладке и 0,7 при их наличии (кладке с трещинами); m_b — коэффициент условий работы бетона, принимаемый равным 1 при передаче нагрузки на обойму и наличии опоры в основании обоймы, 0,7 — при передаче нагруз-

ки на обойму и отсутствии опоры в основании обоймы и 0,35 — без непосредственной передачи нагрузки на обойму (только через кладку); μ — процент армирования хомутами, определяемый по формуле $\mu = \frac{2A_s(h+b)100}{hbs}$, где h и b — размеры усиливаемого элемента, s — расстояние между хомутами в случае усиления штукатурной или железобетонной обоймами ($s \leq 15$ см), A_s — площадь поперечной арматуры.

Формула (1) не учитывает вариант работы кладки, усиленной обоймой, при местном сжатии. В случаях, когда давление приложено не на всю стену, а только на часть ее площади (например, в местах опирания концов прогонов, ферм, балок или колонн), сопротивление местному сжатию преимущественно выше сопротивления сжатию. Это имеет место и в кладке, и в бетоне, так как соседние ненагруженные участки сдерживают развитие поперечных деформаций нагруженных участков.

Расчет несущей способности каменной кладки в условиях местного сжатия² проводится по формуле

$$N_c \leq \psi d R_c A_c, \quad (2)$$

где N_c — продольная сжимающая сила от местной нагрузки; A_c — площадь смятия под нагрузкой; $d = 1,5 - 0,5\psi$ — для кирпичной кладки; ψ — коэффициент полноты эпюры давления от местной нагрузки (при равномерном распределении давления $\psi = 1$, при треугольной эпюре давления $\psi = 0,5$); R_c — расчетное сопротивление кладки на смятие.

Значение R_c определяется как

$$R_c = \xi R, \quad (3)$$

где $\xi = \sqrt[3]{\frac{A}{A_c}} \leq \xi_1$, здесь A — расчетная площадь сечения; ξ_1 — коэффициент, зависящий от материала кладки и места приложения нагрузки.

Если под опорами изгибаемых элементов не требуется установка распределительных плит, то допускается принимать $\psi d = 0,75$ для кладок из полнотелого кирпича.

Несущая способность железобетонного элемента в условиях местного сжатия³ определяется как

$$N \leq \psi R_{b,loc} A_{b,loc}, \quad (4)$$

² СП 15.13330.2020. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81. М., 2021.

³ СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003. М., 2018.

¹ Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81). М.: ЦИТП, 1989.

где N — местная сжимающая сила от внешней нагрузки; ψ — коэффициент, принимаемый равным 1,0 при равномерном и 0,75 при неравномерном распределении местной нагрузки по площади смятия; $A_{b,loc}$ — площадь приложения сжимающей силы (площадь смятия); $R_{b,loc}$ — расчетное сопротивление бетона сжатию при местном действии сжимающей силы.

Значение $R_{b,loc}$ определяется по формуле

$$R_{b,loc} = \varphi_b R_b, \quad (5)$$

где φ_b — коэффициент, определяемый по формуле, но принимаемый в диапазоне от 1,0 до 2,5:

$$\varphi_b = 0,8 \sqrt{\frac{A_{b,max}}{A_{b,loc}}}, \quad (6)$$

где $A_{b,max}$ — максимальная расчетная площадь, устанавливаемая по следующим правилам: центры тяжести площадей $A_{b,loc}$ и $A_{b,max}$ совпадают; границы расчетной площади $A_{b,max}$ отстоят от каждой стороны площади $A_{b,loc}$ на расстоянии, равном соответствующему размеру этих сторон.

Исходя из анализа имеющихся расчетных методик различных видов кирпичной кладки, можно рассмотреть несколько вариантов расчета кирпичной кладки, усиленной железобетоном при местном сжатии: 1) суммирование несущих способностей при местном сжатии кладки и бетона обоймы; 2) расчетное сопротивление конструкции определяется как для комплексных элементов; 3) учитывается приведенная площадь сечения (бетон приводится к материалу кладки). На данном этапе рассматривается вариант местной нагрузки, приложенной к площадке по всей ширине стены.

Вариант 1. Исходя из формул (1)–(6), несущую способность кладки, усиленной железобетонной обоймой, при местном сжатии (на начальном этапе влияние поперечного армирования не учитывалось) можно представить как

$$N_c \leq m_b \psi_b R_{b,loc} A_{b,loc} + 0,85 m_g m_k \psi_k d R_c A_c, \quad (7)$$

где все величины принимаются аналогично вышеизложенному, за исключением значения 0,85, учитывающего неполное использование несущей способности кладки за счет разной деформативности бетона обоймы и кладки.

Вариант 2. Несущая способность при рассмотрении комплексной конструкции определяется по формуле

$$N_c \leq m_k \psi d R_c A_c, \quad (8)$$

где m_k — коэффициент использования несущей способности кладки, принимается равным 0,85; ψ и d — принимаются аналогично формуле (2); R_c — расчетное сопротивление смятию комплексной конструкции, определяется по формуле (3); R — расчетное сопротивление комплексной конструкции сжатию.

Значение R определяется по формуле

$$R = \frac{R_k A_k + R_b A_b}{A_k + A_b}, \quad (9)$$

где R_k и R_b — расчетное сопротивление соответственно кладки и бетона при сжатии; A_k и A_b — площадь местного сжатия соответственно кладки и бетона.

Вариант 3. Несущая способность при приведенном сечении может быть определена по формуле

$$N_c \leq \psi d R_c A_{c,red}, \quad (10)$$

где ψ и d принимаются аналогично формуле (2); R_c — расчетное сопротивление смятию.

Значение R_c определяется по формуле (3):

$$R_c = \xi R,$$

где $\xi = 3 \sqrt{\frac{A_{red}}{A_{c,red}}} \leq \xi_1$,

A_{red} — расчетная площадь сечения, приведенная к кладке, определяется по формуле

$$A_{red} = 2b_{red}c + bh_k, \quad (11)$$

где c — толщина бетона обоймы; h_k — толщина кладки; b_{red} — ширина расчетной площади бетонной обоймы, приведенная к кладке, определяется по формуле

$$b_{red} = b_b \frac{m_b R_b}{m_k R_k}, \quad (12)$$

где b_b — ширина расчетной площади бетонной обоймы, определяется по формуле

$$b_b = b_c + 2A, \quad (13)$$

где b_c — ширина площадки смятия бетона; m_b и m_k — коэффициенты условий работы соответственно бетона, принимается равным 1, и кладки, принимается равным 0,85; R_b и R_k — расчетные сопротивления сжатию соответственно бетона и кладки; b — ширина расчетной площади кладки, определяется по формуле

$$b = b_c + 2h_k; \quad (14)$$

$A_{c,red}$ — площадь смятия, приведенная к кладке, определяется по формуле

$$A_{c,red} = 2b_{c,red}c + b_c h_k, \quad (15)$$

где $b_{c,red}$ — ширина площадки смятия бетонной обоймы, приведенная к кладке, определяется по формуле

$$b_{c,red} = b_c \frac{m_b R_b}{m_k R_k}. \quad (16)$$

По формулам (7), (8), (10) были проведены расчеты для кладок из кирпича марок 75, 100, 150 на растворах соответственно марок 25, 50, 75. По результатам теоретических расчетов выявлено, что значения несущей способности, рассчитанные по различным вариантам, отличаются между собой не более чем на 20 %, что говорит о сопоставимости данных вариантов расчета. Для проверки корректности формул были созданы модели в программном комплексе ANSYS Workbench. На основании имеющихся вариантов подхода к моделированию кирпичной кладки в виде сплошной модели («макромодели») или в виде двухуровневой дискретной модели («микромодели») [17, 18] было принято численное моделирование кирпичной кладки в ANSYS Workbench в виде сплошной модели.

Первоначально была рассмотрена модель кирпичной стены без наращивания, а также модель бетонного наращивания. Размеры кирпичной стены приняты (длина × толщина × высота) = 2 × 0,25 × 3 м. На стену опирается железобетонная балка с размерами (высота × ширина × толщина) = 0,5 × 0,3 × 0,25 м. Модель бетонного наращивания принималась с размерами (длина × толщина × высота) = 2 × 0,1 × 3 м. На него опирается железобетонная балка с размерами (высота × ширина × толщина) = 0,5 × 0,3 × 0,1 м.

Сравнение напряжений в кладке и бетоне, полученных теоретически и по результатам моделирования (рис. 1), при приложении предельной нагрузки для различных классов бетона показало корректность работы моделей.

Далее была рассмотрена конструкция, представляющая собой кирпичную стену, усиленную двухсторонним бетонным наращиванием (рис. 2). Размеры кирпичной стены и усиления приняты аналогично вышеописанным моделям без усиления. Нагрузка передавалась через железобетонную балку с размерами основания 0,3 × 0,5 м и принималась в соответствии с выполненными теоретическими расчетами по трем вариантам (формулы (7), (8), (10)).

Рис. 1. Характер распределения вертикальных сжимающих напряжений в кладке

Рис. 2. Общий вид расчетной модели кирпичной стены, усиленной двухсторонним бетонным наращиванием

В результате моделирования получены значения напряжений в кладке (рис. 3) и бетоне при различных марках кирпича и раствора и классах бетона наращивания.

По полученным значениям напряжений, теоретическим и при моделировании, построены их зависимости от нагрузки. На рис. 4 приведена такая зависимость на примере напряжений, полученных теоретически по формуле (8) и по результатам моделирования для кладок: из кирпича марки 75 на растворе марки 25 (M75/M25), из кирпича марки 100 на растворе марки 50

Рис. 3. Вертикальные сжимающие напряжения в кладке, Па, для кладки из кирпича М100 на растворе М50 и бетоне В15 при нагрузке 793,7 кН

Рис. 4. Зависимость напряжений от нагрузки в кладке М75/М25, М100/М50, М150/М100 при усилении наращиванием из бетона класса В15, полученные теоретически и по результатам моделирования

(М100/М50), из кирпича марки 150 на растворе марки 100 (М150/М100), усиленных наращиванием из бетона класса В15.

По результатам сравнения результатов теоретического расчета несущей способности участка стены кирпичной кладки, усиленной двухсторонним бетонным наращиванием при местном сжатии (при приложении местной нагрузки по всей толщине стены), и результатов расчета напряженного состояния модели в ПК ANSYS Workbench выявлено, что по формуле (7) значения сжимающих усилий в кладке отличаются на 55 % в меньшую сторону от расчетного сопро-

тивления кладки смятию, а в бетоне — на 24 %, но уже в большую сторону. Для варианта расчета по формуле (10) значения сжимающих усилий в кладке отличаются от расчетного сопротивления кладки смятию на 22–29 % как в меньшую, так и в большую сторону, а для бетона обоймы во всех случаях превышение составляет до 27 %.

Наиболее близкие значения получены по формуле (8) при определении расчетного сопротивления конструкции как для комплексных элементов. При этом значения сжимающих напряжений в кладке, полученные в модели, со-

поставимы с расчетными сопротивлениями при местном сжатии кладки и бетона наращивания.

Напряжения в кладке из кирпича М75 на растворе М25 (М75/М25) достигают расчетного сопротивления смятию при усилении бетоном всех трех рассмотренных классов (В12,5, В15 и В20). Для бетона обоймы напряжения по всем рассмотренным комбинациям материалов приближаются к расчетному сопротивлению смятию. Исключением стал случай усиления сравнительно слабой кладки бетоном класса В20, в данном варианте несущая способность бетонной обоймы использовалась на 92,5 %.

Несущая способность кладки из кирпича М100 на растворе М50 (М100/М50) используется следующим образом: в случае усиления бетоном класса В12,5 — на 83 % (бетон обоймы используется на 104 %), для класса В15 — на 92 % (бетон обоймы используется на 100 %), однако при усилении обоймой из бетона В20 мы получаем полное использование кладки (бетон обоймы используется на 96 %).

Исключение представляет кладка из кирпича марки 150 на растворе марки 100 (М150/М100). В случае усиления бетоном класса В12,5 несущая способность кладки используется на 62 % (бетон обоймы используется на 96 %), для класса В15 — на 68 % (бетон обоймы используется на 100 %), для класса В20 — на 86 % (бетон обоймы используется на 102 %). Недоиспользование несущей способности кладки происходит вследствие применения для прочной кладки бетона усиления низкого класса.

Таким образом, на основании исследования напряженного состояния кирпичной кладки, усиленной двухсторонним бетонным наращиванием, при местном сжатии от нагрузки, передаваемой по площадке по всей толщине стены, можно сделать вывод, что на данном этапе при определении несущей способности наиболее рациональной является предлагаемая зависимость (8).

Библиографический список

1. Соколов Б. С., Антаков А. Б. Результаты исследований каменных и армокаменных кладок // Вестник МГСУ. 2014. № 3. С. 99–106.
2. Zahra T., Asad M., Thamboo J. Effect of geometry on the compression characteristics of bonded brickwork // Structures. 2021. Vol. 32. Pp. 1408–1419.
3. Копаница Д. Г., Усеинов Э. С., Устинов А. М. Деформации и разрушение фрагмента каменной кладки при кратковременном действии сжимающей статической нагрузки // Вестник Томского гос. архит.-строит. ун-та. 2015. № 6 (53). С. 90–97.
4. Brencich A., Corradi C., Gambarotta L. Eccentrically loaded brickwork: Theoretical and experimental results // Engineering Structures. 2008. Vol. 30. Issue 12. Pp. 3629–3643.
5. Wang J., Heath A., Walker P. Experimental investigation of brickwork behaviour under shear, compression and flexure // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 48. Pp. 448–456.
6. Новожилова Н. С. Разработка технологии усиления кирпичных стен при реконструкции зданий: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1986. 226 с.
7. Пантелеев Н. Н., Спарина Г. П. К вопросу определения несущей способности каменных столбов, усиленных обоймами // Проектирование и строительство в Сибири. 2007. № 5. С. 22–23.
8. Бедов А. И. Несущая способность элементов из каменной кладки, усиленных сталефибробетонными обоймами // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 45–50.
9. Заика А. Е., Леонова А. Н. Усиление кирпичной кладки стальной и железобетонной обоймами // Сборник лучших научных работ молодых ученых Кубанского государственного технологического университета, отмеченных наградами на конкурсах. Краснодар: Кубанский гос. технол. ун-т, 2016. С. 24–27.
10. Баронин Д. С. Повышение сейсмостойкости каменных конструкций железобетонной и штукатурной обоймой для существующей застройки Республики Казахстан // Избранные доклады 63-й Университетской науч.-техн. конф. студентов и молодых ученых (Томск, 20 апреля 2017 г.). Томск: Томский гос. архит.-строит. ун-т, 2017. С. 9–11.
11. Новожилова Н. С. Исследование способа усиления внутренних кирпичных стен сборными железобетонными плитами // Известия Санкт-Петербургского гос. аграрного ун-та. 2012. № 27. С. 330–334.
12. Тонких Г. П., Кошаев В. В., Кабанцев О. В. Экспериментальные исследования несущей способности комбинированной каменной кладки при главных нагрузках // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2007. № 6. С. 26–31.
13. Митин В. А. Особенности усиления каменных конструкций TRM (textile reinforced mortar) // XIV Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых: материалы Всерос. науч. конф. (Вологда, 24–27 ноября 2020 г.). Вологда: Вологодский гос. ун-т, 2020. С. 406–409.

14. Соколов Б. С., Антаков А. Б. Теоретические основы усиления каменных кладок // Жилищное строительство. 2017. № 10. С. 50–61.

15. Ряднова Е. Н. Расчет усиления каменных конструкций и зданий // Международный студенческий строительный форум — 2017. Белгород: Белгородский гос. технол. ун-т им. В. Г. Шухова, 2017. С. 217–222.

16. Соколкина Д. А. Предпосылки расчета усиленной кирпичной стены на местное сжатие // Молодые исследователи — регионам: материалы Междунар. науч. конф. (Вологда, 13–23 апреля 2020 г.). Вологда: Вологодский гос. ун-т, 2020. С. 362–363.

17. Кабанцев О. В. Дискретная модель каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния // Вестник Томского гос. архит.-строит. ун-та. 2015. № 4 (51). С. 113–134.

18. Lee J. S., Pande G. N., Kralj B. Numerical modelling of brick masonry panels subject to lateral loadings // Computers & Structures. 1996. Vol. 61. Issue 4. Pp. 735–745.

References

1. Sokolov B. S., Antakov A. B. *Rezultaty issledovaniy kamennykh i armokamennykh kladok* [The results of research of stone and reinforced stone masonry]. *Vestnik MGSU – Bulletin of MGSU*, 2014, no. 3, pp. 99–106.

2. Zahra T., Asad M., Thamboo J. Effect of geometry on the compression characteristics of bonded brickwork. *Structures*, 2021, vol. 32, pp. 1408–1419.

3. Kopanitsa D. G., Useinov E. S., Ustinov A. M. *Deformatsii i razrushenie fragmenta kamennoy kladki pri kratkovremennom deystvii szhimayushchey staticheskoy nagruzki* [Deformations and fracture of masonry fragment under a short-term action of compressive static load]. *Vestnik Tomskogo gos. arkh.-stroit. un-ta – Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Construction*, 2015, no. 6 (53), pp. 90–97.

4. Brencich A., Corradi C., Gambarotta L. Eccentrically loaded brickwork: Theoretical and experimental results. *Engineering Structures*. 2008. Vol. 30. Issue 12. Pp. 3629–3643.

5. Wang J., Heath A., Walker P. Experimental investigation of brickwork behaviour under shear, compression and flexure. *Construction and Building Materials*, 2013, vol. 48, pp. 448–456.

6. Novozhilova N. S. *Razrabotka tekhnologii usileniya kirpichnykh sten pri rekonstruktsii zdaniy*. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of technology for strengthening brick walls during the reconstruction of buildings. PhD in Sci. Tech. diss.]. Leningrad, 1986, 226 p.

7. Panteleev N. N., Sparina G. P. *K voprosu opredeleniya nesushchey sposobnosti kamennykh stolbov, usilennykh oboymami* [On the issue of determining the

bearing capacity of stone pillars reinforced with confining elements]. *Proektirovanie i stroitel'stvo v Sibiri – Design and Construction in Siberia*, 2007, no. 5, pp. 22–23.

8. Bedov A. I. *Nesushchaya sposobnost' elementov iz kamennoy kladki, usilennykh stalefibrobetonnyimi oboymami* [Load-bearing capacity of masonry elements reinforced with steel-fiber-concrete confining elements]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and Civil Construction*, 2016, no. 7, pp. 45–50.

9. Zaika A. E., Leonova A. N. *Usilenie kirpichnoy kladki stal'noy i zhelezobetonnoy oboymami* [Reinforcement of brickwork with steel and reinforced concrete confining elements]. *Sbornik luchshikh nauchnykh rabot molodykh uchenykh Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta, otmechennykh nagradami na konkursakh* [In: Collection of the best scientific works of young scientists of the Kuban State Technological University, awarded at competitions]. Krasnodar, Kubanskiy gos. tekhnol. un-t Publ., 2016, pp. 24–27.

10. Baronin D. S. *Povyshenie seysmostoykosti kamennykh konstruksiy zhelezobetonnoy i shtukaturnoy oboymoy dlya sushchestvuyushchey zastroyki Respubliki Kazakhstan* [Increasing the seismic resistance of stone structures with reinforced concrete and plaster confining elements for existing buildings in the Republic of Kazakhstan]. *Izbrannye doklady 63-y Universitetskoy nauch.-tekhn. konf. studentov i molodykh uchenykh (Tomsk, 20 aprelya 2017 g.)* [In: Selected works of the Proceedings of the 63-rd University scientific and technical conference conf. of students and young scientists (Tomsk, April 20, 2017)]. Tomsk, Tomskiy gos. arkh.-stroit. un-t Publ., 2017, pp. 9–11.

11. Novozhilova N. S. *Issledovanie sposoba usileniya vnutrennykh kirpichnykh sten sbornymi zhelezobetonnyimi plitami* [Investigation of the method of internal brick walls' reinforcement with precast reinforced concrete slabs]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gos. agrarnogo un-ta – Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University*, 2012, no. 27, pp. 330–334.

12. Tonkikh G. P., Koshaev V. V., Kabantsev O. V. *Eksperimental'nye issledovaniya nesushchey sposobnosti kombinirovannoy kamennoy kladki pri glavnykh nagruzkakh* [Experimental studies of the bearing capacity of combined masonry under major loads]. *Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy – Earthquake-resistant construction. Safety of structures*, 2007, no. 6, pp. 26–31.

13. Mitin V. A. *Osobennosti usileniya kamennykh konstruksiy TRM (textile reinforced mortar)* [Features of reinforcement of stone structures TRM (textile reinforced mortar)]. *Trudy Vseros. nauch. konf. XIV Ezhegodnaya nauchnaya sessiya aspirantov i molodykh uchenykh (Vologda, 24–27 noyabrya 2020 g.)* [Proceedings of the All-Russian Scientific Conference. In the XIV Annual

Scientific Session of graduate students and young scientists (Vologda, November 24-27, 2020)]. Vologda, Vologodskiy gos. un-t Publ., 2020, pp. 406–409.

14. Sokolov B. S., Antakov A. B. *Teoreticheskie osnovy usileniya kamennykh kladok* [Theoretical foundations of masonry strengthening]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo – Housing Construction*, 2017, no. 10, pp. 50–61.

15. Ryadnova E. N. *Raschet usileniya kamennykh konstruktsiy i zdaniy* [Calculation of reinforcement of stone structures and buildings]. *Trydy Mezhdunarodnogo studencheskogo stroitel'nogo foruma–2017* [Proceedings of the International student construction forum–2017]. Belgorod, Belgorodskiy gos. tekhnol. un-t im. V. G. Shukhova Publ., 2017, pp. 217–222.

16. Sokolkina D. A. *Predposylki rascheta usilennoy kirpichnoy steny na mestnoe szhatie* [Prerequisites for

the calculation of the reinforced brick wall for local compression]. *Trudy Mezhdunar. nauch. konf. «Molodye issledovateli — regionam» Vologda, 13–23 aprelya 2020 g.* [Proceedings of the International scientific conference “Young Researchers for Regions”, Vologda, April 13–23, 2020]. Vologda, Vologodskiy gos. un-t Publ., 2020, pp. 362–363.

17. Kabantsev O. V. *Diskretnaya model' kamennoy kladki v usloviyakh dvukhosnogo napryazhennogo sostoyaniya* [Discrete model of masonry in conditions of biaxial stress state]. *Vestnik Tomskogo gos. arkhitekt.-stroitel'nogo un-ta – Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Construction*, 2015, no. 4 (51), pp. 113–134.

18. Lee J. S., Pande G. N., Kralj B. Numerical modeling of brick masonry panels subject to lateral loadings. *Computers & Structures*, 1996, vol. 61, iss. 4, pp. 735–745.