

Н.А. ИЛЬИН
С.В. СТЕПАНОВ
Д.А. ПАНФИЛОВ
Д.В. ЛИТВИНОВ

НОВАЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ КОНСТРУКЦИЯ КРЕПЛЕНИЯ КАМЕННЫХ СТЕН ЗДАНИЯ

A NEW RESOURCE EFFICIENT STONE WALLS SUPPORT STRUCTURE OF A BUILDING

Предложено новое ресурсоэнергосберегающее конструктивное решение рационального устройства крепления повреждённых каменных стен здания. Конструктивное решение относится к области строительства и может быть использовано при ремонте, усилении и реконструкции зданий и сооружений, более конкретно для исправления тяжёлых повреждений и обеспечения пространственной жёсткости каменных стен здания. Каменные стены существующего здания укрепляют балочным напряжённым поясом, содержащим продольные и поперечные тяжи в виде стальных прогонов и приспособление для их сочленения и натяжения, состоящего из анкерного уголка и крепежных болтов с натяжными гайками. Устройство крепления выполнено с учётом обеспечения пространственной жёсткости и несущей способности без демонтажа существующих конструкций эксплуатируемого здания. Положительный технический результат получают вследствие повышения эксплуатационной надёжности и пространственной жёсткости стен путём рационального крепления сильно повреждённого здания.

Ключевые слова: здания и сооружения, каменные конструкции, несущие стены, тяжёлые повреждения, рациональное усиление, стальные прогоны, анкерные уголки, крепежные болты, натяжные тяжи, напрягаемый пояс, надёжность работы, снижение трудозатрат, ресурсоэнергосбережение.

В технической литературе известна конструкция крепления каменных стен здания, включающая каркас из парных вертикальных элементов (которые расположены с обеих сторон стен здания и связаны между собой стяжными болтами, проходящими через сквозные отверстия в стене) пояса жесткости и ограждающую сетку [1].

Однако в известной конструкции крепления применено громоздкое и сложное устройство усиления.

A new resource efficient solution for damaged stone walls support structure of a building is proposed in the article. This design solution is developed in construction field and can be applied for the repair, strengthening and reconstruction of buildings and structures, and more particularly it is can be used to correct sever damages and to ensure the spatial rigidity of stone walls of a building. Stone walls of building are strengthened by beam tensible band containing longitudinal and transverse bars in the form of steel joists and a device for their articulation and tension, which consists of an anchor cleat and attachment screws with tension nuts. The support device is elaborated taking into account spatial rigidity and load-carrying capacity of existing structures without their dismantling. Positive technical results are obtained due to increased operational reliability and walls spatial rigidity.

Key words: buildings and structures, stone structures, load-bearing walls, sever damages, rational reinforcement, steel joists, anchor cleats, attachment screws, tension bars, tensible band, reliable performance, labor costs reducing, resource and energy saving.

Частое расположение поперечных связей (стяжных болтов) ведёт к пробиванию большого числа отверстий в стене и ее дополнительному ослаблению [1].

Имеются сведения о конструкции крепления каменных стен зданий, которые включают деревянный каркас усиления, состоящий из стержневых вертикальных и горизонтальных элементов, которые выполнены из неразрезных деревянных прогонов, установленных с обеих сторон стены [2].

Однако и в этой конструкции крепления применено громоздкое и сложное устройство усиления. Применение древесины в качестве материала для крепления стен приводит к снижению класса конструктивной пожарной безопасности здания [2].

Известна общепризнанная конструкция крепления ослабленных или повреждённых каменных стен здания, которая включает продольные и поперечные стальные тяжи из круглой стали диаметром 20÷38 мм, приваренные к отрезкам уголков, установленных по углам здания. Натяжение стальных тяжей произведено стяжными муфтами по всему контуру здания [3; 4].

Однако при использовании общепризнанной конструкции крепления применены стальные тяжи круглого сечения диаметром 20 ÷ 38 мм, которые неплотно прижаты к поверхности каменных стен здания. Стяжные муфты трудоёмки в изготовлении и не соответствуют требованиям контроля натяжения стальных тяжей, соединение муфтами не совершено для включения в работу элементов крепления каменных стен и не обеспечивает пространственную жесткость здания. Натяжные стальные пояса имеют малое тяговое усилие (до 50 кН) [3; 4].

Суть нового конструктивного решения крепления стен заключается в повышении несущей способности каменных стен, получивших тяжёлые повреждения, и в обеспечении требуемой пространственной жёсткости здания.

При использовании новой конструкции крепления стен *положительный технический результат* включает: 1) повышение эксплуатационной надёжности существующего здания; 2) обеспечение требуемой пространственной жёсткости реконструируемого здания; 3) обеспечение целостности совместной работы связанных между собой продольных и поперечных каменных стен здания; 4) повышение надёжного включения балочного пояса в работу каменных стен здания; 5) повышение прочности и деформативных характеристик каменной кладки; 6) сокращение трудозатрат и расхода стали на изготовление конструкции крепления каменных стен; 7) обеспечение контроля натяжных прогонов балочного пояса и замыкания раскрытых трещин в каменных стенах здания; 8) увеличение показателей ресурсоэнергосбережения, экономичности, долговечности и конструктивной пожарной безопасности устройства крепления каменных стен здания [5].

Особенности конструкции крепления каменных стен здания, содержащих продольные и попе-

речные стальные тяжи и узел для их сочленения и натяжения, следующие:

а) стальные тяжи выполнены в виде прогонов балочного пояса из стального облегчённого профиля;

б) узел сочленения продольных и поперечных прогонов балочного пояса состоит из анкерного уголка и крепёжных болтов, которые снабжены натяжными гайками;

в) продольные и поперечные прогоны балочного пояса установлены на одном уровне стен здания с рабочим зазором между сочленяющимися поверхностями опорной пластины одного прогона и поверхностью полки анкерного уголка смежного прогона;

г) одновременное закручивание натяжных гаек крепёжных болтов узлов сочленения производит натяжение продольных и поперечных прогонов балочного пояса по всему контуру, осуществляя объёмное обжатие здания;

д) продольные и поперечные прогоны балочного пояса выполнены в виде швеллера из облегчённого стального проката или в виде прямоугольной трубы из гнutosварного профиля;

е) каждый прогон балочного пояса оборудован с одного конца опорной пластиной, снабжённой отверстиями для размещения крепёжных болтов, с другого конца прогон оборудован опорной пластиной в виде одной полки анкерного уголка. Другая полка анкерного уголка снабжена отверстиями для размещения крепёжных болтов;

ж) каждый прогон балочного пояса с обоих концов оборудован опорными пластинами с жёстким прикреплением к ним крепёжных болтов;

з) каждый узел сочленения продольных и поперечных прогонов балочного пояса снабжен плавающим при монтаже анкерным уголком, который обеспечен отверстиями для размещения крепёжных болтов;

и) опорные пластины каждого прогона балочного пояса соединены со стенками и полками прогонов сварным швом по расчёту на величину тягового усилия от крепёжных болтов;

к) ширину b_{ys} , мм, и высоту h_{ys} , мм, анкерного уголка принимают соответственно равными $b_{ys} = b$; $h_{ys} = h - 2 \cdot \delta$ (где b и h – ширина и высота полки уголка; δ – толщина полки уголка, мм);

л) величину рабочего зазора Z , мм, между сочленяющимися поверхностями опорной пластины и полки анкерного уголка определяют из уравнения

$$Z = L_{\min} \cdot (\sigma_{st} / E_s), \quad (1)$$

где Z – величина рабочего зазора, мм; L_{\min} – длина поперечного прогона, мм; σ_{st} – напряжение растяжения в сечении прогона от тягового усилия, МПа; E_s – модуль упругости стали, МПа;

м) крепёжные болты расположены безмоментно относительно центров тяжести поперечных сечений сочленяющихся прогонов балочного пояса. Диаметры крепёжных болтов и их количество принимают по расчёту в зависимости от величины тягового усилия в прогонах балочного пояса. Для предупреждения ослабления натяжной гайки под нагрузкой крепёжные болты оборудуют контргайками и упругими шайбами;

н) анкерный уголок для сопряжения прогонов снабжён ребром жесткости;

о) прогоны балочного пояса установлены на поверхности стен или в выемке, которые вырезают в каменных стенах здания.

На рис. 1 изображены фасад и план (сечение А-А) здания, оборудованного креплениями каменных стен балочными поясами.

На рис. 2 изображены узлы сопряжения продольного и поперечного прогонов балочного пояса. Исполнение 1-е – анкерный уголок выполнен плавающим в процессе монтажа прогонов; исполнение 2-е – анкерный уголок жёстко соединен с прогоном.

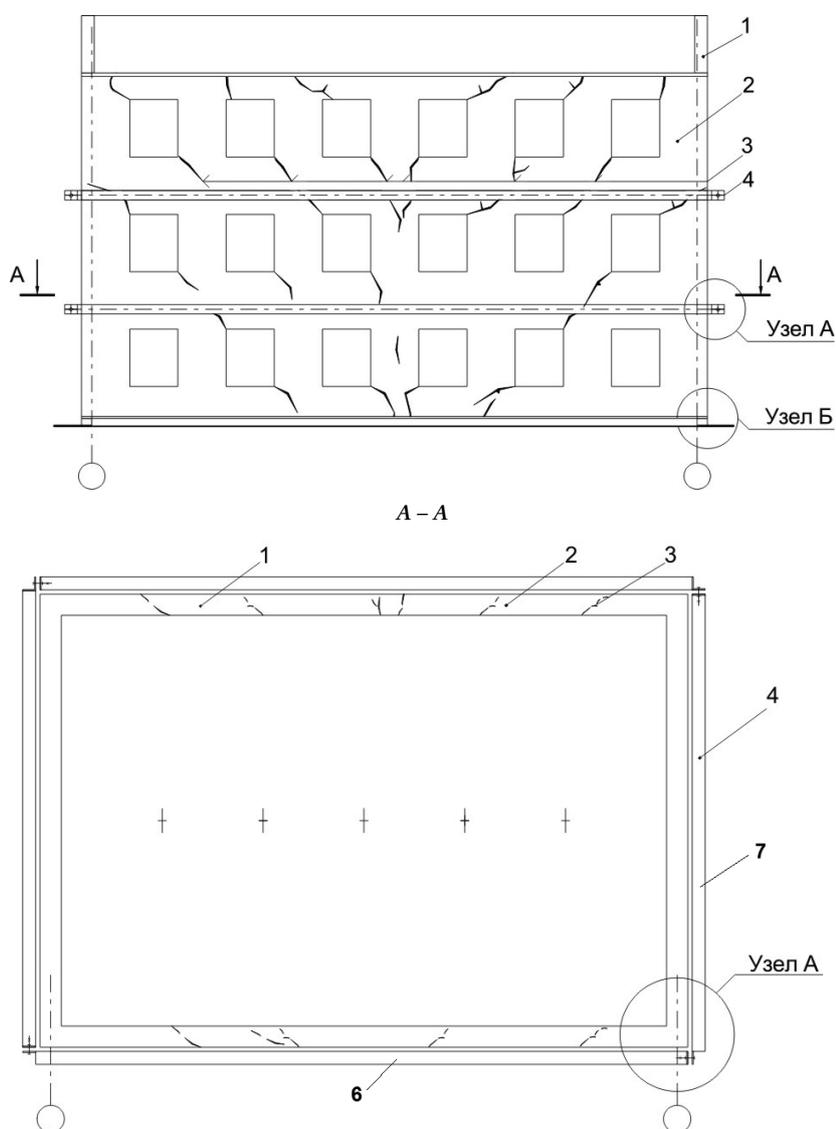
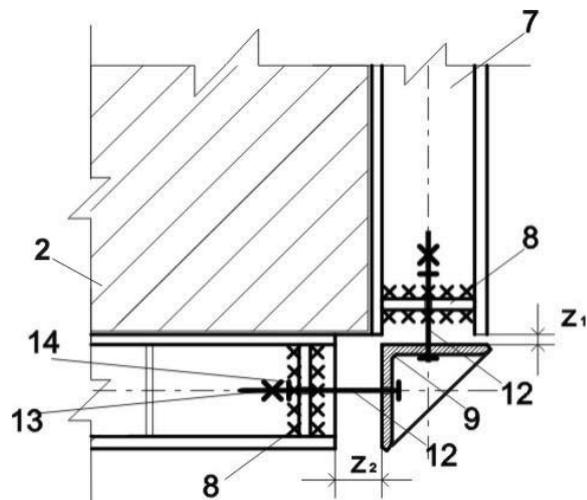


Рис. 1. Фасад здания и план (сечение А – А) здания с креплениями каменных стен балочными поясами:
 1 – здание; 2 – каменная стена; 3 – трещины в каменной кладке; 4 – балочный натяжной пояс снаружи стены; 5 – балочный натяжной пояс в выемке в стене; 6 – продольный прогон; 7 – поперечный прогон натяжного пояса.
 Узел А – прогоны расположены на наружных стенах здания; узел Б – прогоны расположены в выемках стен здания

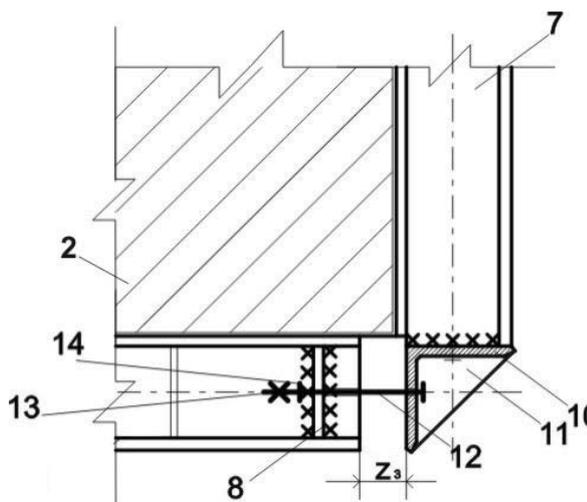
Пример конкретного выполнения. Конструкция крепления каменных стен существующего здания толщиной 640 мм балочным поясом содержит пару продольных прогонов 6 и пару поперечных прогонов 7, опорные пластины 8, анкерный уголок 9, крепёжные болты 12, натяжные гайки 13 и упругие шайбы 14 (рис. 2).

Продольные и поперечные прогоны (соответственно длиной $L = 18$ и 12 м) выполнены из облегчённого швеллера № 18 с размерами поперечного сечения $h \times b \times d = 180 \times 70 \times 5,1 \times 3,7$ мм (здесь h , b и d – высота, ширина и толщина пластины); площадь сечения $A = 20,7$ см²; опорные пластины 8 выполнены из толстолистовой стали размером $h \times b \times d = 160 \times 65 \times 10$ мм

(здесь h , b и d – высота, ширина и толщина пластины); анкерный уголок 9 выполнен из равнополочного уголкового профиля – с размерами сечения $b \times d = 70 \times 8$ мм (здесь b и d – ширина и толщина полки), высотой $h = 180$ мм, площадь сечения $A_1 = 10,7$ см²; анкерный уголок 9 имеет ребро жёсткости 11 и снабжён двумя отверстиями диаметром 21 мм в полке уголка и двумя крепёжными болтами диаметром 20 мм, болты с шестигранной головкой класса В, шайбы с диаметром отверстия $d = 21$ мм; натяжные гайки 13 шестигранные высокие ($H = 16$ мм) класса точности В с диаметром резьбы $d = 20$ мм. Балочный пояс замкнут по контуру здания и установлен в плоскости подвального перекрытия с углу-



Исполнение 1-е



Исполнение 2-е

Рис. 2. Узлы сопряжения продольного и поперечного прогонов балочного напряжённого пояса – исполнение 1-е, исполнение 2-е: 2 – каменная стена; 6 – продольный прогон; 7 – поперечный прогон; 8 – опорная пластина; 9 – анкерный уголок; 10 – полка анкерного уголка; 11 – ребро жёсткости анкерного уголка; 12 – крепёжный болт; 13 – натяжная гайка; 14 – упругая шайба; Z_1 , Z_2 и Z_3 – рабочий зазор; исполнение 1-е – анкерный уголок выполнен плавающим в процессе монтажа прогонов; исполнение 2-е – анкерный уголок жёстко соединен с прогоном

блением в кирпичную стену толщиной $B = 640$ мм выемки размерами $h_1 \times b_1 = 190 \times 80$ мм, (здесь h_1 и b_1 – высота и глубина выемки в стене).

Максимально допустимое усилие в балочном поясе определено из выражения

$$N_{T,max} = 0,15 \cdot R_{sg} \cdot L_{min} \cdot V_{yc} \quad (2)$$

где $N_{T,max}$ – максимально допустимое усилие в крепёжных болтах узла сочленения, МПа; R_{sg} – сопротивление каменной кладки срезу, МПа; L_{min} – длина поперечного прогона балочного пояса, см; V_{yc} – толщина каменной стены, усечённой штрабой, см;

$$(V_{yc} = B - b_1 = 64 - 8 = 56 \text{ см}).$$

Для кирпичной кладки при марке камня М50 расчётное сопротивление срезу $R_{sg} = 0,4$ МПа (4 кгс/см^2), при длине поперечного прогона $L_{min} = 1200$ см и расчётной толщине усечённой каменной стены $V_{yc} = 56$ см, наибольшее допустимое усилие в балочном прогоне равно:

$$N_{T,max} = 0,15 \cdot 4 \cdot 1200 \cdot 56 = 40320 \text{ кгс} \approx 40 \text{ тс}.$$

Конструктивно принято два крепёжных болта диаметром 20 мм, площадь сечения болтов $A_{bn} = 2 \cdot 3,142 = 6,28 \text{ см}^2$; для болтов класса по прочности 8.8 сопротивление на растяжение $R_{bt} = 400$ МПа (4000 кгс/см^2) – расчётное усилие в болтах $N_b = A_{bn} \cdot R_{bt} = 6,28 \cdot 4000 = 25140 \text{ кгс} \approx 25 \text{ тс} < 40 \text{ тс}$.

Напряжение растяжения в сечении поперечного прогона равно:

$$\sigma_{pac} = N_b / A = 25140 / 20,7 = 1215 \text{ кгс/см}^2 \text{ (121,5 МПа)}.$$

Из расчёта на прочность применяют анкерный уголок в виде отрезка уголкового профиля $b \times b \times \delta = 100 \times 100 \times 8$ мм; $e = 55$ мм (здесь b , δ – соответственно ширина и толщина полки, e – расстояние от обуха до центра отверстия в уголке); расчётная длина сварного шва полки уголка $\ell_{\omega} \geq 30$ мм, принято $\ell_{\omega} = 80$ мм; длина анкерного уголка $\ell_{y/2} = h = 180$ мм; анкерный уголок усилен ребром жёсткости толщиной 8 мм.

Величина рабочего зазора вычислена из выражения (1):

$$Z = L_{min} \cdot (\sigma_{st} / E_s) = 1200 \cdot (1215 / 2 \cdot 10^6) = 0,73 \text{ см} \approx 7 \text{ мм}.$$

Введение элементов конструкции крепления в работу производят следующим образом: изготавливают в мастерских продольные и поперечные прогоны балочного пояса, по торцам которых устанавливают опорные пластины 8, с одного конца к опорной пластине приваривают анкерный уголок 9, на другом – высверливают два отверстия диаметром 21 мм под крепёжные болты 12.

Затем продольные и поперечные прогоны балочного пояса укладывают в выемку, пропуская крепёжные болты 12 в отверстия анкерного уголка 9, натяжными гайками 13 подтягивают сочленяющиеся прогоны, создавая рабочий зазор $Z = 7$ мм между опорной пластиной 8 и полкой анкерного уголка 10.

Натяжение прогонов осуществляют одновременным затягиванием натяжных гаек 13 по всему контуру балочного пояса, убирают рабочий зазор между торцами прогонов, обеспечивая натяжение элементов конструкции крепления.

Предложенная конструкция крепления каменных стен здания использована при усилении и реконструкции строительных объектов г. Самары (2010-2014 гг.).

Выводы. Применение предложенной конструкции крепления каменных стен здания позволяет улучшить качественные показатели:

- 1) элементы крепления просты в изготовлении и монтаже вследствие рационального использования прокатного металла, минимального числа деталей и отсутствия проведения сварочных работ на высоте;
- 2) конструкция крепления многоцелевого назначения, так как оно одновременно разгружает и исправляет каменные стены здания, а также обжимает каменную кладку балочным поясом;
- 3) конструкция крепления надёжна при его эксплуатации, обладает необходимой жёсткостью и несущей способностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.с. SU № 1 838 551 МПК Е 04 G 23/00. Устройство усиления зданий и сооружений кирпичной или каменной кладки / Жуков А.П., Горюнов Г.В., Макулин И.С. и др.; опубл. 30.08.1993. Бюл. № 32.
2. Патент № 2150557 RU МПК-7 Е 04G 23/00. Устройство усиления каменных конструкций / Ильин Н.А., заяв. СГАСУ: 16.02.1998, опубл. 10.06.2000. Бюл. № 16.
3. Патент № 2196868 RU МПК Е 04G 23/00. Способ усиления каменных конструкций / Ильин Н.А., Кузнецов А.С., заяв. СГАСУ: 10.03.2000, опубл. 20.01.2003. Бюл. № 2.
4. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1984. 36 с. (пп. 3.1-3.5, рис. 6, б; с. 21 ÷ 22).
5. Заявка на патент № 2014151074 RU МПК Е 04G 23/00 (2006.01). Конструкция крепления каменных стен здания / Ильин Н.А., Литвинов Д.В., Панфилов Д.А., Степанов С.В., Потапова Ю.С., Заяв. СГАСУ 16.12.14.
6. Заявка на патент № 2014151976 RU МПК Е 04G 23/00 (2006.01). Способ крепления каменных стен / Ильин Н.А., Литвинов Д.В., Панфилов Д.А., Степанов С.В., Потапова Ю.С. Заяв. СГАСУ 16.12.14

7. Заявка на патент полезная модель № 2014153396 RU МПК Е 04G 23/00 (2006.01). Устройство крепления каменных стен здания / Ильин Н.А., Литвинов Д.В., Панфилов Д.А., Степанов С.В., Потапова Ю.С. Заяв. СГАСУ 26.12.14

8. Патент № 2347215 RU, МПК G 01 N 25/50 (2006.01). Способ определения огнестойкости каменных стен здания / Ильин Н.А., Битюцкий А.И., Шепелев А.П., заяв. СГАСУ: 23.07.2007, опубл. 20.02.2009. Бюл. № 5.

9. Патент № 2357245 RU, МПК G 01 N 31/38 (2006.01). Способ определения огнестойкости кирпичных столбов здания / Ильин Н.А., Тюрников В.В., Эсмонт С.В., заяв. СГАСУ: 23.07.2007, опубл. 27.05.2009. Бюл. № 15.

10. Бедов А.И., Габитов А.И. Проектирование, восстановление и усиление каменных и армокаменных конструкций: уч. пособие. М.: изд-во АСВ, 2008. 568 с.

11. Бородачёв Н.А. Курсовое проектирование железобетонных и каменных конструкций в диалоге с ЭВМ: уч. пособие / СГАСУ. Самара, 2012. 304 с.

12. СТО СГАСУ 21.13.33-13. Стандарт организации. Определение огнестойкости каменных конструкций зданий. Общие требования / сост. Н.А. Ильин; СГАСУ. Самара, 2013. 72 с.

13. Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Литвинов Д.В., Славкин П.Н. Определение огнестойкости сжатых железобетонных конструкций зданий // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. Вып. № 1(18). С. 82-89.

14. Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Шепелев А.П. Новое устройство для усиления многопустотной панели перекрытия здания // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2014. Вып. № 2(15). С. 86-93.

15. Ильин Н.А., Пищулёв А.А., Славкин П.Н., Шепелев А.П., Ибатуллин Р.Р. Восстановление сжатых железобетонных конструкций зданий // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. Вып. № 4(12). С. 62-67.

© Ильин Н.А., Степанов С.В., Панфилов Д.А., Литвинов Д.В., 2015

Об авторах:

ИЛЬИН Николай Алексеевич

кандидат технических наук,
профессор кафедры водоснабжения и водоотведения
Самарский государственный архитектурно-строительный университет
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,
тел.(846) 339-14-71

СТЕПАНОВ Сергей Валериевич

доктор технических наук,
профессор кафедры водоснабжения и водоотведения
Самарский государственный архитектурно-строительный университет
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,
тел.(846) 339-14-71

ПАНФИЛОВ Денис Александрович

кандидат технических наук,
доцент кафедры строительных конструкций
Самарский государственный архитектурно-строительный университет
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,
тел.(846) 333-38-44
E-mail: panda-w800i@yandex.ru

ЛИТВИНОВ Денис Владимирович

кандидат архитектуры, доцент кафедры реконструкции
и реставрации архитектурного наследия
Самарский государственный архитектурно-строительный университет
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,
тел. (846) 242-41-70

ILYIN Nikolay

PhD in Engineering Science, Professor of the Water Supply and Wastewater Chair
Samara State University of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel. (846) 339-14-71

STEPANOV Sergei

Doctor of Engineering Science, Professor of the Water Supply and Wastewater Chair
Samara State University of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel. (846) 339-14-71

PANFILOV Denis

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Building Structures Chair
Samara State University of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel.(846) 333-38-44
E-mail: panda-w800i@yandex.ru

LITVINOV Denis

PhD in Architecture, Associate Professor of the Reconstruction and Restoration of Architectural Heritage Chair
Samara State University of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel. (846) 242-41-70

Для цитирования: Ильин Н.А., Степанов С.В., Панфилов Д.А., Литвинов Д.В. Новая ресурсосберегающая конструкция крепления каменных стен здания // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. Вып. № 2 (19). С. 94-99. DOI: 10.17673/Vestnik.2015.02.15

For citation: Ilyin N.A., Stepanov S.V., Panfilov D.A., Litvinov D.V. a New Resource Efficient Stone Walls Support Structure of a Building // Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arhitektura [Vestnik of SSUACE. Town Planning and Architecture]. 2015. №2(19). Pp. 94-99. DOI: 10.17673/Vestnik.2015.02.15 (in Russian)