

Усиление железобетонных конструкций композитными материалами

Плеханова Екатерина Александровна

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

В статье рассмотрены композитные материалы для усиления железобетонных конструкций. Целью данного исследования является технический и экономический анализ усиления железобетонных элементов, с использованием композитных материалов. А также описание применения и преимущества использования композитных материалов. В работе произведен расчет несущей способности железобетонной колонны, усиленной композитной обоймой. Сделан вывод, что композитный материал обладает исключительной прочностью и легкостью, что делает его отличной альтернативой традиционным материалам, таким как сталь и бетон.

Ключевые слова: строительство, железобетонная колонна, композитные материалы, усиление.

Reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials

Plehanova Ekaterina Aleksandrovna

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Abstract

The article considers composite materials for strengthening reinforced concrete structures. The purpose of this study is a technical and economic analysis of the reinforcement of reinforced concrete elements using composite materials. As well as a description of the application and benefits of using composite materials. The paper calculated the bearing capacity of a reinforced concrete column, a reinforced composite cage. It is concluded that the composite material has exceptional strength and lightness, which makes it an excellent alternative to traditional materials such as steel and concrete.

Keywords: construction, reinforced concrete column, composite materials, reinforcement.

Введение

Усиление конструкций из железобетона производится с целью повышения их несущей способности. В таком случае предполагается увеличение нагрузки на несущие элементы конструкции, восприятия изгибающего момента и повышения жесткости элементов.

Существуют традиционные методы усиления конструкций, такие как усиление посредством железобетонных и стальных обоек, устройства шпренгельных и разгружающих конструкций, наращивания сечения и использование дополнительной арматуры. Однако не всегда есть возможность выполнить усиление без вывода конструкций из эксплуатации на время осуществления работ. В связи с этим в строительстве получило распространение использование композитных материалов, состоящих из различного рода волокон.

Композитные материалы произвели революцию в строительной отрасли, обеспечив превосходные эксплуатационные характеристики по сравнению с традиционными материалами. Композитные материалы изготавливаются из двух или более составляющих материалов, которые работают вместе, создавая превосходный материал, более прочный, долговечный и упругий, чем его отдельные части.

Использование композитных материалов в строительстве получило широкое распространение за последние несколько десятилетий. Эти материалы используются в различных областях, включая мосты, здания, трубопроводы и морские сооружения. Одним из основных преимуществ композитных материалов является их исключительное соотношение прочности и веса, что делает их идеальными для использования в тех областях, где вес является критическим фактором.

Обзор литературы

Усиление строительных конструкций всегда являлось актуальным вопросом. В.З. Величкин и Ю.И. Тилинин в своем исследовании рассмотрели комбинированные технологии усиления простенков и колонн [1]. Авторами отмечено следующее: для предотвращения прогрессирующего физического износа железобетонных колонн предлагается при их износе до 25 % проводить цементацию трещин и оклейку углеродистым полотном [1]. До получения данных о старении композитных материалов в процессе эксплуатации предлагается комбинировать технологии усиления с традиционными способами, а для железобетонных колонн - не применять композиты при значительном физическом износе [1]. Для новой технологии усиления колонн авторами разработана нормаль процесса. Е.В. Емельянова провела анализ поврежденных кирпичных стен зданий и причин их возникновения [2]. Автором предложена формула для определения прочности кирпичных столбов и простенков, усиленных композитными материалами [2]. Анализом эффективности усиления каменных простенков в своей статье занимался Р.Б. Орлович [3]. В статье анализируются эффективность методов усиления каменных простенков [3]. Рассматриваются, как традиционные, так и новые методы усиления с применением поверхностного армирования сетками из композитных материалов [3]. Проведены комплексные исследования, включающие моделирование и физические эксперименты [3]. Также С.Д. Семенюк исследовал усиление железобетонных колонн, кирпичных столбов и простенков [4]. Сравнительный анализ результатов расчетов усиления стен

многоэтажного каменного здания поперечным армированием из стеклопластиковой и стальной арматуры провела А.А. Пиксайкина [5]. В работе рассмотрен пример, в котором рассчитан простенок многоэтажного каменного здания и как результат принято решение об усилении [5]. Рассмотрено два варианта усиления простенка поперечным армированием из стальной и стеклопластиковой арматуры. Проведено сравнение приведенных выше вариаций и сделан вывод [5].

Так как нормативная база и методы расчета в области усиления конструкций композитными материалами отсутствует, при написании данной статьи были изучены работы [6-11] итальянских, испанских и польских исследователей по испытаниям композитных материалов.

Цель исследования

Целью данного исследования является технический и экономический анализ усиления железобетонных элементов, с использованием композитных материалов. А также описание применения и преимущества использования композитных материалов.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Проведен анализ современного метода усиления железобетонных элементов композитными материалами
2. Выявлены преимущества и недостатки рассматриваемого метода
3. Рассмотрена металлическая сетка, как пример материала для усиления из углеродного волокна
4. Проведен расчет несущей способности железобетонного элемента, усиленного композитной обоймой
5. Дана оценка эффективности метода усиления композитными материалами.

Описание применения композитных материалов

Полимерные композиты, армированные волокном (FRP), являются одними из наиболее часто используемых композитных материалов в строительстве. ПФО изготавливаются путем встраивания прочных волокон, таких как углеродные, стеклянные или арамидные, в полимерную матрицу. Полученный в результате материал обладает исключительной прочностью и легкостью, что делает его отличной альтернативой традиционным материалам, таким как сталь и бетон.

Композитные материалы также очень устойчивы к коррозии, что делает их идеальными для использования в суровых условиях. Например, в морских сооружениях стеклопластики используются для изготовления трубопроводных систем, которые более устойчивы к суровой морской среде, чем традиционные металлические трубопроводы.

Еще одним значительным преимуществом композитных материалов является гибкость их конструкции. Композиты можно формовать практически в любую форму, что позволяет архитекторам и инженерам создавать

конструкции с уникальными формами и характеристиками. Такая гибкость конструкции также позволяет создавать легкие конструкции, которые можно легко транспортировать и собирать на месте, что сокращает время и стоимость строительства.

Помимо превосходных эксплуатационных характеристик, композитные материалы также более экологичными, чем традиционные материалы. Например, производство стали и бетона является энергоемким и приводит к значительному выбросу парниковых газов. В отличие от них, композитные материалы часто изготавливаются из переработанных материалов и требуют меньше энергии для производства.

Несмотря на многочисленные преимущества, использование композитных материалов в строительстве сопряжено с некоторыми трудностями. Одной из основных проблем является их относительно высокая стоимость по сравнению с традиционными материалами. Однако по мере развития технологий и снижения производственных затрат композитные материалы становятся все более конкурентоспособными по цене.

В частности, композитные материалы имеют ряд преимуществ перед традиционными материалами, такими как сталь и бетон. Например, композиты из стеклопластика могут быть разработаны таким образом, чтобы обладать высокой стойкостью к ударам, усталости и химическим повреждениям, что делает их идеальными для использования в конструкциях, подверженных экстремальным условиям окружающей среды.

Преимуществом композитных материалов являются их превосходные изоляционные свойства. По сравнению с традиционными материалами, композиты обладают низкой теплопроводностью, что означает, что они могут помочь снизить потребление энергии и повысить энергоэффективность зданий. Это делает их идеальными для использования в зданиях и сооружениях, требующих эффективной теплоизоляции, таких как холодильные хранилища и системы хранения тепловой энергии.

Использование композитных материалов в строительстве не ограничивается новыми строительными проектами. Они также могут использоваться при ремонте и восстановлении существующих конструкций. Например, композиты FRP могут быть использованы для укрепления и усиления бетонных конструкций, таких как мосты, здания и туннели (рис.1). Этот метод, известный как внешнее армирование, включает в себя приклеивание композитов FRP к поверхности конструкции для увеличения ее прочности и несущей способности.



Рисунок 1 - Усиление железобетонных колонн композитным материалом

Композитные материалы также могут использоваться для повышения эстетической привлекательности зданий и сооружений. Их можно формовать в различные формы и цвета в соответствии с требованиями дизайна проекта. Например, композитные панели могут использоваться для создания визуально потрясающих фасадов, которые отличаются легкостью, прочностью и простотой монтажа.

Помимо гибкости дизайна, композитные материалы отличаются высокой прочностью и долговечностью. Срок их службы больше, чем у традиционных материалов, а низкие требования к обслуживанию делают их идеальными для использования в местах, где доступ к обслуживанию ограничен или затруднен.

Однако использование композитных материалов в строительстве по-прежнему сопряжено с некоторыми трудностями. Одной из основных проблем является отсутствие установленных норм и стандартов для проектирования и строительства. Это затрудняет работу архитекторов, инженеров и строителей по обеспечению соответствия композитных конструкций необходимым стандартам безопасности. Тем не менее, предпринимаются усилия по разработке руководящих принципов и правил для обеспечения безопасного использования композитных материалов в строительстве.

Преимущества применения металлической композитной сетки

Металлическая композитная сетка (рис. 2) – это материал, который широко применяется в строительстве и ремонте. Она состоит из двух слоев металлической сетки, соединенных между собой клеевой композицией или сваркой. Композитная сетка имеет высокую прочность и стойкость к различным воздействиям, что делает ее прекрасным материалом для применения в разных проектах.

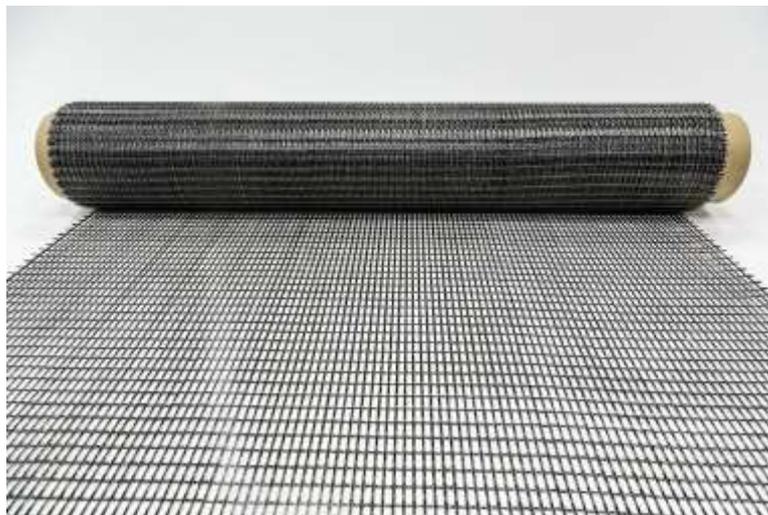


Рисунок 2 - Металлическая композитная сетка

Одним из основных преимуществ металлической композитной сетки является ее прочность. Она может выдерживать большие нагрузки и не ломается при деформациях. Кроме того, металлическая композитная сетка не подвержена коррозии и устойчива к химическим воздействиям, что делает ее идеальной для использования в условиях высокой влажности или в неблагоприятных климатических условиях.

В строительстве металлическая композитная сетка применяется для армирования бетонных конструкций. Она увеличивает прочность бетона, что позволяет строить более прочные и надежные здания и сооружения. Кроме того, данная сетка может быть применена для укрепления стен и полов, что делает их более устойчивыми к механическим воздействиям.

В ремонте металлическая композитная сетка может использоваться для усиления старых бетонных конструкций. Она позволяет увеличить прочность старого бетона, что увеличивает его срок службы и уменьшает риск разрушения. Кроме того, композитная сетка может использоваться для заполнения трещин и сколов в бетонных поверхностях, что делает их более прочными и надежными.

Металлическая композитная сетка также может использоваться для защиты стен от воздействия ударов и сильных нагрузок. Она может быть установлена на стены перед тем, как они будут покрыты штукатуркой или краской. Это защитит стены от механических повреждений и увеличит их срок службы.

Важным фактором при использовании металлической композитной сетки является правильный выбор ее типа и размера. Для каждого конкретного проекта необходимо выбирать подходящую сетку с определенным размером ячейки и толщиной металла. Неправильный выбор сетки может привести к ухудшению ее характеристик и уменьшению ее прочности и стойкости.

В заключение, металлическая композитная сетка – это универсальный материал, который находит применение во многих сферах, включая строительство, ремонт, сельское хозяйство и производство мебели. Ее

прочность, стойкость и универсальность делают ее идеальным материалом для использования в различных проектах.

Расчет несущей способности железобетонного элемента, усиленной композитной обоймой

Для усиления колонн (рис. 3) и простенков применяют устройство внешнего армирования в виде обойм (бандажей) по периметру сечения элементов с волокнами, расположенными перпендикулярно продольной оси усиливаемого элемента [12].



Рисунок 3 - Внешне армированная углеродным волокном железобетонная колонна.

Цель расчета является определение несущей способности железобетонной колонны, усиленной композитной обоймой. На рисунке 4 представлена расчетная схема центрально сжатого элемента, усиленного оклеечным материалом.

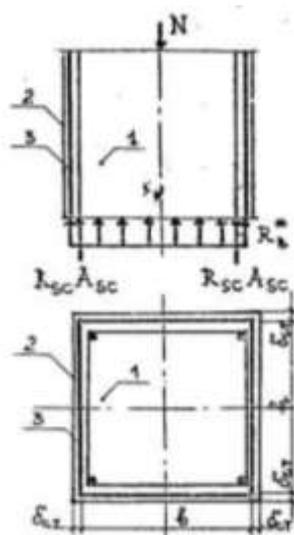


Рисунок 4 – Расчетная схема: 1. усиливаемый элемент; 2. поверхностно-оклеечный композитный материал (стеклопластик, углепластик и т.п.); 3. эпоксидный клей.

Исходные данные: высота колонны $h_k = 3000$ мм ; сечение колонны 350x350 мм. Бетон класса В15. Расчетное сопротивление $R_b = 8.5$ Мпа. Продольное армирование А400 4d16 с $A_s = 8.042$ см². Продольная внешняя сила $q_n = 180$ т. Марка стеклопакета СТ-11.

Расчет прочности центрально сжатых элементов, усиленных композитной облойкой, производится по формуле 1 [12]

$$N = \gamma\varphi(R_b^*A_b + R_{sc}A_s) \quad (1)$$

где N- продольная сжимающая сила от внешних нагрузок;

γ – коэффициент условий работы, принимаемый равным: $\gamma = 0,9$ при $h \leq 200$ мм; $\gamma = 1$ при $h > 200$ мм ;

A_b – площадь бетонного сечения усиливаемого элемента;

φ – коэффициент продольного изгиба;

A_s – площадь сечения усиливаемого элемента;

R_{sc} – расчетное сопротивление арматуры усиливаемого элемента;

R_b^* – Приведенная призмная прочность бетона усиленной конструкции, определяемая по формуле 2:

$$R_b^* = R_b \left(1 + \frac{0.5\sigma_3}{R_{bt}}\right) \quad (2)$$

где R_b – призмная прочность бетона усиливаемой конструкции;

R_{bt} – расчетное сопротивление бетона растяжению усиливаемой конструкции;

σ_3 – обжимающее напряжение, создаваемое облойкой из оклеечного композита и определяемое по формуле 3:

$$\sigma_3 = \frac{2\delta_{ст}R_{ст}}{b} \quad (3)$$

где $\delta_{ст}$ – толщина слоя композита;

b – ширина/высота сечения усиливаемого элемента;

$R_{ст}$ – расчетное сопротивление растяжению композита.

При определении расчетной толщины должно соблюдаться условие:

$$R_{ст}\delta_{ст} \geq R_{bt}b \left(\frac{N - R_{sc}A_s}{\gamma\varphi(R_bA_b) - 1}\right) \quad (4)$$

Для начала необходимо определить гибкость усиливаемого элемента:

$$\lambda_h = \frac{h_k}{h} = 8.571 \text{ мм} \quad (5)$$

Где h_k – высота колонны 3000 мм;

h – ширина колонны 350 мм.

По таблице 3.3 [13] определяем коэффициент $\varphi = 0,99$. Так как высота больше 200 мм принимаем $\gamma = 1$

Производим поверочный расчет колонны:

$$N_{\text{сеч}} = \gamma\varphi(R_b A_b + R_{sc} A_s) = 126798.519 \text{ кг} \quad (6)$$

Предварительно принимаем 3 слоя стеклопластика СТ-11 с сопротивлением $R_{\text{СТ}} = 71,5$ Мпа.

Определяем обжимающее напряжение, создаваемое обоймой из оклеечного композита:

$$\sigma_3 = 2\delta_{\text{СТ}} \left(\frac{R_{\text{СТ}}}{b} \right) = 16.343 \text{ кг/см}^2 \quad (7)$$

Приведенная призмная прочность бетона усиленной конструкции:

$$R_b^* = R_b \left(1 + \frac{0.5\sigma_3}{R_{bt}} \right) = 179.504 \text{ кг/см}^2 \quad (8)$$

Определяем несущую способность усиленной колонны:

$$N = \gamma\varphi(R_b^* A_b + R_{sc} A_s) = 239588.828 \text{ кг} \quad (9)$$

Прочность обеспечена.

В заключении, проверяем условие (4):

$$R_{\text{СТ}}\delta_{\text{СТ}} = 286 \frac{\text{кг}}{\text{см}} \geq R_{bt} b \left(\frac{\frac{N}{\gamma\varphi} - R_{sc} A_s}{(R_b A_b) - 1} \right) = 273.91 \frac{\text{кг}}{\text{см}} \quad (10)$$

Условие выполняется.

Расчет показал, что при усилении железобетонных конструкций композитными материалами существенно увеличивается несущая способность, а также происходит увеличение усталостного ресурса железобетонных конструкций.

Заключение

В статье был рассмотрен метод усиления железобетонных конструкций с использованием композитных материалов. В ходе работы был сделан ряд выводов:

1. Полимерные композиты, армированные волокном (FRP), являются одними из наиболее часто используемых композитных материалов в строительстве. Полученный в результате материал обладает исключительной прочностью и легкостью, что делает его отличной альтернативой традиционным материалам, таким как сталь и бетон.

2. Композитная сетка из углеволокна имеет отличную прочность, стойкость и универсальность, что делает ее идеальным материалом для использования в различных проектах.

3. Расчет несущей способности показал, что при усилении железобетонных конструкций композитными материалами существенно увеличивается несущая способность.

4. Предложенная методика оценки несущей способности железобетонных колонн, усиленных композитной обоймой, основанная на методе предельных состояний, учитывает конструктивные особенности железобетонных строений и сложные условия эксплуатации.

Библиографический список

1. Величкин В.З, Тилинин Ю.И., Животов Д.А. Комбинированные технологии усиления простенков и колонн // Вестник гражданских инженеров. № 6(77). 2019. С. 186-192
2. Емельянова Е.В., Мершеева М.Б. К расчету усидения кирпичных столбов и простенков обоймами из композитных материалов // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов. 2015. С. 193-198.
3. Орлович Р.Б., Зимин С.С., Антаков А.Б. Анализ эффективности усиления каменных конструкций // Строительство и застройка: жизненный цикл – 2022. 2022. С. 83-93
4. Саменюк С.Д., Мельянцева И.И. Усиление железобетонных колонн, кирпичных столбов и простенков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии. 2012. С. 124-125.
5. Писайкина А.А., Лазарев А.Л., Бусаргин Д.А. Сравнительный анализ результатов расчета усиления стен многоэтажного каменного здания поперечным армированием из стеклопластиков и стальной арматуры // Эксперт: теория и практика. № (17). 2022. С. 57-65.
6. Ernest Bernat-Maso, Christian Escrig, Chrysl A. Aranha et. Construction Experimental assessment of Textile Reinforced Sprayed Mortar strengthening system for brickwork wallttes // Building Materials. 2013. Issue 50. Pp. 226-236.
7. Robert G. Drysdale, Ahmad A. Hamid. Masonry structures behavior and design // Poland: The masonry society. 2013. 480 p.
8. Schubert, P. Properties of a laying, a construction brick, solution for a laying and plaster works. Mauerwerkalendar // Berlin: Ernst & Sohn. 2008. 380 p.
9. СНиП II-22-81* Проектирование каменных и армокаменных конструкций. Нормы проектирования
10. Костенко А.Н. Прочность и деформативность центрально и внецентренно-сжатых кирпичных и железобетонных колонн, усиленных угле- и стекловолокном // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Спец. 05.23.01. М. 2010. 29 с.
11. Valluzzi M.R., Modena C. Mechanical behavior of masonry structures strengthened with different improvement techniques // Fracture and Failure of

Natural Building Stones. Italy. 2006. Pp. 137–156.

12. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. 2015. 51 с.
13. Муленкова В.И., Артюшин Д.В. Расчет и конструирование усиления железобетонных и каменных конструкций // Пенза: ПГУАС. 2017. 118 с.