

О.А. СИМАКОВ¹, В.А. НЕЩАДИМОВ¹¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСИЛЕНИЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ОДНОСТОРОННИМИ АППЛИКАЦИЯМИ ИЗ ТОРКРЕТ-БЕТОНА

Аннотация. Несущие конструкции из каменной кладки достаточно распространены в том числе в сейсмоопасных районах и зонах, в которых проводились боевые действия. При этом имеющиеся модели кладки, а также технологии усиления в основном ориентированы либо на усиление с целью повышения несущей способности, либо восстановление поврежденных при эксплуатации, фактически статических нагрузок, конструкций. Комплексные методики восстановления, а также модели усиленной кладки, получившей повреждения в результате сейсмических или минно-взрывных воздействий, по большей части не ориентированы на массовое применение и подразумевают в основном перекладку разрушенных участков. В месте с тем имеется необходимость в адаптации существующих высокотехнологичных методик усиления конструкций из каменной кладки под массовое применение с учетом последних наработок в области материаловедения. Наиболее оптимальным вариантом усиления по мнению авторов оказалось применение односторонних аппликаций из торкрет-бетона. Для данного метода была определена и описана модель усиленной каменной кладки с целью проведения расчетного обоснования и разработана комплексная методика расчета и проектирования применительно в том числе к несущим конструкциям многоэтажных зданий. На основании лабораторных исследований было обосновано конструктивное решение по креплению аппликаций только за счет сил адгезии к поверхности базовой кладки. Указанная комплексная методика прошла адаптацию на реальных объектах многоэтажных зданиях с несущими стенами из каменной кладки.

Ключевые слова: торкрет-бетон, каменная кладка, усиление, восстановление.

O.A. SIMAKOV¹, V. A. NESHCHADIMOV¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

DESIGN OF MASONRY STRENGTHENING WITH ONE-SIDED SHOTCRETE APPLICATIONS

Abstract. Load-bearing masonry is quite widespread, including in earthquake-prone areas and zones in which military operations were carried out. At the same time, the existing treasure models, as well as reinforcement technologies, are mainly focused either on strengthening in order to increase the load-bearing capacity, or on restoring structures damaged during operation, actually static loads. Complex retrofitting methods, as well as models of reinforced masonry that have been damaged as a result of seismic or mine-explosive impacts, for the most part are not focused on mass use and imply mainly the re-laying of destroyed areas. At the same time, there is a need to adapt existing high-tech methods of strengthening masonry structures for mass use, taking into account the latest developments in the field of materials science. The most optimal variant of reinforcement, according to the authors, was the use of single-sided shotcrete applications. For this method, a model of reinforced masonry was defined and described in order to carry out a calculation justification and a comprehensive calculation and design methodology was developed, including for load-bearing multi-storey buildings structures. On the basis of laboratory studies, a constructive solution for fixing applications was justified only due to the forces of adhesion to the surface of the base masonry. The specified complex technique was adapted on real objects of multi-storey buildings with load-bearing masonry walls.

Keywords: shotcrete-concrete, masonry, reinforcement, restoration.

Введение

Каменная кладка как материал несущих конструкций применяется в течение значительного периода времени, включая сегодняшние дни, массового применения железобетона и стали. Таким образом, к настоящему моменту сформировался значительный фонд зданий, с несущими конструкциями из каменной кладки. Проводя анализ работ, посвященных оценке, зданий с теми или иными конструктивными схемами и материалами несущих конструкций, а также результатов повреждений данных конструкций [1, 2], можно сделать вывод о наличии значительного количества зданий с несущими конструкциями из каменной кладки, расположенные как в сейсмоопасных районах, так и в зонах, в которых проводились боевые действия. Вполне логично, что часть указанных зданий имеют повреждения несущих конструкций, требующих восстановления необходимого уровня несущей способности.

С целью восстановления нормативного технического состояния необходимо точное представление как о механизмах работы конструкции до повреждения, так и в процессе разрушения. Основные механизмы разрушения каменной кладки несущих конструкций зданий определены и хорошо описаны [3-7]. В общем виде можно выделить следующие сценарии разрушения при действии:

1. Сдвигающих усилий в плоскостях, параллельных горизонтальному шву;
2. Сдвигающих усилий перпендикулярных горизонтальному шву;
3. Растягивающих напряжений перпендикулярных горизонтальному шву (по неперевязанному сечению кладки);
4. Растягивающих напряжений, действующих параллельно горизонтальному шву (по перевязанному сечению кладки).

Указанные механизмы характерны для случаев превышения несущей способности конструкций из каменной кладки, в особенности при действии статических нагрузок. В то же время следует выделить отдельные механизмы разрушения и повреждения кладки, связанные с последствиями динамических воздействий (в основном сейсмические и минно-взрывные воздействия). Характерной чертой результатов данных воздействий является нарушение адгезионного взаимодействия между базовыми материалами кладки и между элементами, соответственно меняется механизм работы конструкции – наиболее подходящая модель в данном случае соответствует модели В.Э. Вильдемана, Г.Г. Кашеваровой, О.В. Кабанцева «каменная кладка как кусочно-однородный разномодульный композит с разрывными полями адгезионного взаимодействия элементов композита» [4, 5, 8-9].

Особенностью ранее проведенных исследований и разработанных методик усиления в основном являлись решения по усилению каменных конструкций с целью повышения несущей способности в том числе при сейсмических воздействиях, а не восстановлению каменной кладки получившей повреждения в результате динамических воздействий (как правило, восстановление разрушенной кладки в ходе статических воздействий выполняется путем перекладки отдельных фрагментов или конструкций). Особенности восстановления каменной кладки, получившей повреждения в результате динамических воздействий, теоретически описаны, но отсутствует четкая методика расчета, а также необходимый опыт.

Усиливаемые конструкции из каменной кладки

Характерные повреждения каменной кладки в результате различных динамических воздействий (сейсмические и минно-взрывные воздействия) представлены на рис. 1.

Как ранее было отмечено, особенностью результатов минно-взрывных воздействий является нарушение адгезионного взаимодействия между базовыми материалами кладки, выражающиеся в:

- расслоении кладки;
- объемном трещинообразовании высокой интенсивности.



Рисунок 1 - Характерные повреждения кладки в результате сейсмических и минно-взрывных воздействий

В этой связи необходимо восстановление монолитности каменной кладки с целью дальнейшей надежной работы при статических нагрузках.

Одним из вариантов усиления является хорошо зарекомендовавший в течение более 100 лет метод односторонних аппликаций из торкрет-бетона. К настоящему моменту основной областью использования данного метода применительно к каменной кладке является:

- устройство односторонних аппликаций с целью усиления кладки по критериям главных растягивающих напряжений;
- устройство встроенных пилонов и ребер жесткости (выполняются железобетонные конструкции, фактически снимающие нагрузки с кладки).

Вместе с тем, проведенные аналитические и лабораторные исследования [10 – 15] показали как достаточный уровень адгезии торкрет-бетона к базовому материалу кладки, так и достаточный уровень надежности работы усиленной конструкции. Необходима проверка на срез по механизмам, обеспечивающим совместность работы аппликации и кладки: адгезия; разрушение по материалу основания; разрушение по микрошпонке в горизонтальном кладочном шве).

В этой связи обоснованным решением по восстановлению конструкций из каменной кладки, получивших повреждения в результате динамических воздействий, может являться односторонняя аппликация из торкрет-бетона по схеме на рис. 2.

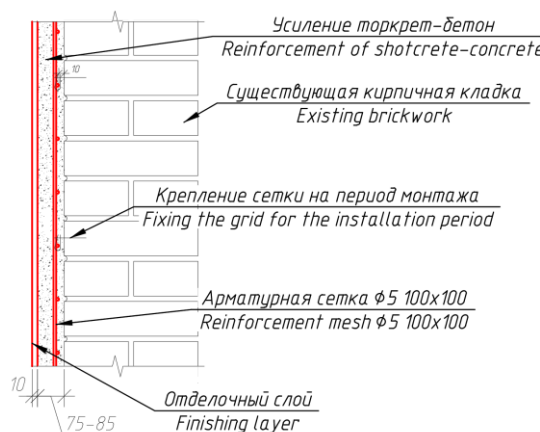


Рисунок 2 - Восстановление каменной кладки односторонней аппликацией из торкрет-бетона

Моделирование усиления конструкций из каменной кладки

Рассматриваемая методика моделирования усиления каменной кладки торкрет-бетоном должна включать следующие основные этапы переходной расчетной ситуации (период усиления конструкции):

- разгрузка каменной кладки путем снятия временных нагрузок;
- установка временных опор (возможно дополнительное разгружение кладки);

- усиление кладки торкрет-бетоном (догружение конструкции);
- работа усиленной каменной кладки, догружение ранее снятых нагрузок (демонтаж временных опор).

В соответствии с требованиями Российского законодательства важным аспектом расчета усиления реальных зданий и сооружений является учет изменения НДС с учетом сложившегося в конструкциях НДС и этапности проведения работ, что требует учета в методике расчетного обоснования.

При проведении работ по усилению разработан следующий порядок производства работ:

Этап 1. Частичная разгрузка вертикальных несущих конструкций путем максимально возможного снижения нагрузок (установка временных конструкций под перекрытия);

Этап 2. Демонтаж разрушенных участков кладки (с дальнейшим восстановлением путем перекладки), при расслоении конструкции демонтаж наружной версты

Этап 3. Усиление локальных наиболее нагруженных участков примыкания стен.

Этап 4. Устройство односторонних аппликаций из торкрет-бетона.

Этап 5. Демонтаж временных конструкций опор начиная с верхних этажей.

В общем виде данные этапы можно представить графически для многоэтажного здания – рис. 3.

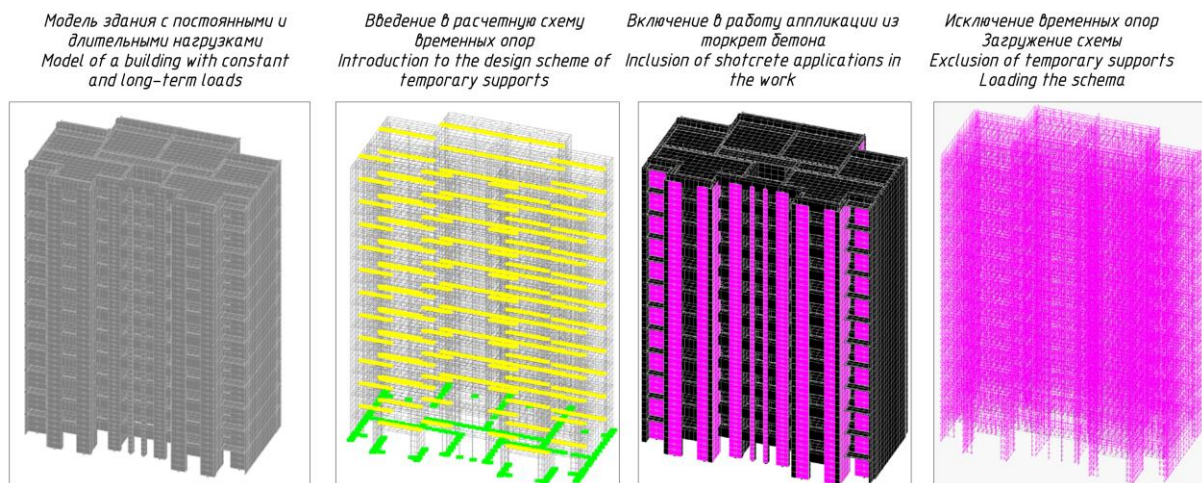


Рисунок 3 - Этапы проведения работ по усилению несущих конструкций многоэтажного здания

Вместе с тем, необходимо отметить несоответствие численного моделирования методом конечных элементов каменной кладки действующим Российским стандартам, в частности СП 15.13330. В соответствии с принятыми в нормах методиками моделирование и последующий анализ каменной кладки, представленной пластинчатыми и объемными элементами, невозможен. В этой связи необходима инженерная методика расчета усиления каменной кладки, адаптированная к действующим нормам.

Инженерная методика расчета

Расчет внецентренно сжатых неармированных элементов каменных конструкций производится в соответствии с требованиями Российского стандарта в области проектирования конструкций из каменной кладки СП 15.13330 по формуле (1):

$$N \leq m_g \varphi_1 R A_c \omega, \quad (1)$$

где ω – коэффициент, определяемый в общем виде по формуле (2) для всех видов кладки:

$$\omega = 1 + \frac{e_0}{2\gamma} \leq 1,45, \quad (2)$$

A_c – площадь сжатой части рассматриваемого сечения элемента из каменной кладки. При этом учитывается равномерное распределение напряжений по сечению, а также

приложение рассматриваемой продольной силы в центре тяжести данной сжатой зоны. Положение границы сжатой зоны (h_c) определяется в общем виде по формуле (3)

$$A_c = A \left(1 - \frac{e_0}{y} \right), \quad (3)$$

где A – площадь сечения элемента каменной кладки;

R – расчетное сопротивление сжатию каменной кладки определяем в соответствии с положениями действующего стандарта в области проектирования конструкций из каменной кладки – СП 15.13330;

φ_1 – усредненный коэффициент продольного изгиба определяемые по формуле (4).

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_c + \varphi}{2}, \quad (4)$$

где φ_c и φ – коэффициенты продольного изгиба для сжатой части сечения и всего сечения, определяемые по фактической высоте элемента H по таблицам СП 15.13330.

m_g – коэффициент, учитывающий влияние расчетной продольной силы N_g от длительной нагрузки, действующей с эксцентриситетом e_g .

Для экспресс-проверки несущей способности внецентренно сжатого элемента каменной кладки прямоугольного сечения можно воспользоваться формулой (5), полученной из формул (1) - (4) при $m_g = 1$ и $y = \frac{h}{2}$ с учетом положений стандарта в области нормирования надежности строительных конструкций - ГОСТ 27751-2014:

$$N \leq \frac{Rb(\varphi_c + \varphi)(h - 2e_0)(h + e_0)}{2h\gamma_n}, \quad (5)$$

где b и h – размеры поперечного сечения элемента каменной кладки, (h – ширина (высота) сечение в плоскости действия изгибающего момента от действия продольной силы N с эксцентриситетом e_0);

γ_n – коэффициент надежности по ответственности, принимаемый в зависимости от класса сооружений по ГОСТ 27751-2014.

Если условие (5) не выполняется - требуется усиление элемента каменной кладки, в том числе методом торкретирования. Определить толщину торкретбетона в предположении его работы на растяжение можно по формуле:

$$h_b \geq \frac{NR_{bt}h^2\gamma_n}{R^2bm_g\varphi_1(h - 2e_0)(h + e_0)} - \frac{R_{bt}h}{R} \quad (6)$$

или

$$h_b \geq \frac{2NR_{bt}h^2\gamma_n}{R^2b(\varphi_c + \varphi)(h - 2e_0)(h + e_0)} - \frac{R_{bt}h}{R},$$

при $m_g = 1$.

Проверка несущей способности усиленного торкрет-бетоном элемента каменной кладки выполняется по формулам (1) – (4) для приведенного расчетного сечения, показанного на рисунке рис. 4:

$$A = bh + b_{red}h_b, \quad (7)$$

где b_{red} – приведённая ширина торкретбетона относительно его расчетной прочности на сжатие или на растяжение по отношению к расчетной прочности каменной кладки на сжатие, определяемая по формуле (8).

$$b_{red} = \frac{R}{R_b}. \quad (8)$$

Здесь и далее $R_b = R_{bt}$ при $h_c \leq h$ или $R_b = R_{bn}$ при $h_c > h$ – расчетное сопротивление торкретбетона на растяжение или на сжатие, соответственно.

$$N \leq \frac{m_g \varphi_1 R b (R h_b + R_{bt} h) (y - e_0) (2y + e_0)}{2 R_{bt} y^2 \gamma_n}, \quad (15)$$

где m_g и φ_1 – коэффициенты, определяемые по формулам по СП 15.13330.

Условие прочности (15) с учетом формул положений СП 15.13330 может быть представлено в развернутой форме:

$$N \leq \frac{-0,5 R b (\varphi_c + \varphi) (h [\eta K_N - 1] + 1,2 \eta K_N e_g) (R h_b + R_{bt} h) (y - e_0) (y + 0,5 e_0)}{R_{bt} h y^2 \gamma_n}, \quad (16)$$

где $K_N = \frac{N_g}{N}$ – коэффициент длительной части расчетной нагрузки N_g действующей на расчетное сечение с эксцентриситетом e_g ;

При малых значениях расчетной продольной силы N_g ею можно пренебречь. В этом случае коэффициент $m_g=1$, а условие (15) примет вид (17):

$$N \leq \frac{R b (\varphi_c + \varphi) (R h_b + R_{bt} h) (y - e_0) (2y + e_0)}{4 R_{bt} y^2 \gamma_n}. \quad (17)$$

Для экспресс-оценки несущей способности внецентренно сжатого элемента каменной кладки, усиленной торкретбетоном, достаточно определить площадь сжатой зоны каменной кладки A_c по формуле

$$A_c = A \left(1 - \frac{2e_0}{h + h_b} \right) = \frac{b(R h_b + [R_{bt} h - 2R e_0])}{R_{bt}} - \frac{2b h e_0 (R_{bt} - R)}{R_{bt} (h + h_b)}, \quad (18)$$

или по более точной формуле

$$A_c = A \left(1 - \frac{e_0}{y} \right) = \frac{b(R h_b + [R_{bt} h - 2R e_0])}{R_{bt}} - \frac{2b h e_0 (R_{bt} - R) (2R h_b + R_{bt} h)}{R_{bt} (R h_b^2 + 2h h_b + R_{bt} h^2)}, \quad (19)$$

и воспользоваться формулой (1) с коэффициентом γ_n или упрощенной формулой:

$$N \leq \frac{R A_c}{1,1 \gamma_n}. \quad (20)$$

Оценка несущей способности элементов каменной кладки в процессе и после проведения мероприятий по их усилению торкретированием.

Напряженно-деформированное состояние каменная кладка в разные периоды проведения мероприятий по её усилению методом торкретирования существенно меняется, что определяет необходимость оценки, несущей способности элементов каменной кладки на всех этапах усиления.

В этой связи оценочные расчеты тесно связаны с технологией усиления элементом каменной кладки торкретированием, которая предусматривает следующие этапы восстановительных работ:

Максимальную разгрузку междуэтажных перекрытий с устройством разгрузочных подпорных стоек вдоль несущих стен с внутренней стороны на всю высоту здания;

Очистка нарушенной версты с наружной стороны каменной кладки с уменьшением размеров её поперечного сечения;

Нанесение торкретбетона на очищенную поверхность каменной кладки торкретбетона, который увеличит нагрузку на каменную кладку в период его нанесения;

Демонтаж разгрузочных подпорных стоек несущих стен после набора требуемой прочности торкретбетона с последующим загрузением междуэтажных перекрытий полезной нагрузкой.

На первом этапе восстановительных работ необходимо оценить общее техническое состояние здания с целью обеспечения безопасности проведения восстановительных работ. Данные оценки выходят за рамки настоящих рекомендаций.

Для выполнения второго и третьего этапов восстановительных работ необходимо определить минимальную толщину элементов каменной кладки, которая обеспечит несущую способность наиболее нагруженных элементов при действующих пониженных нагрузках и нагрузок от торкретбетона на этапе его нанесения на стены с наружной стороны.

Для обеспечения совместной работы каменной кладки и торкретбетона необходимо оценить разность напряжений в каменной кладке на границе сжатой зоны, которая возникнет после набора прочности торкретбетона, демонтажа подпорных стоек и нагружения стен полезной нагрузкой.

Толщина элементов каменной кладки после демонтажа наружной версты должна удовлетворять условию (1). При $m_g=1$ данное условие может принять следующий вид:

$$h \geq \frac{2\varphi_1 R Y^2 b}{3\varphi_1 R Y b - \gamma_n N_{min}}, \quad (21)$$

где Y – расстояние до продольной силы N_{min} от сжатого края, определяемое в общем случае по формуле (12) или по формуле (22).

$$Y = \frac{F_p h_p + F_b h_b + h(F_k + 2F_b)}{2N_{min}}, \quad (22)$$

$N_{min} = F_p + F_b + F_k$ – минимальная нагрузка, определенная с учетом максимальной разгрузки междуэтажных перекрытия и определенной по формуле (6) толщине торкретбетона;

F_p – суммарная пониженная нагрузка со всех междуэтажных плит перекрытий с шириной опирания на стену h_p , а также с нагрузка с мауэрлата кровли опиранием на стену как у плит перекрытия;

F_b – суммарная расчетная нагрузка от веса торкретбетона толщиной h_b

F_k – расчетная нагрузка от веса каменной кладки толщиной h .

φ_1 – коэффициент определяется по формуле (4), в которой принимается $\lambda_{hc} = \frac{H}{h_c} = \frac{H}{2Y}$.

В сжатой зоне каменной кладки на момент включения в работу торкретбетона будет сформированы следующие напряжения

$$\sigma_{min} = \frac{N_{min}}{2Yb} = \frac{N_{min}^2}{b(F_p h_p + F_b h_b + h[F_k + 2F_b])}. \quad (23)$$

Аналогичным образом определяются напряжения в каменной кладки после демонтажа разгрузочных подпорных стоек несущих стен и нагружением междуэтажных перекрытий полезной нагрузкой.

$$\sigma = \frac{N}{2Yb} = \frac{N^2}{b(F'_p h_p + F_b h_b + h[F_k + 2F_b])} \quad (24)$$

$N = F'_p + F_b + F_k$ – расчетные нагрузки на элемент каменной кладки;

F'_p – суммарная расчетная нагрузка со всех междуэтажных плит перекрытий с шириной опирания на стену h_p , а также с нагрузка с мауэрлата кровли опиранием на стену как у плит перекрытия.

Напряжение сжатой зоны каменной кладки не должно превышать, расчетное сопротивление сжатию каменной кладки R определенное в соответствии с требованиями действующих норм - СП 15.13330.

$$R \geq \sigma. \quad (25)$$

Зная напряжения в сжатой зоне каменной кладки до и после включения в работу торкретбетона можно определить приращения напряжений по формуле:

$$\Delta\sigma = \sigma - \sigma_{min}, \quad (26)$$

а также разность напряжений на границе сжатой зона Y , которое не должно превышать предел прочности кирпича при изгибе

Технология проведения работ по усилению конструкций

На данный момент по предложенной методике выполнено усиление каменной кладки несущих конструкций ряда объектов, в том числе, расположенных на присоединенных территориях – г. Мариуполь (рис. 5).



Рисунок 5 - Расчетная схема поперечного сечения каменной кладки, усиленной торкрет бетоном с внешней стороны

Работы были проведены в полном соответствии с предложенной методикой, включающей:

- максимальную разгрузку вертикальных конструкций (в том числе установку временных опор под перекрытия);
- демонтаж отслоившейся наружной версты кладки, восстановление разрушенных участков конструкций;
- устройство внешних аппликаций из торкрет-бетона;
- демонтаж временных стоек в соответствии с разработанной программой.

По результатам проведения работ предложенная технология показала высокую эффективность.

Выводы

По результатам проведенных исследований, результаты которых представлены в статье, можно сформулировать основные положения по моделированию и расчету усиления несущих конструкций из каменной кладки, имеющих дефекты и повреждения, методом устройства односторонних аппликаций из торкрет-бетона:

1. Применение торкрет-бетона для усиления несущих конструкций из каменной кладки является эффективным и обоснованным решением, не требующим дополнительных специальных мероприятий по устройству специальных связей с базовым материалом кладки (достаточный уровень обеспечивается силами адгезии торкрет-бетона к базовому материалу кладки и микрошпоночными сдвиговыми соединениями).

2. Моделирование усиления конструкций, в особенности вертикальных конструкций многоэтажных зданий, следует выполнять с учетом сложившегося в существующих конструкциях НДС и этапов проведения работ по усилению конструкций.

3. Расчет конструкций каменной кладки с односторонней внешней аппликаций возможно выполнять по разработанным и приведенным в статье инженерным методикам, в полной мере соответствующим действующим нормативным документам.

4. Предложенная технология усиления каменной кладки показала высокую технологичность и эффективность на реальных экспериментальных объектах, получивших повреждения несущих конструкций из каменной кладки в результате минно-взрывных воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабанцев О.В., Тонких Г. П. и др. Пособие по оценке сейсмостойкости и сейсмоусилению общежитий с несущими стенами из каменной кладки. Москва: 26 ЦНИИ МО РФ, 2002.
2. Симаков О.А. Анализ факторов, вызывающих необходимость усиления железобетонных конструкций // Строительство и реконструкция. 2019. №1. С.76-84. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2019-81-1-76-84>
3. Кабанцев О.В. Прочность и деформативность каменной кладки при двухосном напряженном состоянии // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7, С. 16–23.
4. Kabantsev O. V. Дискретная модель каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния // Вестник ТГАСУ. 2015. № 4. С. 113–134.
5. Кабанцев О.В., Тамразян А.Г. Моделирование упруго-пластического деформирования каменной кладки в условиях двухосного напряженного // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 2015. № 3. Т. 11. С. 87–100.
6. Kabantsev, O.V. Modeling Nonlinear Deformation and Destruction Masonry under Biaxial Stresses. Part 1. Masonry as Simulation Object // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 725-726. Pp. 681-696
7. Kabantsev O. Modeling Nonlinear Deformation and Destruction Masonry under Biaxial Stresses. Part 2. Strength Criteria and Numerical Experiment Object // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 725-726. Pp. 808-819.
8. Вильдеман В.Э., Соколкин Ю.В., Ташкинов А.А. Механика неупругого деформирования и разрушения композиционных материалов. М. : Наука, 1997. 228 с.
9. Кашеварова Г.Г., Зобачева А.Ю., Дубинский С.И. Моделирование процесса разрушения кирпичной кладки зданий в натурных и численных экспериментах // Строительная механика и расчет сооружений. 2011. №1. С. 69-73.
10. Тонких Г.П., Кабанцев О.В., Симаков О.А., Симаков А.Б., Баев С.М., Панфилов П. С. Экспериментальные исследования сейсмоусиления каменной кладки наружными бетонными аппликациями // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2011. № 2. С.35-42. EDN: QCWDBZ
11. Кабанцев О.В., Тонких Г.П., Симаков О.А., Симаков А.Б., Баев С.М. Повышение сейсмостойкости каменных конструкций односторонними аппликациями из торкрет-бетона //Аэропорты. Прогрессивные технологии. 2011. №2. С. 26-32. EDN: TSQAKV
12. Кабанцев О. В., Симаков О. А., Нещадимов В. А., Штырлов Д. А. Усиление несущих стен из каменной кладки поврежденных многоэтажных зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 7. С. 29-35. doi: 10.33622/0869-7019.2023.07.29-35
13. Maheri M.R., Najafgholipour M.A., Zarandi S. Seismic rehabilitation of URM heritage-listed Namazi school building using multiple retrofitting techniques // Journal of Building Engineering. 2023. Volume 79. 15 November 2023. 107782. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.107782>
14. Rezaee S.R.S., Soltani M., Nikooravesh M. Cyclic in-plane behavior of unreinforced and confined masonry walls retrofitted by shotcrete: Experimental investigation // Engineering Structures Volume 264, 1 August 2022, 114432/ <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114432>
15. Aminulai H.O., Baiguera M., Crump D.A., Sextos A., Kashani M.M. Experimental qualification of seismic strengthening of URM buildings in Nepal // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2023. Volume 173. October 2023. 108130. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2023.108130>

REFERENCES

1. Kabantsev O. V, Tonkich G.P., etc. The Grant according to seismic stability and to seismic-strengthening the general armies buildings with bearing walls from a stone laying. Moscow, 26 TSNI MO the Russian Federation, 2002.
2. Simakov O.A. Analysis of factors causing the need for strengthening of reinforced concrete constructions. *Building and Reconstruction*. 2019. No.1. Pp. 76-84. (In Russ.) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2019-81-1-76-84>
3. Kabantsev O. V. Strength and deformability of masonry under biaxial stress state. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]*, 2016, no. 7, pp. 16–23. (In Russian)
4. Kabantsev O. V. A discrete model of masonry under conditions of biaxial stress state. *Vestnik of TSUAB*. 2015. no. 4. Pp.113–134. (In Russian).
5. Kabantsev O. V., Tamrazyan A. G. Modeling of elastic-plastic deformation of masonry under conditions of biaxial stress state. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2015. Iss. 3. Vol. 11. Pp. 87–100. (In Russian).

6. Kabantsev, O.V. Modeling Nonlinear Deformation and Destruction Masonry under Biaxial Stresses. Part 1. Masonry as Simulation Object. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 725-726. Pp. 681-696
7. Kabantsev O. Modeling Nonlinear Deformation and Destruction Masonry under Biaxial Stresses. Part 2. Strength Criteria and Numerical Experiment Object. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 725-726. Pp. 808-819.
8. Vil'deman V. E., Sokolkin Yu. V., Tashkinov A. A. Mekhanika neuprugogo deformirovaniya i razrusheniya kompozitsionnykh materialov [Mechanics of inelastic deformation and fracture of composite materials]. Moscow, Nauka Publ., 1997. 228 p. (In Russian)
9. Kashevarova G. G., Zobacheva A. Yu. Modeling of process of destruction of brickwork. *PNRPU Construction and Architecture Bulletin*. 2010. no. 1. Pp. 106–116. (In Russian).
10. Tonkikh G. P., Kabantsev O. V., Simakov O. A., Simakov A. B., Baev S. M., Panfilov P. S. Experimental study of seismic strengthening of masonry exterior concrete applications. *Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy*. 2011. no. 2. Pp. 35–42. (In Russian).
11. Tonkikh G.H., Simakov O.A., Kabantsev O.V., Bayev S.M., Experimental studies of masonry aseismic reinforcement using external concrete applications *Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij*, 2011. No. 2. Pp: 35-41 (In Russian)
12. Kabancev O. V., Simakov O. A., Neshchadimov V. A., SHtyrlov D. A. Usilenie nesushchih sten iz kamennoj kladki povrezhdennykh mnogoetazhnykh zdaniy [Reinforcement of Bearing Masonry Walls of Damaged Multi-Storey Buildings]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]*. 2023. No. 7. Pp. 29-35. doi: 10.33622/0869-7019.2023.07.29-35 (In Russian)
13. Maheri M.R., Najafgholipour M.A., Zarandi S. Seismic rehabilitation of URM heritage-listed Namazi school building using multiple retrofitting techniques. *Journal of Building Engineering*. 2023. Volume 79. 15 November 2023. 107782. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.107782>
14. Rezaee S.R.S., Soltani M., Nikooravesh M. Cyclic in-plane behavior of unreinforced and confined masonry walls retrofitted by shotcrete: Experimental investigation. *Engineering Structures*. 2022. Volume 264, 1 August 2022. 114432/ <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114432>
15. Aminulai H.O., Baiguera M., Crump D.A., Sextos A., Kashani M.M. Experimental qualification of seismic strengthening of URM buildings in Nepal. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2023. Volume 173. October 2023. 108130. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2023.108130>

Информация об авторе:

Симаков Олег Александрович

Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет, г. Москва, Россия,

кандидат технических наук, доцент кафедры Железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: simakov-ne@mail.ru

Нешчадимов Виктор Александрович

Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет, г. Москва, Россия,

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры Железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: 5059119@mail.ru

Information about author:

Simakov Oleg A.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.

E-mail: simakov-ne@mail.ru

Neshchadimov V. A.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

Candidate of Technical Sciences, assistant professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.

E-mail: 5059119@mail.ru