

УДК 624.012.2

Инновационные способы усиления стен

В. В. Веселов

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Веселов В. В. Инновационные способы усиления стен. Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21, вып. 4. С. 944–953. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-04-944-953

Аннотация

Цель: выполнить анализ возможного применения композитных материалов для усиления каменных конструкций стен и столбов, исследовать возможное снижение материалоемкости и трудоемкости инновационных вариантов усиления при повышении надежности и долговечности. **Методы:** анализ преимуществ известных гибридных конструкций, применяемых для их проектирования материалов, расчет вариантов конструкции с применением существующих инженерных методик и с привлечением расчетных программ. **Результаты:** традиционные конструктивные решения по усилению каменных конструкций не всегда обладают достаточной надежностью и долговечностью. Недостатками известных решений являются повышенная материалоемкость конструкции усиления по причине чрезмерного расхода бетона, стали, чрезмерное увеличение поперечного сечения, а также недостаточная эксплуатационная надежность конструкции усиления, связанная с коррозионным износом стальных элементов. На кафедре «Строительные конструкции, здания и сооружения» ПГУПС разработан ряд эффективных гибридных конструкций с применением композитных материалов. Предложена конструкция усиления простенка, защищаемая патентом на изобретение. Она включает элементы усиления, установленные и закрепленные в усиливаемой конструкции с возможностью обеспечения совместной работы с ней. Элементы усиления выполнены в виде рядов из композитных стержней, установленных на полимерном растворе в поперечных швах кирпичной кладки и образующих армированные слои по высоте усиливаемой конструкции. Элементы усиления в верхней части усиливаемой конструкции выполнены из углепластиковой ткани, приклеенной к поверхности кирпичного простенка по всему контуру. Выполнен конструктивный расчет вариантов усиления, произведен анализ снижения веса конструкции, материалоемкости, трудоемкости и других преимуществ инновационного решения в сравнении с традиционными методами усиления каменных конструкций. **Практическая значимость:** выявлены преимущества композитных материалов при усилении каменных конструкций. По сравнению с традиционными конструкциями инновационная конструкция усиления имеет в 2,5–4 раза более низкий вес при снижении стоимости на 10–30% и повышении долговечности. Предлагаемое конструктивное решение может быть рационально для применения при усилении кирпичных стен и столбов с перегрузом до 60–80%, а также участков стен, поврежденных осадочными трещинами.

Ключевые слова: усиление, каменные конструкции, стены, столбы, композитные материалы, полимеры, углепластик, несущая способность, долговечность

Введение

Проектирование современных зданий и сооружений, в том числе транспортных, активно развивается в части применения гибридных конструкций [1], а именно с применением композитных материалов на полимерной основе [2, 3].

Здания и сооружения на транспорте при эксплуатации испытывают различные негативные воздействия (динамические воздействия, удары, перепады температур, агрессивная окружающая среда, неравномерные осадки

и т. п.), которые могут привести к появлению и развитию различных дефектов и повреждений и, соответственно, к снижению несущей способности и долговечности [4,5].

Многие здания и сооружения, запроектированные в XX веке по стеновой конструктивной схеме, возведены с применением каменной кладки из кирпича. Такие здания фактически имеют значительные сроки эксплуатации, иногда 100 и более лет, с большим физическим износом. Стены и столбы из каменной кладки, как правило, подвержены следующим дефектам и повреждениям: физическая коррозия при намокании, нарушение связности, осадочные, температурные и силовые трещины [6, 7]. Наиболее критичными являются силовые трещины в простенках и столбах, которые свидетельствуют о полном исчерпании несущей способности, аварийном техническом состоянии [8] и создают возможную угрозу обрушения.

В этом случае требуется усиление поврежденных конструкций. Кроме того, часто при реконструкции и капитальном ремонте объекта возникает необходимость увеличения полезных нагрузок. Для решения этих проблем могут быть использованы известные способы усиления простенков и столбов: железобетонной, металлической или штукатурной обшивкой [9, 10].

Конструкция усиления кирпичной кладки стальной обшивкой состоит, как правило, из угловых профилей по контуру простенка, которые объединены соединительными планками. Недостатком такого конструктивного решения является повышенная материалоемкость конструкции усиления по причине чрезмерного расхода стали на обшивку, а также недостаточная эксплуатационная надежность конструкции усиления, связанная с коррозионным износом стальных элементов и отслоением отделочных слоев от стальных элементов при перепаде температур.

Конструкция усиления кирпичной кладки железобетонной обшивкой состоит из монолитного бетона толщиной от 60 мм и продольных стальных стержней, которые объединены стальными хомутами. Недостатками такого конструктивного решения являются повышенная материалоемкость конструкции усиления по причине чрезмерного расхода бетона и стали на стержни и хомуты, чрезмерное увеличение поперечного сечения простенка, а также недостаточная эксплуатационная надежность конструкции усиления, связанная с коррозионным износом стальных элементов.

Конструкция усиления кирпичной кладки растворной или штукатурной обшивкой состоит из цементно-песчаного раствора толщиной до 40 мм и продольных стальных стержней, которые объединены стальными хомутами. Недостатками такого конструктивного решения являются повышенная материалоемкость конструкции усиления по причине чрезмерного расхода стали на нерабочие продольные стержни, а также недостаточная эксплуатационная надежность конструкции усиления, связанная с коррозионным износом стальных элементов.

Имеются инновационные разработки усиления простенков и столбов из каменной кладки. Например, известна конструкция для усиления кирпичных простенков [11], состоящая из элементов усиления, установленных и прикрепленных в пробуренных отверстиях в усиливаемом простенке, при этом элементы усиления прикреплены с возможностью обеспечения совместной работы с усиливаемым простенком и выполнены в виде рядов стержней из стальной арматуры, установленных на песчано-цементном растворе в пробуренных отверстиях и образующих слой армирования по высоте усиливаемого простенка. Недостатком такого конструктивного решения является повышенная трудоемкость по причине

бурения отверстий в кирпичной кладке, а также недостаточная эксплуатационная надежность конструкции усиления, связанная с коррозионным износом стальных элементов.

В настоящее время активно внедряются способы усиления каменных конструкций с использованием композитных материалов (полимеров, армированных арамидными, углеродными и другими волокнами или стеклотканью) в виде приклеенной системы внешнего армирования лентами и сетками или вклеенных композитных стержней. Эти способы уже нашли свое применение для деревянных, бетонных, железобетонных конструкций [12] и возможны также для усиления каменных конструкций [9].

Экспериментальные исследования усиления каменной кладки композитными лентами и сетками выявляют значительное повышение несущей способности кладки — на 30–80% в зависимости от армирующих волокон и размеров поперечного сечения усиления [13].

Элементы усиления приклеивают или вклеивают обычно при помощи клея на эпоксидной основе. Однако, как показывают исследования [14], в качестве адгезива более эффективным для безопасности проведения работ и повышения огнестойкости является микроцемент с добавлением полимерных смол.

Достоинства применения усиления стен и столбов с применением композитов очевидны:

- высокие прочностные характеристики материалов;
- незначительный вес элементов и их небольшие размеры;
- выполнение усиления без прекращения эксплуатации и применения сварных соединений, что может быть необходимо для зданий и сооружений на транспорте;
- долговечность композитного материала (не подвергается коррозии);
- быстрота ремонтных работ.

В качестве недостатков усиления с использованием композитов нужно отметить в ряде случаев высокую стоимость материалов, трудоемкость подготовки поверхности, низкую огнестойкость и отсутствие достаточной прочности материалов на сжатие и сдвиг. Недостатки могут быть компенсированы правильным выбором материалов, рациональным расположением элементов усиления на поверхности и оштукатуриванием поверхности.

Сотрудниками кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения» ПГУПС исследуются инновационные конструкции и элементы с использованием композитных материалов [15–17], которые можно применять как при проектировании различных элементов, так и при капитальном ремонте и реконструкции зданий и сооружений.

Практическое применение и результаты

Предлагается конструкция усиления кирпичного простенка или столба (рис. 1), защищенная патентом на изобретение [17].

Инновационная конструкция усиления имеет элементы усиления, расположенные и прикрепленные в усиливаемой конструкции (простенок или столб) с обеспечением совместной с этой конструкцией работы. Элементы усиления представляют собой ряды композитных стержней, которые установлены в поперечных швах кирпичной кладки на полимерном растворе и образуют по высоте усиливаемой конструкции (простенка или столба) армированные слои усиления. Элементы усиления являются косвенным армированием каменной кладки, а именно обеспечивают восприятие деформаций поперек элемента, которые вызывают растягивающие напряжения в усиливаемом элементе.

В верхней части усиливаемой конструкции (простенка или столба) элементы усиления

могут быть выполнены из углепластиковой ткани, приклеенной к поверхности кирпичного простенка по всему контуру, и устанавливаются при необходимости, например при существенных сосредоточенных нагрузках. Поверхность усиливаемой конструкции по всей площади может иметь штукатурный слой с добавлением композитной фибры для повышения трещиностойкости, а также огнестойкости усиления.

Ряды из композитных стержней элементов усиления выполнены из стеклопластика диаметром до 6 мм, что обычно соответствует толщине швов кирпичной кладки, и устанавливаются на полимерном растворе в поперечных швах после их расшивки на глубину не менее

10 мм. Углепластиковая ткань элементов усиления в верхней части усиливаемой конструкции приклеивается к поверхности кирпичного простенка по всему контуру после ее расшивки и выравнивания.

Использование композитных стержней небольшого диаметра, установленных в поперечных швах кирпичной кладки, упрощает устройство каналов для установки элементов усиления и снижает трудоемкость конструкции усиления кирпичного простенка.

Применение композитных стержней из стеклопластика, установленных на полимерном растворе, и углепластиковой ткани, приклеенной к поверхности кирпичного простенка, позволяет избежать коррозионного износа элементов усиления, что повышает эксплуатационную надежность конструкции усиления кирпичного простенка.

Применение композитных стержней из стеклопластика и углепластиковой ткани позволяет избежать отслоения отделочных слоев от поверхности кирпичного простенка, что повышает эксплуатационную надежность конструкции усиления элемента.

Применение в качестве элемента усиления углепластиковой ткани, приклеенной к поверхности кирпичного простенка в верхней части по всему контуру, дополнительно увеличивает несущую способность в наиболее нагруженной части усиливаемой конструкции, что повышает эксплуатационную надежность.

Использование на поверхности усиливаемой конструкции штукатурного слоя с добавлением композитной фибры повышает несущую способность кирпичного простенка и трещиностойкости отделочного слоя, что повышает эксплуатационную надежность конструкции усиления кирпичного простенка.

Несущая способность конструкции усиления кирпичного простенка обеспечивается

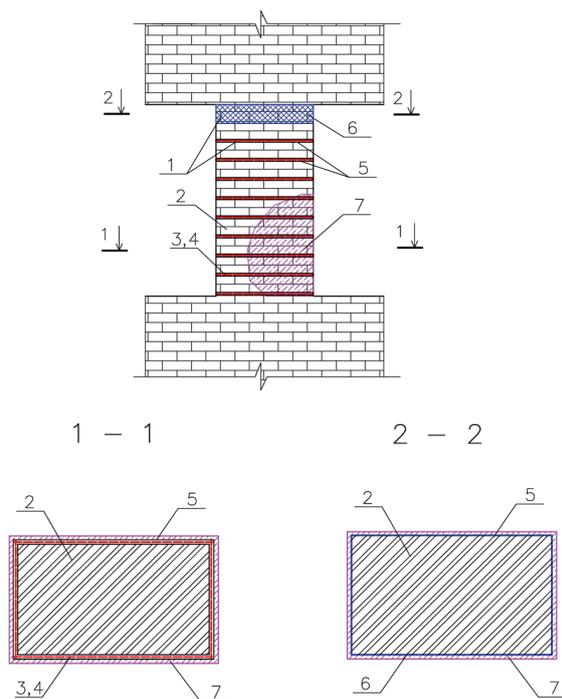


Рис. 1. Конструкция усиления простенка:

- 1 — элементы усиления; 2 — усиливаемый элемент (кирпичный простенок);
3 — композитный стержень; 4 — полимерный раствор; 5 — поперечные швы кладки; 6 — углепластиковая ткань; 7 — штукатурный слой

подбором диаметра и шага композитных стержней, толщины углепластиковой ткани и параметров армирования штукатурного слоя.

Расчет каменных простенков и столбов при их центральном сжатии продольной силой с усилением внешним армированием из композитных материалов может быть выполнен по формуле:

$$N < m_g \cdot \varphi \cdot R_{rf} \cdot A, \quad (1)$$

где N — продольная сила сжатия;

R_{rf} — расчетное сопротивление кладки сжатую с усилением внешним армированием из композитов на полимерной основе, вычисляемое по формуле:

$$R_{rf} = R + \rho \cdot \mu \cdot R_f / 100 < 2R, \quad (2)$$

где R — расчетное сопротивление кладки сжатую, вычисляемое по требованию СП [18]; φ — коэффициент устойчивости (продольного изгиба), вычисляемый по требованиям СП [18];

A — площадь поперечного сечения простенка, столба;

m_g — коэффициент, который учитывает длительность нагрузки, вычисляемый по требованиям по СП [18];

ρ — коэффициент пустотности кирпича (камня) кладки, принимаемый: 2 — при пустотности до 20% включительно, 1,5 — при пустотности от 20% до 30% включительно, 1 — при пустотности выше 30%;

μ — коэффициент армирования поверхности простенка, столба композитным материалом, вычисляемый по формуле:

$$\mu = 100 S_{bd} / S_w, \quad (3)$$

где S_{bd} — площадь сечения элемента усиления с толщиной t_{bd} и с высотой h_{bd} , вычисляемая по формуле:

$$S_{bd} = 2 t_{bd} \cdot h_{bd}, \quad (4)$$

где S_w — площадь части простенка с длиной стороны h_w , приходящаяся на одну полосу

(элемент усиления) из полимерного композита высотой h_{bd} , находится по формуле:

$$S_w = h_w \cdot (h_{bd} + b), \quad (5)$$

где R_f — расчетное значение прочности композитного материала при растяжении, b — расстояние в свету между слоями или элементами усиления.

Из формулы (1) очевидно, что несущая способность усиленного элемента может быть увеличена до 100%.

Для оценки эффективности предлагаемого конструктивного решения усиления центрально-сжатого простенка размерами $h = 0,64$, $b = 0,9$ м, высотой этажа 4 м, с нагрузкой $N = 120$ тс, маркой кирпича М150 и раствора М50 было сформировано три варианта: с металлическим, железобетонным и инновационным композитным усилением (рис. 2).

Расчет вариантов усиления выполнялся по методу предельных состояний с подбором поперечных сечений по действующим нормативам [9, 18]. Результаты расчета элемента без усиления выполнены с привлечением программы «Камин» проектно-вычислительного комплекса SCAD Office. В качестве исходных данных приняты параметры: сечение простенка — 900×640 мм, марка камня (глиняный кирпич) — М150, марка раствора (цементный) — М50, расчетная высота элемента — 4 м, продольная сила сжатия — $N = 1200$ кН. Выявлено, что простенок перегружен на 24%.

Усиление по инновационному варианту принимается стеклопластиковой арматурой $d5$ мм, клеиваемой в швах кладки через два слоя кладки по высоте простенка. Тогда несущая способность усиленной кладки по методике формул (1–5):

$$N = 1200 \text{ кН} < m_g \cdot \varphi \cdot R_{rf} \cdot A = 1 \cdot 0,9 \cdot 2570 \cdot 0,576 = 1332 \text{ кН}, \quad (6)$$

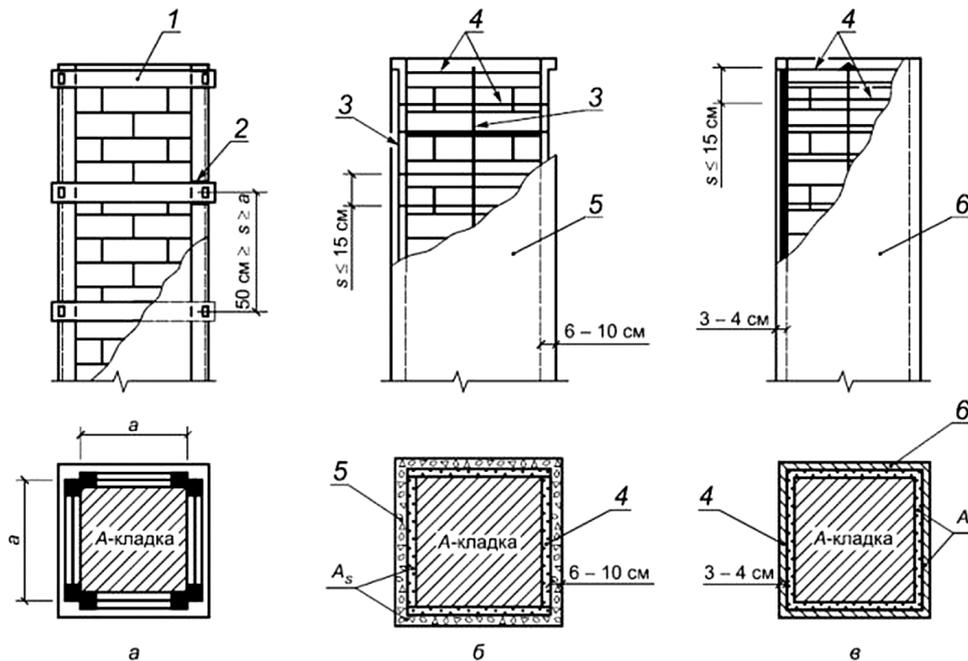


Рис. 2. Поперечные сечения вариантов усиления простенка: а) обойма металлическая, б) обойма железобетонная; в) обойма из композитного материала; 1 — планки из стали; 2 — прокатные уголки из стали; 3 — продольные стержни из арматурной стали; 4 — поперечные стержни из стали и композитного материала; 5 — бетон; 6 — штукатурка

где $R_{rf} = R + \rho \cdot \mu \cdot R_f / 100 = 1,8 + 2 \cdot 0,038 \times 1000 / 100 = 2,57$ МПа — расчетное значение сопротивления сжатию кладки с усилением композитом;

$R = 1,8$ кПа — расчетное сопротивление кладки сжатию из кирпича марки М150 и раствора марки М50;

$\varphi = 0,9$ — коэффициент устойчивости (продольного изгиба) [18];

$A = 5760$ см² — площадь поперечного сечения простенка размерами 900×640 мм;

$m_g = 1$ — коэффициент длительности нагрузки [18];

$\rho = 2$ — коэффициент пустотности кирпича (камня);

$\mu = 100 S_{bd} / S_w = 100 \cdot 0,5 / 1305 = 0,038\%$ — коэффициент армирования поверхности кладки композитным материалом;

$S_{bd} = 2t_{bd} \cdot h_{bd} = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 0,5$ см — площадь сечения элемента усиления;

$S_w = h_w \cdot (h_{bd} + b) = 90 \cdot (0,5 + 14) = 1305$ см² — площадь участка, приходящаяся на одну полосу из полимерного композита;

$R_f = 1000$ МПа — предел прочности полимерного композита при растяжении;

$b = 0,14$ м — шаг элементов армирования.

По результатам расчетов (табл. 1) и анализа установлено, что конструкция усиления кирпичного простенка композитными материалами имеет в 2,5–4 раза более низкий вес при снижении стоимости на 10–30% в сравнении с традиционными конструкциями усиления из стали и железобетона, а также при повышении долговечности.

Таким образом, предлагаемая конструкция усиления простенка, являясь максимально компактной, приводит к снижению материалоемкости и повышению эксплуатационной надежности конструкции усиления кирпичного простенка.

ТАБЛИЦА 1. Сравнение вариантов усиления простенка

Тип конструкции	Усиление	Расход бетона, раствора, м ³	Расход металла, кг	Расход композита, м пог./кг	Примерная стоимость в деле, тыс. руб.
Металлическая обойма	4 уголка 100 · 8 мм, планки 150 · 5 мм с b = 0,5 м, сталь С245, штукатурка 30 мм	0,18	200	—	32
Железобетонная обойма	ар-ра 14 d16 A500 и d8 A500 с b = 0,15 м, бетон В20 толщиной 60 мм	0,38	65	—	22
Композитная обойма	стеклопласт. ар-ра d5 в швах с b = 0,14 м, штукатурка 20 мм	0,13	—	45/2,2	20

Заключение

Разработана инновационная конструкция усиления каменной кладки для повышения несущей способности эксплуатируемых зданий и сооружений, в том числе на транспорте. Конструкция усиления кирпичного простенка, столба состоит из элементов усиления, которые размещены и прикреплены в усиливаемой конструкции с обеспечением совместной работы с каменной кладкой. Предлагаемые элементы усиления представлены рядами стержней из композитного материала диаметром 4–6 мм, которые вклеены на полимерном растворе в поперечные швы кирпичной кладки простенка, столба и образуют по высоте усиливаемой конструкции армированные слои. Разработанная новая конструкция усиления кирпичного простенка, столба обладает небольшим весом (в 2,5–4 раза легче металлической, железобетонной обойм) при относительно небольшой стоимости (на 10–30% дешевле металлической, железобетонной обойм) и при повышении долговечности. Предлагаемое конструктивное решение может быть рационально для применения при усилении кирпичных стен и столбов с перегрузом до 60–80%, а также может быть использовано при усилении участков стен, поврежденных осадочными трещинами.

Библиографический список

1. Веселов В., Талантова К. Гибридные балочные конструкции транспортных сооружений // Конспекты лекций по сетям и системам 402 LNNS. 278 с.
2. Применение композитных материалов при ремонте мостовых сооружений / А.А. Белый [и др.] // Композитные системы на объектах подземного и гражданского строительства: сборник трудов I Международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 27–28 сентября 2018 года). СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2019. С. 47–54.
3. Егоров В.В., Абу-Хасан М.С., Веселов В.В. Армирование деревянных конструкций с использованием композитов из наноглеродного волокна // Композитные системы на объектах подземного и гражданского строительства: сборник трудов I Международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 27–28 сентября 2018 года). СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2019. С.107–113.
4. Дмитренко Е. А., Почтар Н. В. Основные типы дефектов и повреждений железобетонных конструкций транспортных сооружений, причины их возникновения // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2016. №3 (119). С. 134–138.

5. Карапетов Э.С., Белый А.А. Эксплуатационная надежность мостовых сооружений в суровых климатических условиях // Путевой навигатор. 2020. № 43 (69). 2 с.
6. Причины и механизмы повреждения штукатурного покрытия фасадов исторических каменных зданий / Р.Б. Орлович [и др.] // Социология города. 2023. № 2. С. 59–77. DOI: 10.35211/19943520_2023_2_59
7. Габрусенко В. В. Аварии, дефекты и усиление железобетонных и каменных конструкций в вопросах и ответах. 2-е изд., перераб. и доп. Новосибирск: Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2012. 124 с.
8. ГОСТ 31937-2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
9. СП 427.1325800.2018. Каменные и армокаменные конструкции. Методы усиления.
10. Гроздов В.Т. Усиление строительных конструкций при реставрации зданий и сооружений: учебник для вузов. СПб., 2005. 114 с.
11. Устройство для усиления несущих конструкций: патент на изобретение № 2602840 С1 Российская Федерация, Е04G 23/02. № 2015149320/03 / А.А. Юрченко; заявл. 17.11.2015; опубл. 20.11.2016; заявитель ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет».
12. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования.
13. Старцев С.А., Сундукова А.А. Усиление кирпичной кладки композитными материалами и винтовыми стержнями // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 6 (21). С. 17–31.
14. Experimental assessment of Textile Reinforced Sprayed Mortar strengthening system for brickwork wallets / E. Bernat-Maso [et al.] // Construction and Building materials. Spain, 2013. P. 3–13.
15. Металлокомпозитная балка: патент на полезную модель № 211900 U1 Российская Федерация, МПК Е04С 3/06. № 2021136843 / В. В. Веселов, Е. И. Никонова; заявл. 13.12.2021; опубл. 28.06.2022; заявитель ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».
16. Клееная деревянная балка: патент на полезную модель № 197463 U1 Российская Федерация. № 2019136723 / В.В. Веселов, Ю. А. Беленцов, Л.Р. Куправа, П.С. Сидорова; заявл. 14.11.2019; опубл. 29.04.2020; заявитель ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».
17. Конструкция усиления кирпичного простенка: патент № 2825240 С1 Российская Федерация, МПК Е04G 23/02. № 2024105714 / В.В. Веселов, А. И. Анцифиров; заявл. 04.03.2024; опубл. 22.08.2024; заявитель ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения имени Императора Александра I».
18. СП 15.13330.2020. Каменные и армокаменные конструкции.

Дата поступления: 25.09.2024

Решение о публикации: 11.11.2024

Контактная информация:

ВЕСЕЛОВ Виталий Владиславович — канд. техн. наук, доцент; veselov.1977@inbox.ru

Innovative ways to strengthen walls

V. V. Veselov

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: Veselov V. V. Innovative ways to strengthen walls. Proceedings of Petersburg Transport University. 2024. Vol. 21, iss. 4. P. 944–953. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2024-04-944-953

Abstract

Purpose: to analyze the possible use of composite materials to strengthen stone structures of walls and pillars, to investigate the possible reduction of material consumption and labor intensity of innovative reinforcement options while increasing reliability and durability. **Methods:** analysis of the advantages of hybrid structures used for their design of materials, calculation of design options using existing engineering techniques and using calculation programs. **Results:** traditional structural solutions for strengthening stone structures do not always have sufficient reliability and durability. The disadvantages of the known solutions are the increased material consumption of the reinforcement structure due to excessive consumption of concrete, steel, excessive increase in cross-section, as well as insufficient operational reliability of the reinforcement structure associated with corrosion wear of steel elements. A number of effective hybrid structures using composite materials have been developed at the Department of „Building Structures, Buildings and Structures“ of PSUPS. The construction of the reinforcement of the wall, protected by a patent for the invention, is proposed. The reinforcement design includes reinforcement elements installed and fixed in the reinforced structure with the ability to work together with it. The reinforcement elements are made in the form of rows of composite rods mounted on a polymer solution in the transverse seams of the brickwork and forming reinforced layers along the height of the reinforced structure. The reinforcement elements in the upper part of the reinforced structure are made of carbon fiber fabric glued to the surface of the brick wall along the entire contour. A constructive calculation of reinforcement options was performed, an analysis was made of reducing the weight of the structure, material consumption, labor intensity and other advantages of an innovative solution in comparison with traditional reinforcement structures of stone structures. **Practical significance:** the advantages of composite materials in strengthening stone structures are revealed. The innovative reinforcement design has a lower weight of 2,5–4 times, while reducing the cost by 10–30% compared to traditional designs and increasing durability. The proposed design solution can be rationally applied when reinforcing brick walls and pillars with an overload of up to 60–80%, and reinforcement can also be used to strengthen sections of walls damaged by sedimentary cracks.

Keywords: reinforcement, stone structures, walls, pillars, composite materials, polymers, carbon fiber, bearing capacity, durability

References

1. Veselov V., Talantova K. Gibridnye balochnye konstrukcii transportnyh sooruzhenij // Konspekty lekcij po setyam i sistemam 402 LNNS. 278 s. (In Russian)
2. Primenenie kompozitnyh materialov pri remonte mostovyh sooruzhenij / A. A. Belyj [i dr.] // Kompozitnye sistemy na ob'ektah podzemnogo i grazhdanskogo stroitel'stva: sbornik trudov I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Sankt-Peterburg, 27–28 sentyabrya 2018 goda). SPb.: Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya Imperatora Aleksandra I, 2019. S. 47–54. (In Russian)
3. Egorov V.V., Abu-Hasan M.S., Veselov V.V. Armirovanie derevyannyh konstrukcij s ispol'zovaniem kompozitov iz nanouglerodnogo volokna // Kompozitnye sistemy na ob'ektah podzemnogo i grazhdanskogo stroitel'stva: sbornik trudov I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Sankt-Peterburg, 27–28 sentyabrya 2018 goda). SPb.: Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya Imperatora Aleksandra I, 2019. S. 107–113. (In Russian)

4. Dmitrenko E.A., Pochtar N.V. Osnovnye tipy defektov i povrezhdenij zhelezobetonnyh konstrukcij transportnyh sooruzhenij, prichiny ih vzniknoveniya // Vestnik Donbasskoj nacional'noj akademii stroitel'stva i arhitektury. 2016. № 3 (119). S. 134–138. (In Russian)
5. Karapetov E. S., Belyj A. A. Ekspluatacionnaya nadezhnost' mostovyh sooruzhenij v surovyh klimati cheskih usloviyah // Putevoj navigator. 2020. № 43 (69). 2 s. (In Russian)
6. Prichiny i mekhanizmy povrezhdeniya shtukaturnogo pokrytiya fasadov istoricheskikh kamennyh zdanij / R. B. Orlovich [i dr.] // Sociologiya goroda. 2023. № 2. S. 59–77. DOI 10.35211/19943520_2023_2_59 (In Russian)
7. Gabrusenko V. V. Avarii, defekty i usilenie zhelezobetonnyh i kamennyh konstrukcij v voprosah i otvetah. 2-e izd., pererab. i dop. Novosibirsk: Novosibirskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet (Sibstrin), 2012. 124 s. (In Russian)
8. GOST 31937-2024. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya. (In Russian)
9. SP 427.1325800.2018. Kamennye i armokamennye konstrukcii. Metody usileniya. (In Russian)
10. Grozdov V. T. Usilenie stroitel'nyh konstrukcij pri restavracii zdanij i sooruzhenij: uchebnik dlya vuzov. SPb., 2005. 114 s. (In Russian)
11. Ustrojstvo dlya usileniya nesushchih konstrukcij: patent na izobrenie № 2602840 C1 Rossijskaya Federaciya, E04G 23/02. № 2015149320/03 / A. A. Yurchenko; zayavl. 17.11.2015; opubl. 20.11.2016; zayavitel' FGAOU VO "Sibirskij federal'nyj universitet". (In Russian)
12. SP 164.1325800.2014. Usilenie zhelezobetonnyh konstrukcij kompozitnymi materialami. Pravila proektirovaniya. (In Russian)
13. Starcev S.A., Sundukova A.A. Usilenie kirpichnoj kladki kompozitnymi materialami i vintovymi sterzhnyami // Stroitel'stvo unikal'nyh zdanij i sooruzhenij. 2014. № 6 (21). S. 17–31. (In Russian)
14. Experimental assessment of Textile Reinforced Sprayed Mortar strengthening system for brickwork wallets / E. Bernat-Maso [et al.] // Construction and Building materials. Spain, 2013. P. 3–13.
15. Metallokompozitnaya balka: patent na poleznuyu model' № 211900 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK E04C 3/06. № 2021136843 / V.V. Veselov, E.I. Nikonova; zayavl. 13.12.2021; opubl. 28.06.2022; zayavitel' FGBOU VO "Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya Imperatora Aleksandra I". (In Russian)
16. Kleenaya derevyannaya balka: patent na poleznuyu model' № 197463 U1 Rossijskaya Federaciya. № 2019136723 / V.V. Veselov, Yu.A. Belencov, L.R. Kuprava, P.S. Sidorova; zayavl. 14.11.2019; opubl. 29.04.2020; zayavitel' FGBOU VO "Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya Imperatora Aleksandra I". (In Russian)
17. Konstrukciya usileniya kirpichnogo prostenka: patent № 2825240 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK E04G 23/02. № 2024105714 / V.V. Veselov, A.I. Ancifirov; zayavl. 04.03.2024; opubl. 22.08.2024; zayavitel' FGBOU VO "Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya Imperatora Aleksandra I". (In Russian)
18. SP 15.13330.2020. Kamennye i armokamennye konstrukcii. (In Russian)

Received: 25.09.2024

Accepted: 11.11.2024

Author's information:

Vitaliy V. VESELOV — PhD in Engineering, Associate Professor; veselov.1977@inbox.ru