

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING AND CONSTRUCTION

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2025. Т. 27. № 4. С. 95–108.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2025; 27 (4): 95–108.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 692.299:69.04

DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-4-95-108

EDN: RIJNBG

СПОСОБ УСИЛЕНИЯ И РАСЧЕТ ОСЛАБЛЕННЫХ УЧАСТКОВ НЕСУЩИХ СТЕН ПРИ УСТРОЙСТВЕ В НИХ НОВЫХ ПРОЕМОВ

Эрес Кечил-оолович Опбул^{1,2}, Гурий Николаевич Ширунов³,
Анай-Хаак Бугалдаевна Калдар-оол², Евгений Эдуардович Намчыл¹

¹Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия

²Тувинский государственный университет, г. Кызыл, Россия

³Военный институт (инженерно-технический) Военной академии
материально-технического обеспечения имени генерала армии
А.В. Хрулева, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Исследуется оригинальный способ усиления и расчет внутренних несущих стен, ослабленных при устройстве в них новых проемов в процессе перепланировки или реконструкции квартир старой постройки.

Цель работы. Разработка способа усиления несущих стен для обеспечения безаварийной эксплуатации несущих конструкций в существующих зданиях и сооружениях.

Научная новизна исследования заключается в предложении метода усиления участков внутренней несущей стены над вырезаемым проемом с использованием двусторонней обоеймы из углепластиковых армированных холстов (лент), а также расчет требуемого сечения используемых материалов.

Методы исследования включают создание комбинированной конструкции на основе наклейки двусторонней обоеймы из углепластиковых армированных холстов (лент) и определение их требуемой площади сечения на основе равенства несущей способности ленты и недостающей (вырезанной) продольной рабочей арматуры.

Результаты. Работоспособность предложенной комбинированной конструкции обоснована и подтверждена расчетом и внедрена в практику с 2016 г. Представленные решения могут быть полезны при усилении не только несущих стен, ослабленных установкой новых проемов, но и при усилении уже существующих оконных или дверных проемов.

Ключевые слова: проем, несущая стена, несущая способность, усиление, бетон, арматура, углепластиковая лента

Для цитирования: Опбул Э.К., Ширунов Г.Н., Калдар-оол А.-Х.Б., Намчыл Е.Э. Способ усиления и расчет ослабленных участков несущих стен при устройстве в них новых проемов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 4. С. 95–108. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-4-95-108. EDN: RIJNBG

ORIGINAL ARTICLE

STRENGTH ANALYSIS AND METHOD OF LOAD-BEARING WALL AREAS LOOSEN BY INSTALLING NEW OPENINGS

Ehres K. Opbul^{1,2}, Gurii N. Shirunov³,
Anai-Khaak B. Kaldar-ool², Evgenii E. Namchil¹

¹Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,
Saint-Petersburg, Russia

²Tuvan State University, Kyzyl, Russia

³The Saint Petersburg Military Engineering-Technical University (Nikolaevsky), Saint-Petersburg, Russia

Abstract. The paper proposes the strength analysis of internal load-bearing walls loosen by the installation of new openings during the redevelopment (reconstruction) of apartments in an old building.

Purpose: The proposed method for strengthening load-bearing walls is developed to ensure further trouble-free operation of load-bearing structures of buildings.

Methodology/approach. The creation of combined structure based on gluing a double-sided frame made of carbon fiber reinforced canvases (tapes), including determination of their cross-sectional area based on the equality of the bearing capacity of the tape and missing (cut) longitudinal working reinforcement.

Research findings: The efficiency of the proposed combined structure for strengthening load-bearing walls is substantiated and confirmed by calculations and introduced into practice in 2016.

Practical implications: Research results can be used in strengthening not only load-bearing walls loosen by the installation of new openings, but also existing window or door openings.

Originality/value. It is possible to consider reinforcing a section of the internal load-bearing wall above the cut-out opening by gluing a double-sided clamp made of carbon fiber reinforced canvases (tapes) and calculating their required cross-section.

Keywords: opening, load-bearing wall, load-bearing capacity, reinforcement, concrete, carbon fiber tape

For citation: Opbul E.K., Shirunov G.N., Kaldar-ool A.-Kh.B., Namchyl E.E. Strength Analysis and Method of Load-Bearing Wall Areas Loosen by Installing New Openings. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (4): 95–108. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-4-95-108. EDN: RIJNBG

Введение

Объектом исследования являются внутренние несущие стены, а предметом исследования – методы их усиления и расчет ослабленных внутренних несущих стен в результате устройства новых проемов.

Цель исследования – разработка эффективного способа усиления несущих конструкций на основе внешнего армирования углепластиковыми волокнами для обеспечения безаварийной эксплуатации зданий при возможной перепланировке или реконструкции квартир старой постройки.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Разработка плана перепланировки квартиры с учетом планируемых проемов.
2. Сбор нагрузок от вышележащих конструкций.
3. Выполнение численного расчета несущих стен с помощью метода конечных элементов на основе продукта SCAD для определения недостающей рабочей арматуры с учетом уже вырезанных проемов.
4. Определение требуемой площади поперечного сечения и длины анкеровки углепластиковых волокон.

Актуальность исследования обусловлена тем, что усиление несущих конструкций углеволокном имеет ряд преимуществ, определенных свойствами самого материала. В отличие от тяжелого металла углеволокно имеет небольшой собственный вес, долговечно, устойчиво к коррозии и агрессивной среде, характеризуется сокращением продолжительности работ.

Предлагаемый оригинальный метод усиления несущих внутренних стен был практически реализован после проведения технического обследования объекта авторами настоящей статьи в октябре 2016 г. в Санкт-Петербурге. Все работы проводились с соблюдением требований, приведенных в нормативных документах¹.

Согласно литературным данным [3], с 1950-х гг. начинается активное развитие усиления строительных конструкций методом внешнего армирования. Стальные стержни или листы (пластины), а также преднапряженные канаты приклеивались к поверхности железобетонных несущих элементов с помощью эффективных эпоксидных адгезивов.

В начале XXI в. стало широко распространено внешнее армирование строительных конструкций углепластиковыми материалами [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. В качестве армирующих элементов использовались высокопрочные композиционные материалы на основе специальных волокон, в особенности углеродных.

Пример применения системы внешнего армирования [8] для усиления строительных конструкций многоквартирного жилого дома отражает экономическую эффективность данного подхода. Сравнение технико-экономических показателей выявило следующие результаты:

1. Усиление конструкций жилого дома композитными материалами:
 - сметная стоимость усиления углеродной арматурой – 263,141 тыс. руб.;
 - сметная стоимость усиления углеродной тканью – 765,432 тыс. руб.
- Итого: 1028,573 тыс. руб.

¹ СП 13-102-2003. Свод правил по проектированию и строительству: Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений / Госстрой России. Москва: ФГУП ЦПП, 2004. 26 с.; ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Москва: Стандартинформ, 2010. 96 с.; СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Москва: Минстрой России, 2015. 50 с.

2. Усиление конструкций жилого дома металлом:

– сметная стоимость усиления металлической арматурой – 544,702 тыс. руб.;

– сметная стоимость усиления металлическими листами – 1048,641 тыс. руб.

Итого: 1 593,343 тыс. руб.

Вывод: использование композитных материалов обеспечивает экономию в размере 35 %, экономический эффект – 564,770 тыс. руб.

Алгоритм исследования состоит из следующих этапов:

– разработка плана переустройства квартир с указанием планируемых проемов;

– сбор нагрузок от вышележащих конструкций;

– численный анализ на основе конечно-элементной модели для определения количества требуемой продольной рабочей арматуры для внутренних несущих стен с учетом существующих проемов;

– расчет площади поперечного сечения углепластиковой ленты с эквивалентной несущей способностью для стержневой продольной арматуры;

– определение требуемой длины анкеровки углепластиковых волокон.

Результаты

Исследование проводилось на примере 6-этажного жилого дома с железобетонным монолитным каркасом и двуслойными каменными наружными стенами. Здание постройки 2008 г., по данным паспорта ПИБ. Реконструируемые квартиры расположены на 6-м этаже, высота этажа – 3,0 м. Самонесущие наружные стены на один этаж опираются на плиты междуэтажных перекрытий. Перемычки над оконными проемами скрытые, выполнены из железобетона. Междуэтажные перекрытия опираются на внутренние несущие железобетонные стены каркаса и отдельные монолитные колонны. Перегородки выполнены из блоков ячеистого бетона, в санузлах – из кирпича. План несущих конструкций и предполагаемых вновь организуемых и закладываемых проемов приведен на рис. 1.

Определение возможности устройства дополнительных проемов в несущих стенах выполнено путем поверочного расчета фрагмента здания, включающего верхний этаж на участке расположения обследуемых квартир. Расчет проведен на основе конечно-элементной модели, разработанной с использованием программного комплекса SCAD. Исходные данные для расчета приняты в соответствии с рабочими чертежами оригинального проекта ДС 3-3-Оз/03-П-ОПР и 3-Оз/03-П-КЖ-2.3.4: толщина плиты чердачного перекрытия составляет 18 см, толщина железобетонных стен – 16 см, модуль упругости принят равным $E_b = 28,5 \cdot 10^3$ МПа для бетона класса В22,5.

Нагрузка на плиту покрытия принята со значениями, собранными и представленными в табл. 1.

Собственный вес несущих элементов учитывался автоматически для заданных толщин элементов и плотности железобетона 2,5 т/м³. Для заданного расчетного сочетания усилий были определены необходимые параметры армирования стен в соответствии с требованиями действующих нормативных документов: СП 63.13330.2012 (Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003).

Таблица 1

Сбор нагрузок на покрытие

Table 1

Loads on the coating

№	Элемент	Толщина, м	Объемный вес, кгс/м ³	Нормативная нагрузка q^n , кг/м ²	γ_f	Расчетная нагрузка q , кг/м ²
1	Собственный вес крыши	—	—	50	1,1	55
2	Утеплитель чердачного перекрытия (минвата)	0,025	200	50	1,1	55
3	Пароизоляция	—	—	5	1,1	6
4	Временная на чердачное перекрытие (полезная)	—	—	70	1,3	91
5	Снеговая (без учета ската)	—	—	—	—	240
Итого				—		447

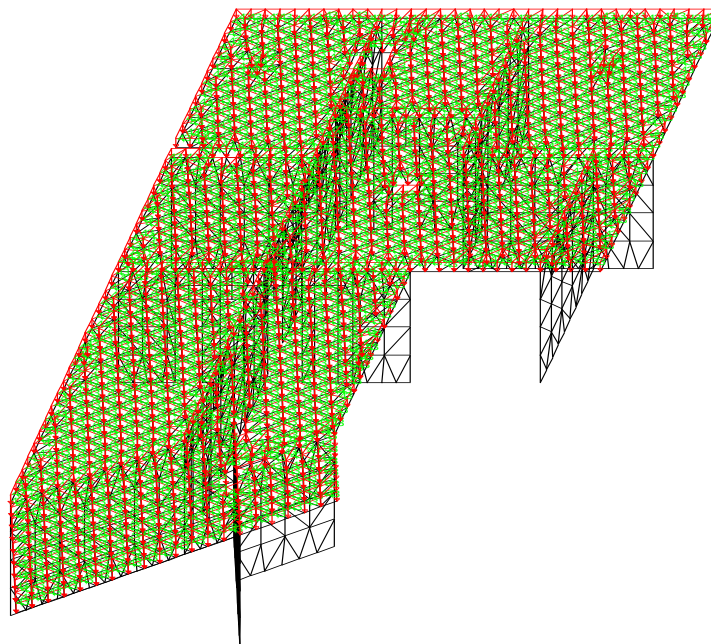


Рис. 2. Конечно-элементная модель фрагмента здания с обследуемыми квартирами

Fig. 2. FEM of building fragment with examined flats

В результате расчета получены следующие распределения необходимой рабочей арматуры для проемов ПР1, ПР2 и ПР3 (рис. 3–9), где значения приводятся по СП 52-103–2007 с учетом конструктивных требований².

² СП 52-103–2007. Железобетонные монолитные конструкции зданий. Москва: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2007. 22 с.; СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Москва: Минстрой России, 2015. 50 с.

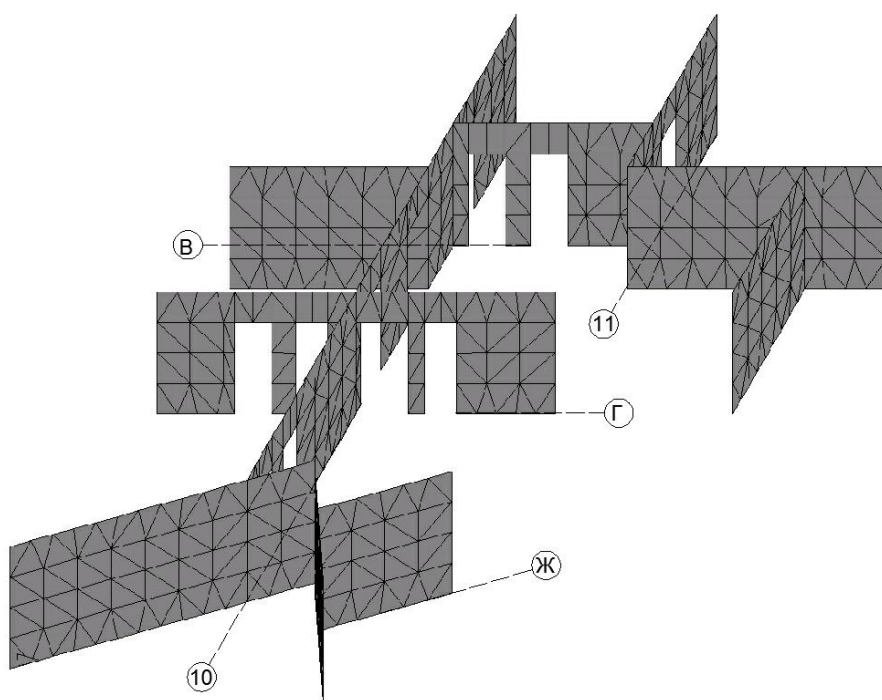


Рис. 3. Конечно-элементная разбивка стен
Fig. 3. FEM of walls

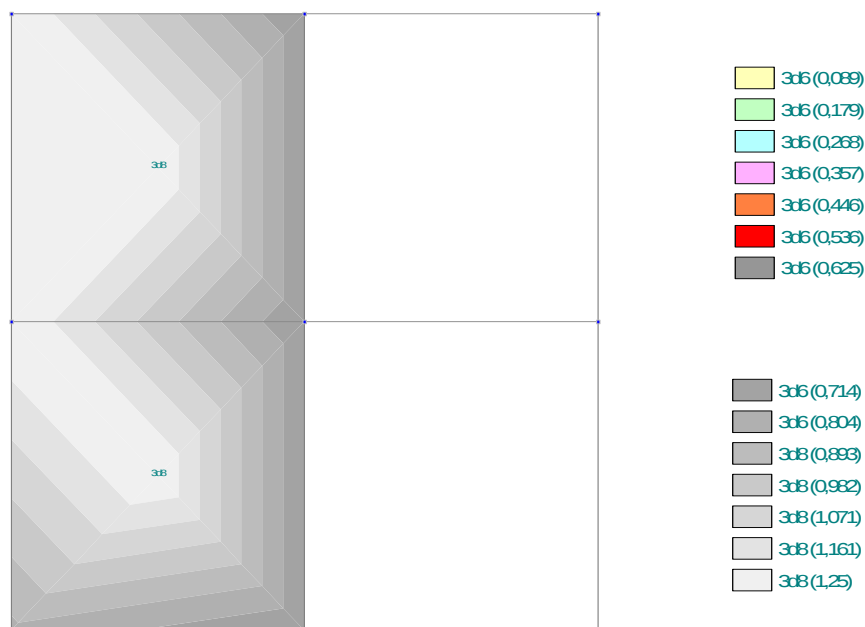


Рис. 4. Требуемая продольная рабочая горизонтальная (нижняя) арматура над проемом
PP1, диаметр в мм (см²)
Fig. 4. Required longitudinal horizontal (lower) reinforcement over opening PP1, mm (cm²) Dia

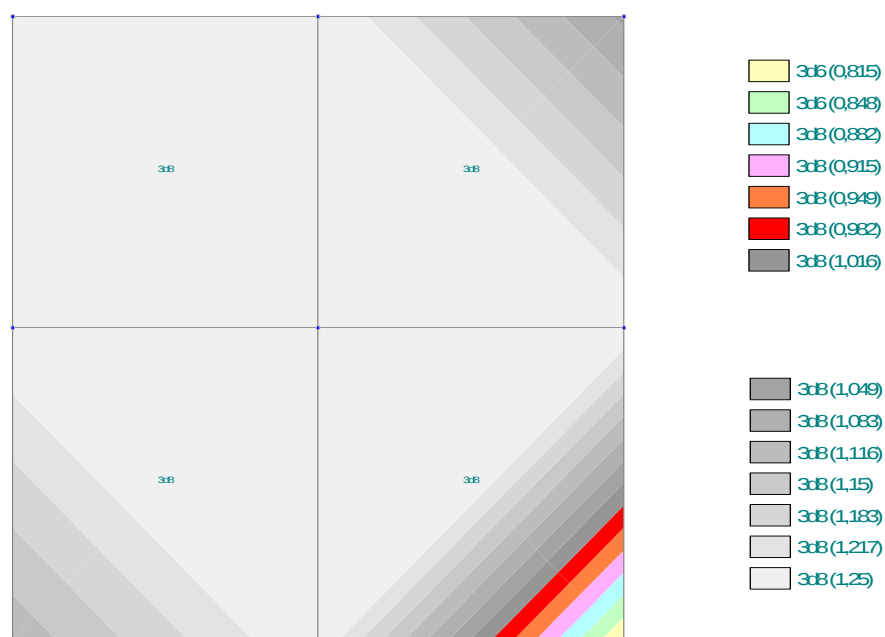


Рис. 5. Требуемая продольная рабочая горизонтальная (верхняя) арматура над проемом ПП1, диаметр в мм (см²)

Fig. 5. Required longitudinal horizontal (upper) reinforcement over opening PP1, mm (cm²) Dia

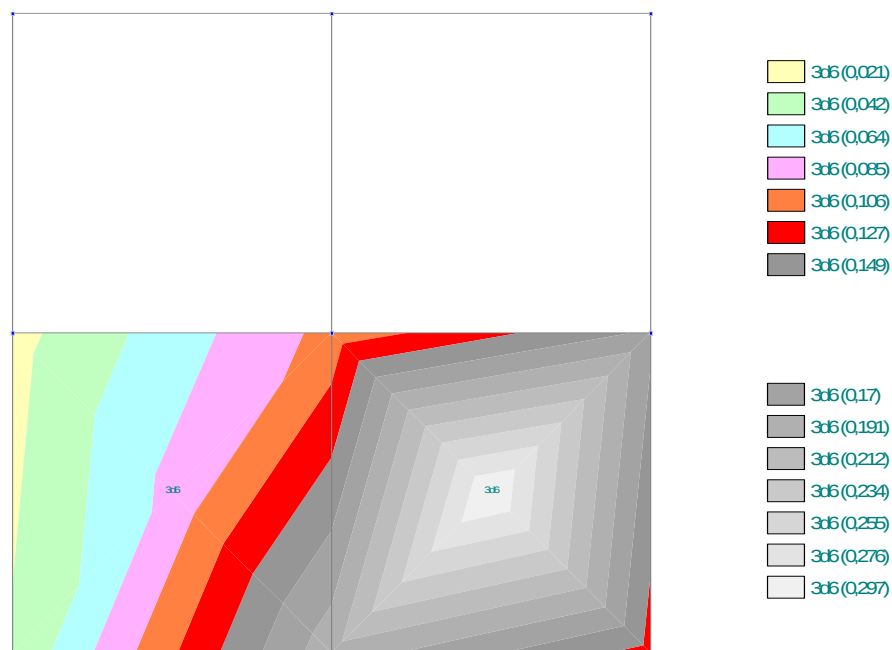


Рис. 6. Требуемая продольная рабочая горизонтальная (нижняя) арматура над проемом ПП2, диаметр в мм (см²)

Fig. 6. Required longitudinal horizontal (lower) reinforcement over opening PP2, mm (cm²) Dia

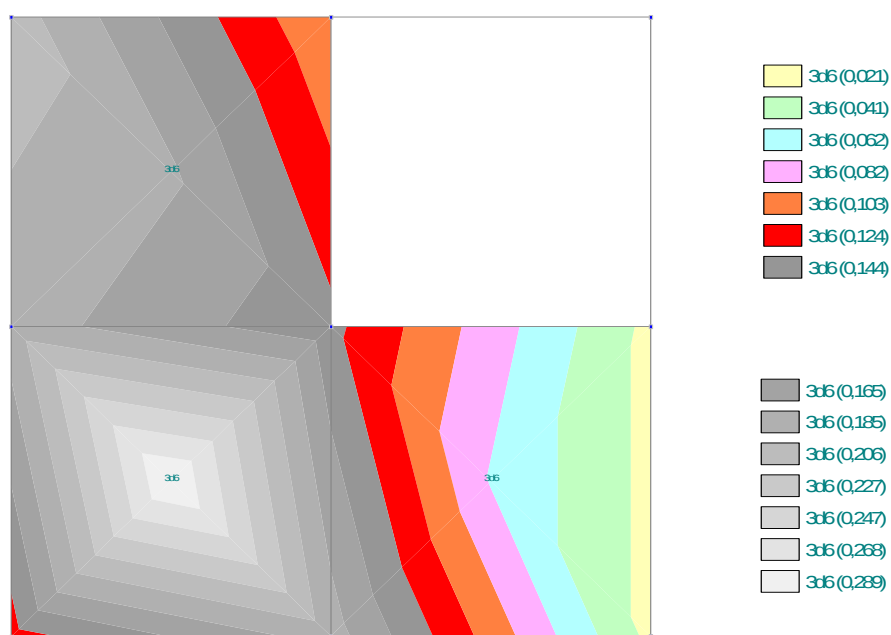


Рис. 7. Требуемая продольная рабочая горизонтальная (верхняя) арматура над проемом ПР2, диаметр в мм (см²)

Fig. 7. Required longitudinal horizontal (upper) reinforcement over opening PP2, mm (cm²) Dia

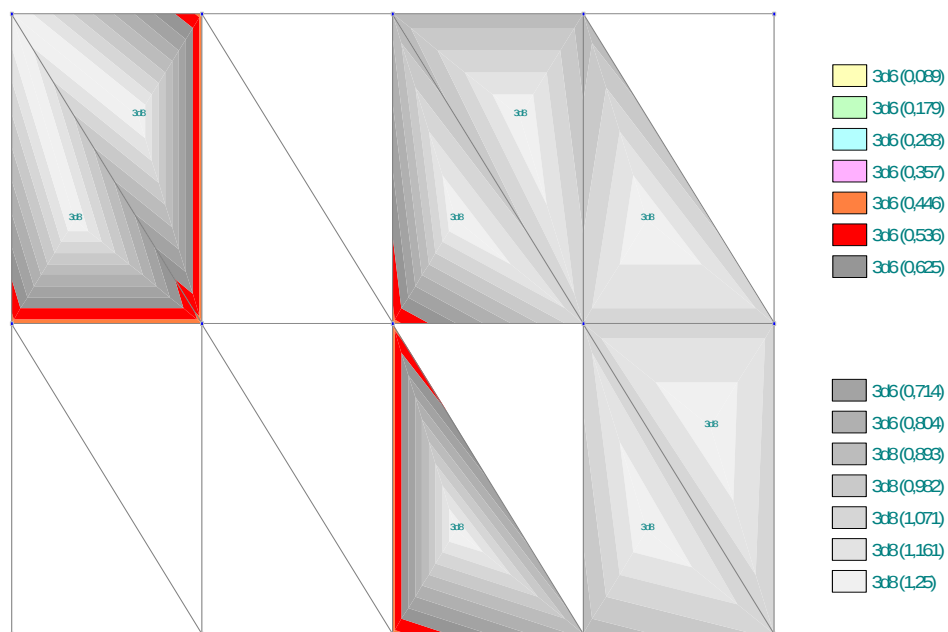


Рис. 8. Требуемая продольная рабочая горизонтальная (нижняя) арматура над проемом ПР3, диаметр в мм (см²)

Fig. 8. Required longitudinal horizontal (lower) reinforcement over opening PP3, mm (cm²) Dia

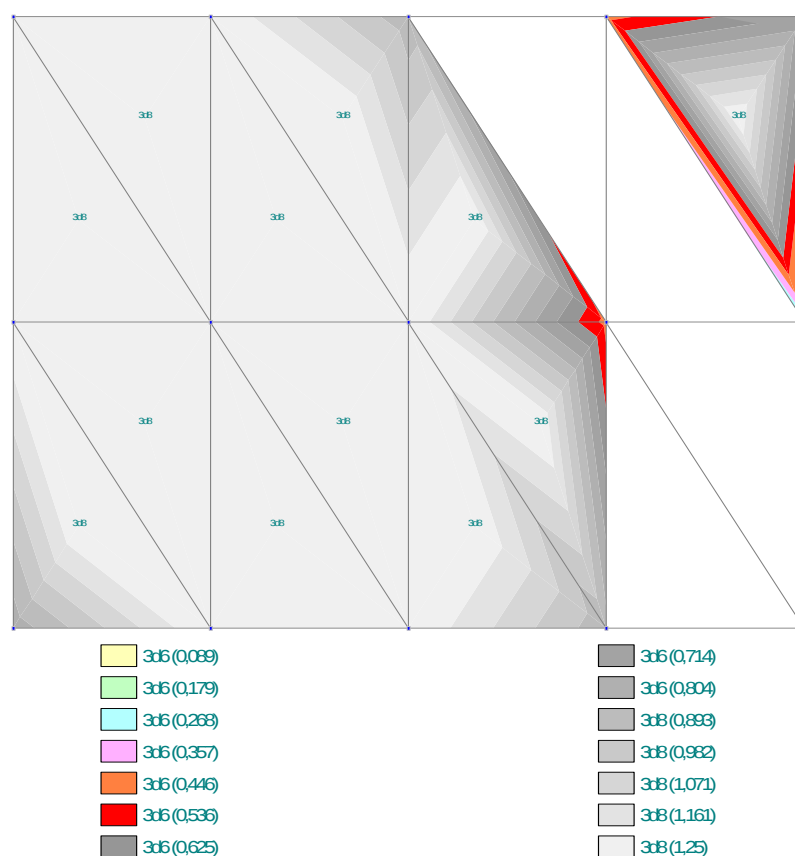


Рис. 9. Требуемая продольная рабочая горизонтальная (верхняя) арматура над проемом ПР3, диаметр в мм (см²)

Fig. 9. Required longitudinal horizontal (upper) reinforcement over opening PP3, mm (cm²) Dia

Анализ полученных диаграмм раскладки требуемой арматуры показывает, что для проемов ПР1 и ПР3 минимальное армирование составляет 3d8 класса А400, для проема ПР2 – 3d6 класса А400 как для нижней, так и для верхней (по отношению к местной оси конечного элемента z) арматуры. В конструкции железобетонной стены установлен один стержень d8 класса А400 (горизонтальная распределительная арматура в стене, установленная с шагом 300 мм), который после вырезки проема станет рабочей продольной арматурой. Таким образом, после удаления бетона из новых проемов ПР1 и ПР3 дефицит армирования составит 2d8 А400, что недопустимо без компенсирующих мероприятий. Для проема ПР2 дефицит армирования составит 0,35 см² (эквивалентно 2d6 класса А400). Для восполнения удаленной арматуры необходимо предусмотреть конструкцию усиления, согласно СП 164.1325800.2014.

Возможен вариант усиления участка стены над вырезаемым проемом с помощью наклейки двусторонней обоймы из углепластиковых армированных холстов или лент. Рекомендуется использовать карбопластиковые ленты Sika марки Sika Carbo Dur M.

Требуемое сечение углепластиковой ленты S_{cf} для одной грани предлагается определять из условия равенства несущей способности ленты и несущей недостающей рабочей арматуры, т. е. по формуле

$$S_{cf} = A_{req} \frac{R_s}{R_{cf}}, \quad (1)$$

где A_{req} – площадь недостающей стержневой арматуры, определяемая по формуле (2); R_s – прочность стержневой арматуры; R_{cf} – прочность углепластиковых холстов (лент).

$$A_{req} = n \cdot A_s, \quad (2)$$

где n – количество стержней; A_s – площадь сечения арматуры.

Для обеспечения анкеровки определяется требуемая длина заведения ленты за опорное сечение проема l_{an} по формуле

$$l_{an} = \frac{N_{max}}{(a \cdot R_{adg})}, \quad (3)$$

где N_{max} – максимальное усилие, равное: $N_{max} = n \cdot A_s \cdot R_s = 2 \cdot 50,3 \cdot 400 = 40240$ Н; R_{adg} – адгезия к сухому бетону (разрушение бетона), которая составляет 5 МПа³.

Определение требуемого сечения углепластиковой ленты S_{cf} для одной грани по формуле (1):

$$S_{cf} = 100,6 \frac{400}{2400} = 16,8 \text{ мм}^2,$$

где $A_{req} = n \cdot A_s = 2 \cdot 50,3 = 100,6 \text{ мм}^2$.

Согласно СП 164.1325800.2014, можно принять ленту Sika Carbo Dur M614 (из минимального номера сортамента) следующими размерами поперечного сечения: шириной $a = 60$ мм, толщиной $t = 1,4$ мм.

Тогда требуемая длина анкеровки составит

$$l_{an} = \frac{40240 \text{ Н}}{(60 \text{ мм} \cdot 5 \text{ Н/мм}^2)} = 134,1 \text{ мм}.$$

Окончательно длина анкеровки на каждую сторону ленты принимается равной $l_{an} = 140$ мм.

Схема устройства усиления участков стен над вырезаемыми проемами с использованием углепластиковых лент и разрез А-А представлены на рис. 10, 11.

³ System Sika CarboDur.doc. URL: <https://gk-innova.ru/wp-content/uploads/2017/11/Sika-CarboDur.pdf> (дата обращения: 20.03.2025).

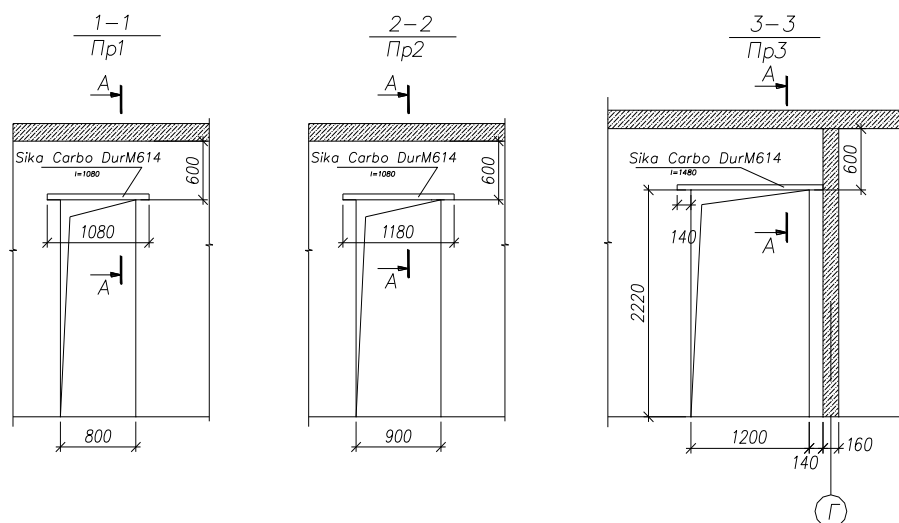


Рис. 10. Схема усиления проемов
Fig. 10. Schematic of opening reinforcement

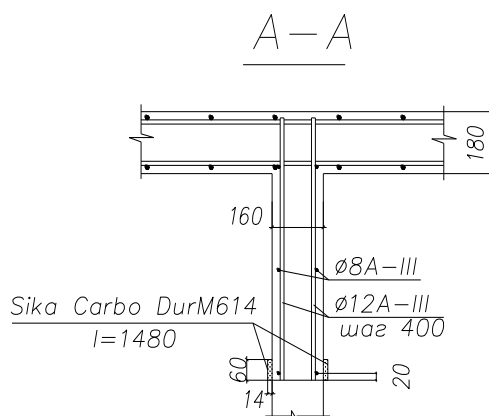


Рис. 11. Разрез А-А
Fig. 11. Cut A-A

Выводы

В качестве конструктивного решения усиления вместо традиционного стального армирования может быть принята наклейка карбопластиковых лент Sika Carbo Dur M614 по предложенной схеме.

1. При усилении углепластиковыми волокнами необходимо выполнить подготовку поверхности под оклеивание, произвести укладку усиливающего слоя согласно требованиям нормативных документов и произвести отделку участка усиления бетонным слоем.

2. Для достижения эффективной совместной работы элементов усиления, т. е. углепластиковых тканей с конструкцией, рекомендуется использовать адгезивные средства повышенной прочности, а также применять тканевые бандаж и хомуты.

3. Сравнительный анализ экономической эффективности показывает, что сметная стоимость усиления углеродной тканью составляет 765,432 тыс. руб., а с металлической арматурой – 544,702 тыс. руб. Хотя использование металла обходится немного дешевле, внешнее армирование конструкций углепластиковыми материалами обладает некоторыми преимуществами: малый вес усиливаемой конструкции, сокращение продолжительности работ по усилению, высокая стойкость к коррозии и агрессивной среде, значительная долговечность, а также сохранение первоначального архитектурного и эстетического облика конструкции.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хаяутин Ю.Г., Чернявский В.Л., Аксельрод Е.З. Применение углепластиков для усиления строительных конструкций // Бетон и железобетон. 2002. № 6. С. 17–20; 2003. № 1. С. 25–29.
2. Шилин А.А., Пишеничный В.А., Картузов Д.В. Внешнее армирование железобетонных конструкций композитными материалами. Москва : Стройиздат, 2007. 184 с. ISBN 978-5-274-01972-9.
3. Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Овчинников И.И., Зиновьев В.С., Умиров А.Д. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами: Экспериментальные исследования особенностей усиления композитами изгибаемых железобетонных конструкций // Наукo-ведение : интернет-журнал. 2012. № 4 (13). С. 1–22. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/7tvn412.pdf> (дата обращения: 20.03.2025).
4. Юшин А.В., Морозов В.И. Анализ напряженно-деформированного состояния двухпролетных железобетонных балок, усиленных композитными материалами по наклонному сечению, с учетом нелинейности // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15235> (дата обращения: 20.03.2025).
5. Быков А.А., Снигирева В.Н., Корягин А.А. Экспериментальное исследование железобетонных балок, усиленных углепластиком, с учетом оштукатуривания ремонтным составом // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2016. № 3 (23). С. 147–159. DOI: 10.15593/2409-5125/2016.03.10. EDN: WXIHCH
6. Смолина М.В., Прохорова А.Е. Опыт применения системы внешнего армирования железобетонных пролетных строений автодорожных мостов композитными материалами в условиях Крайнего Севера // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2016. № 1 (15). URL: trts.esrae.ru/28-149 (дата обращения: 20.03.2025).
7. Мугаллимова И.И. Система внешнего армирования как способ усиления монолитного безбалочного железобетонного перекрытия // Молодой ученый. 2021. № 19 (361). С. 32–35. URL: <https://moluch.ru/archive/361/80725/> (дата обращения: 20.03.2025).
8. Полимерные композитные материалы при ремонте и реконструкции. URL: https://sroppk.ru/download/Building_materials/prezentetion_kompozit.pdf (дата обращения: 20.03.2025).

REFERENCES

1. Khayutin Yu.G., Chernyavsky V.L., Axelrod E.Z. Application of Carbon Fiber Reinforced Plastics for Building Reinforcement. *Concrete and Reinforced Concrete*. 2002; (6): 17–20. 2003; (1): 25–29. (In Russian)
2. Shilin A.A., Pshenichny V.A., Kartuzov D.V. External Reinforcement of Steel Concrete Structures with Composite Materials. Moscow: Stroyizdat, 2007. 181 p. ISBN 978-5-274-01972-9. (In Russian)
3. Ovchinnikov I.G., Valiev S.N., Ovchinnikov I.I., Zinoviev V.S., Umirov A.D. Composites for Strengthening Reinforced Concrete: 1 Composite Strengthening for Flexural Reinforced Concrete Structures. *Naukovedenie*. 2012; 4 (13): 1–22. Available: <https://naukovedenie.ru/PDF/7tvn412.pdf> (accessed March 20, 2025). (In Russian)
4. Yushin A.V., Morozov V.I. Non-Linear Analysis of 2-Span Beams with Shear Strengthening with Carbon Fiber Reinforcement Polymer (CFRP). *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014; (5): 273. Available: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15235> (In Russian)

5. Bykov A.A., Snigireva V.N., Koryagin A.A. RC Beams Strengthened with CFRP Sheet with Repair Mortar Recasting. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ehkologiya. Urbanistika*. 2016; 3 (23): 147–159. DOI 10.15593/2409-5125/2016.03.10. EDN: WXIHCH (In Russian)
6. Smolina M.V., Prokhorova A.E. Strengthening of Concrete Structures of Highway Bridge Spans with Composite Materials in Extreme North Conditions. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve*. 2016; 1 (15). Available: trts.esrae.ru/ru/28-149 (accessed March 20, 2025). (In Russian)
7. Mugallimova I.I. External Reinforcement System as a Method of Strengthening a Monolithic Beam-Free Reinforced Concrete Floor. *Molodoi uchenyi*. 2021; 19 (361): 32–35. Available: <https://moluch.ru/archive/361/80725/> (accessed March 20, 2025). (In Russian)
8. Polymer composite materials in repair and reconstruction: Available: https://sropk.ru/download/Building_materials/prezentetion_kompozit.pdf (accessed March 20, 2025).

Сведения об авторах

Опбул Эрес Кечил-оолович, канд. техн. наук, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9; Тувинский государственный университет, 667000, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Ленина, 36, fducnufce@mail.ru

Ширунов Гурий Николаевич, докт. техн. наук, Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22, guriyn@mail.ru

Калдар-оол Анай-Хаак Бугалдаевна, канд. техн. наук, Тувинский государственный университет, 667000, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Ленина, 36, oorzhaka-h@mail.ru

Намчыл Евгений Эдуардович, аспирант, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9.

Authors Details

Ehres K. Opbul, PhD, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovskii Ave., 190031, Saint-Petersburg, Russia; Tuvan State University, 36, Lenin Str., 667000, Kyzyl, Russia, fducnufce@mail.ru

Gurii N. Shirunov, DSc, The Saint Petersburg Military Engineering-Technical University (Nikolaevsky), 8, Makarov Emb., 199034, Saint-Petersburg, Russia, guriyn@mail.ru

Anai-Khaak B. Kaldar-ool, PhD, Tuvan State University, 36, Lenin Str., 667000, Kyzyl, Russia, oorzhaka-h@mail.ru

Evgenii E. Namchil, Research Assistant, The Saint Petersburg Military Engineering-Technical University (Nikolaevsky), 8, Makarov Emb., 199034, Saint-Petersburg, Russia.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.