

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 69.059.32

УСИЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ УГЛЕВОЛОКНОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕТОНА ПО БАРЬЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ПРОБЛЕМАТИКА УСИЛЕНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ПОСЛЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ И ФОРМ БАШЕН

Т. В. Золина, В. Д. Башмачников

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Россия

Усиление железобетонных и металлических конструкций углеволокном – относительно новый метод для России. Первые объекты, реализованные в России, датированы 1998 годом. Заключается этот метод в наклеивании высокопрочного углеволокна, которое воспринимает на себя часть нагрузок, на поверхность конструкции. Это повышает несущую способность усиляемого элемента. В качестве связующего (клея) применяют специальные конструкционные материалы – адгезивы (связующее) на основе минерального вяжущего либо эпоксидных смол. Благодаря высоким физико-механическим характеристикам углеволокна можно увеличить несущую способность конструкций без потери основного объема помещений и увеличения собственной массы зданий – толщина элементов усиливающих конструкций обычно составляет от 1 до 5 мм. Армированные волокнами полимерные материалы обычно имеют более высокую, чем сталь прочность, малый вес (то есть большую удельную прочность), они хорошо сопротивляются воздействию агрессивных сред, удобны в применении и не требуют массивного оборудования для их установки. В нашей стране с введением нового стандарта 5G потребуется переоборудовать все башни связи по новым технологиям. После определения несущей способности многие башни перестанут проходить по устойчивости, что потребует их усиления. У стандартной методики усиления много «минусов», заключающихся в большой массе материала, которым усиливают подверженность коррозии, периодическое нанесение защитного слоя (обновление лакокрасочного покрытия). Анализ существующей литературы показал, что в нашей стране исследования по основным проблемам усиления металлических конструкций углеволокном, а также поведения усиленных композитными материалами металлических конструкций составляет незначительное количество, а нормативные документы, в отличие от руководств по усилению железобетонных конструкций, практически отсутствуют.

Ключевые слова: композитные материалы, усиление, углеволокно, повышение несущей способности, восстановление.

STRENGTHENING STRUCTURES WITH CARBON FIBER USING CONCRETE USING BARRIER TECHNOLOGY, PROBLEMS OF STRENGTHENING METAL STRUCTURES WITH COMPOSITE MATERIALS, DETERMINING THE SPATIAL POSITION AND SHAPES OF TOWERS

T. V. Zolina, V. D. Bashmachnikov

Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering

(Astrakhan, Russia)

Reinforcement of reinforced concrete and metal with carbon fiber is a relatively new method for Russia – the first objects implemented in Russia date back to 1998. This method is based on gluing high-strength carbon fiber to the surface of the structure, which takes part of the load. This increases the load-bearing capacity of the reinforced element. As a binder (glue), special construction materials are used - adhesives (binder) based on a mineral binder, or epoxy resins. Due to the high physical and mechanical characteristics of carbon fiber, it is possible to increase the load-bearing capacity of structures without losing the main volume of premises and increasing the building's own weight – the thickness of the elements of reinforcing structures is usually from 1 to 5 mm. Fiber-reinforced polymer materials usually have a higher strength than steel, low weight (that is, greater specific strength), they resist the impact of aggressive environments, are easy to use and do not require massive equipment for their formation. In our country, with the introduction of the new 5G standard, all communication towers will need to be re-equipped with new technologies, with the definition of spatial position and shapes. After determining the bearing capacity, many towers will no longer pass through the bearing capacity and stability, which will require their strengthening. The standard method of strengthening has many "disadvantages", which consist in a large mass of material that is reinforced, exposure to corrosion, intermittent application of a protective layer (updating the paint coating). Analysis of the existing literature has shown that in our country, a huge number of studies that address the main problems of strengthening metal structures with carbon fiber, as well as the behavior of metal structures reinforced with composite materials is very minimal, and regulatory documents, in contrast to guidelines for strengthening reinforced concrete structures, are practically absent.

Keywords: composite materials, reinforcement, carbon fiber, increased load-bearing capacity, recovery.

Обоснован ли ремонт усталостных поврежденных стальных элементов с композитами? В последнее время данный вопрос все более и более актуален в связи со снижением цены композитных элементов, отсутствием сварных и болтовых соединений. Усиления с композитами могут быть применены к различным типам конструктивных элементов в зависимости от типа и метода усиления.

Основанием для организации работ по усилению строительных конструкций является:

- фактический износ и физическое старение несущих материалов и конструктивных элементов;
- дефекты конструкции, вызванные повреждениями, при которых снизилась ее несущая способность;
- перепланировка помещений, включающая в себя внесение изменений в несущий конструктив;

- необходимость увеличения несущей способности (этажности зданий и строений, дополнительные нагрузки от оборудования);

- наличие ошибок проектировщиков при проектировании;

- необходимость усиления несущих конструкций после аварийных ситуаций;

- грунтовые подвижки.

Укрепление железобетонных несущих конструкций основывается на традиционных и инновационных способах. При традиционном способе используются рубашки и обоймы, наращиваются сечения балок, монтаж металлических порталов, установка дополнительной арматуры и разгружающих стоек.

Инновационная методика усиления несущих конструкций:

1) усиление несущих узлов с использованием композитных материалов (кевлар, углепластик, карбоновое волокно). Использование инъекционных материалов, основной состав которых состоит из эпоксидных смол, полимерцементных материалов, полиуретанов;

2) использование технологии преднапряжения канатной арматуры. Технология преднапряжения с натяжением на бетон в построечных условиях (постнапряжение) основывается на том, что напрягаемая арматура натягивается после бетонирования и бетоном достаточной прочности. В конечном итоге напрягаемая арматура (канат) лучше воспринимает нагрузки, которые оказывают на нее внешние силы в течение всего срока службы конструкций. Преднапряженные канаты используются, как правило, при усилении перекрытий зданий и сооружений;

3) комбинированные методы усиления железобетонных сооружений – совмещение нескольких технологических приемов, которые применяются индивидуально в каждом отдельном случае. Для усиления конструкции при проектировании необходимо опираться на техническую документацию.

Преимущества использования композитных материалов:

1) плиты из углепластика являются альтернативой другим формам упрочнения, таким как использование стальных пластин или предоставление дополнительных опорных элементов. Обертывание колонн с помощью стеклопластика можно заменить дополнительным железобетоном либо полной заменой конструкции с очевидной экономией материалов и денежных средств;

2) обеспечение сохранения или модернизации объектов культурного наследия;

3) увеличение пропускной способности при минимальном добавлении рабочего объема к конструкции. Материалы легко транспортируются и обрабатываются, подъемное устройство не требуется;

4) простота в использовании;

5) способность работать в замкнутых пространствах и ситуациях с труднодоступностью (например, тоннелях, подвалах);

6) минимальная требуемая подготовка пластин при монтаже;

7) пластины могут быть любой длины без каких-либо нахлесточных соединений;

8) прочность, устойчивость к коррозии;

9) хорошие показатели огнестойкости;

10) долговечность, долгосрочная производительность и огнестойкость;

11) эксплуатации с высокой производительностью;

12) экологичность.

Усиление балок, плит перекрытия выполняются путем наклеивания углеволокна в напряженных зонах – обычно в центре пролетов по нижней грани конструкции. Это существенно повышает его несущую способность по изгибающим моментам. Для решения данных задач подходят все углеродные материалы: ленты, ламели и сетки. Для балок очень часто требуется выполнить усиление опорных зон на повышение несущей способности при воздействии поперечных сил (по наклонным трещинам). Для этого выполняется оклеивание U-образными хомутами из композитных сеток или лент.

Углеродные ламели и ленты иногда применяются в совокупности, так как их адгезивный состав и метод монтажа похожи. Применение углеродных сеток обычно исключает использование ламелей и лент в связи с производством «мокрых» видов работ.

Усиление колонн производится путем их оклеивания сетками, углеродными лентами в поперечном направлении. Так достигается эффект «бондажирования» и происходит сдерживание поперечных деформаций бетона по схожему принципу с «бетоном в трубе» или «трехосным сжатием».

После проведения работ по усилению конструкций требуется создание защитного барьерного слоя. Это обусловлено тем, что адгезивы на основе эпоксидных смол горючи, подвержены охрупчиванию при воздействии ультрафиолетовых лучей.

Опираясь на основные возможности Астраханской области, разработан и лабораторно апробирован новый композитный безщебеночный состав для укрепления, создания гидроизоляционного слоя, восполнения утрат минеральных оснований (кирпича, бетона, натурального и искусственного камня) реставрации с использованием в качестве основной добавки местного минерального сырья – опоки Каменнорского месторождения. Опоки – экологические безопасные материалы, природные алюмосиликаты, обладают основным набором свойств, кото-

рые при исследованиях позволяют решать проблемы, появляющиеся в процессе строительства и эксплуатации строительных объектов. Молекулярное отношение $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ (полупрозрачные оксиды), для опок Каменноярских месторождений больше четырех и изменяется в пределах от 5,8 до 10 [1–3].

Опоки нейтрализуют соли тяжелых металлов и их радионуклиды, их часто применяют в качестве сорбента для очистки воды. При детальном изучении основных физико-технических характеристик были подготовлены опытные образцы для определения электропроводимости. Проверка сопротивлений проводилась с использованием Digital Multimeter. Подготовленные пластины в лабораторных условиях из проектных составов толщиной 10 мм препятствуют утечкам электрического тока токопроводящими частями в абсолютно сухом и водонасыщенном состоянии. Следовательно, можно сделать вывод, что материал является диэлектриком. Данное преимущество позволяет решить проблему блуждающих токов в конструкциях, которые разрушают строительные конструкции [4, 6, 7]. С целью изучения свойств модифицированного раствора были созданы стандартные образцы с размерами ребра 100 мм. В процессе лабораторных исследований был получен оптимальный процентный состав компонентов раствора (цемент, песок, добавка, вода). Для испытаний использовался стандартный конус КА (конус Абрамса). Результат испытания был получен по трем замесам на тестируемых составах, подвижность которых соответствует основным параметрам растворов для заполнения межпанельных швов (4–6 см). Для определения основных прочностных характеристик специально подготовленную в лабораторных условиях смесь укладывали в стандартные формы, вибрируя с послойным уплотнением.

В существующей литературе усиление композитами для железобетонных конструкций рассмотрено в полном объеме.

В теории также для удешевления производства работ стандартной методики «бондажирования» башен металлическими стержнями может быть использовано оклеивание углеволокном, что позволит в разы уменьшить вес конструкций и распределить равномерное усиление.

Для усиления металлических конструкций можно использовать стандартные способы, которые включают в себя установку дополнительных элементов в существующие конструкции, увеличение и наращивание сечений элементов, устройство дополнительных подкосов и опор с целью изменения конструктивной схемы элементов, устройство дополнительных ребер, связей, диафрагм и распорок для увеличения общей и местной устойчивости металли-

ческих конструкций, обетонирование металлических конструкций и другие способы.

Стандартная методика заключается в приварке стержней проектного размера к опорным ногам башни (рис. 1). Усиление поясов производится путем установки дополнительных конструкций для увеличения площади сечения элементов.

Так, одним из основных критериев является антикоррозийная защита вновь устанавливаемых элементов. Антикоррозийная защита элементов усиления должна быть предусмотрена в соответствии с цветомаркировкой опоры, требованиями СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии». Конструкции должны быть огрунтованы в один слой ГФ-021 по ГОСТ 25129-82 и покрашены двумя слоями ОС-12-03 по технологической инструкции в соответствии с ТУ 84-725-78 и ГОСТ 9402-2004. Общий слой антикоррозийного покрытия не менее 73 мкм. Контроль качества антикоррозийных работ выполняется согласно СП 72.13330.2017.

Перед нанесением защитного покрытия места его нанесения должны быть очищены от загрязнений, окислов, ржавчины и шлаковых включений. Качество очистки поверхностей должно соответствовать требованиям второй степени по ГОСТ 9402-80.

Данная методика создает огромные дополнительные нагрузки на основании башен, очень затруднительная для промышленных альпинистов – монтажников по причине большого веса проектных стержней.

Использование композитных материалов для усиления металлических конструкций также эффективно вследствие хороших сочетаний свойств композитов и материалов усиливаемой конструкции. Высокая прочность углеволокна, а также использование технологий предварительного напряжения может компенсировать низкие прочностные характеристики на растяжение материалов усиливаемых конструкций. При этом большое значение имеет технология приклеивания усиливающих элементов к усиливаемому. При выборе композитов для усиления металлоконструкций следует учитывать, что углеродные волокна обычно более предпочтительны, так как они имеют модуль упругости, близкий к модулю упругости стали или превышающий его. Стекланные и арамидные материалы не обладают этими свойствами. Но при использовании композитов, армированных углеродными волокнами, применяют специальные изолирующие слои между композитами и усиливаемыми элементами во избежание протекания электрохимической коррозии. При использовании полимеров, армированных арамидными или стекляными волокнами, этой предосторожности не надо.

Основная проблема усиления металлических несущих конструкций внешним армированием с использованием композитных материалов не так освоена, как проблема усиления железобетонных и потому эффективные решения возможны только для некоторых типов конструкций.

Выявлено, что неправильный выбор клея может привести к отслоениям на границе слоев. Следственно существует острая проблема адгезии и отслоения на границе слоев. Проблемы с отслоением являются критическим барьером против широкого использования композитных материалов для укрепления конструкций и ремонта.

Иностранная литература подтверждает возможность усиления металлоконструкций композитными материалами.

Так в Ноттингеме Тейлор Вудроу использовал передовые технологии в использовании композитов для укрепления двух основных стальных балок в здании Boots Building, Ноттингем. Здание было построено в два этапа в 1903 и 1921 годах. В 1903 году все несущие конструкции были построены из чугунных колонн и кованых железных балок, в то время как здание 1921 года имеет стальной каркас. Часть фасада имела дефекты, характерные для стали, – коррозия рамы. Экспертиза подтвердила, что две основные стальные балки, которые поддерживают второй и третий этаж, потеряли несущую способность на 30 %.

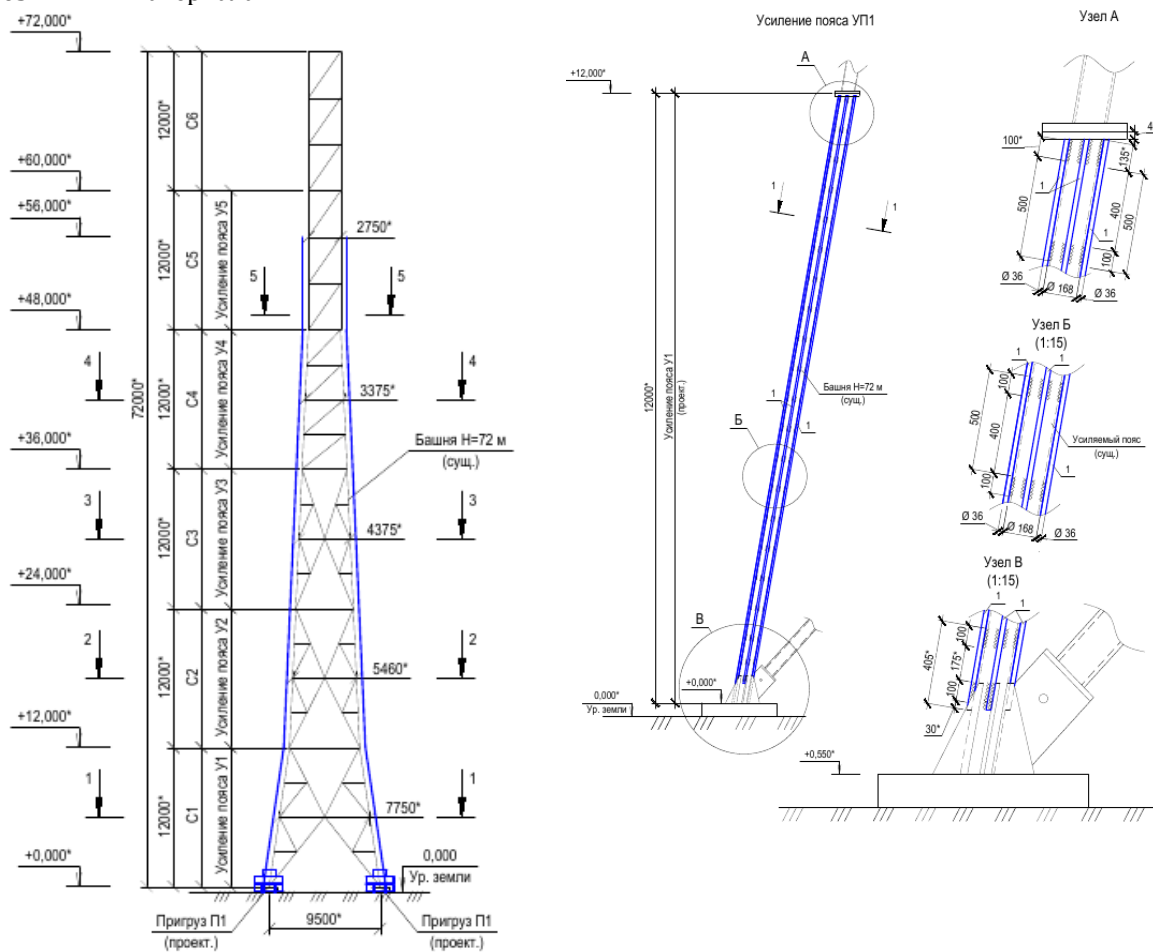


Рис. 1. Пример усиление поясов башни увеличением сечения методом приварки арматуры круглого сечения. Общий вид, узлы, разрез

Основная причина коррозии – блуждающие токи. Чтобы выполнить усиление требовалось исключить данный фактор в подборе материала. Варианты были самые разные: заменить или укрепить их. Балки имели изогнутую форму в плане, что увеличивало время производства, а местоположение здания в центре города не давало возможности для работы крана. Было принято

решение произвести усиление альтернативными методами – композитными материалами.

Проектная компания утвердила предварительно пропитанный композит на основе углеродного волокна, который не теряет свои свойства при низких температурах. Он поставлялся на объект в виде смотанных рулонов,

Толщина композиционного материала, добавляемого к исходному стальному профилю, составляет всего 5 мм, что никак не отразилось на позициях размещенных терракотовых блоков. Используя передовые технологии композитов, Тейлор Вудроу смог обеспечить реализацию реставрации в кратчайшие сроки.

Анализ существующей литературы показал, что в России мало уделяют внимание проблеме усиления металлоконструкций композитными материалами и их поведению, а нормативные документы, в отличие от руководств по усилению конструкций из железобетона, практически отсутствуют. Это создает основную проблему метода усиления металлоконструкций композитами и наталкивает авторов на создание методики усиления и в дальнейшем ее апробации.

Вывод: Появление композитов в виде нитей диаметром 5–15 мкм, которые состоят из структурированных атомов углерода, изменило схему ремонта и внешнего усиления железобетонных конструкций или СВА-системы внешнего армирования. Прочность углеволокна на разрыв вдоль волокон в несколько раз превышает прочность стали (может достигать 5 ГПа). При этом вес плетения нитей в десятки раз меньше, чем у стальных нитей с аналогичной прочностью на растяжение. Необходимо пом-

нить, что адгезивы на основе эпоксидных смол горючи, а кроме того подвержены охрупчиванию при воздействии ультрафиолетовых лучей. Поэтому, применяя их, следует предусматривать огнезащиту элементов усиления на класс огнестойкости не ниже заявленного для усиливаемой конструкции, а также защиту от УФ-лучей. Из экспериментально полученных данных следует: введение тонкомолотой опки позволит улучшить отражающие и поглощающие свойства модифицированного композита, повысит массу безщелеблочного состава в среднем на 4 % по сравнению с соответствующими показателями образцов без введения добавок. Для испытанного состава плотность изменилась в среднем на 3,5 %. Прочность бетона увеличилась относительно изменению плотности в среднем на 5 %. Данные исследования подтверждают возможность использования опок.

Если для железобетонных несущих конструкций методика усиления композитами материалами рассмотрена в полном объеме, то для металлоконструкций использование композитных материалов – новинка. Данные методы не используются в нашей стране, что указывает на направление дальнейшего исследования с целью разработки методики и ее внедрения.

Список литературы

1. Сизова Н.Д., Михеев И.А. Алгоритм решения задачи проектирования состава бетона методом математического планирования эксперимента // ВосточноЕвропейский журнал передовых технологий. 2010. №44. С. 8-10.
2. Ущеров-Маршак А.В., Бабаевская Т.В. Методологические аспекты современной технологии бетона // Бетон и железобетон. 2002. №1. С. 5-7.
3. Алыков Н.М. Опки Астраханской области / [Текст]: монография / Алыков Н.М., Алыков Н.Н, Алыкова Т.В., Садоццев К.Ю., Воронин Н.И., Кляев В.И.; под ред. Алыкова Н.М. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2005. С. 139.
4. Программный комплекс моделирования диффузионных процессов "Diffuzion". Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012617861 от 30.08.2012 г. Кожевникова Ю.Г., Инженерно-геологические особенности диффузии растворов солей в грунтах / [Текст] Ю.Г. Кожевникова, Н.М. Алыков, Т.В. Алыкова // Геология, география и глобальная энергия – 2011 - №4. - С. 75-84.
5. Алыков Н.М., Алыкова Т.В. Аналитическая химия объектов окружающей среды. Астрахань. Изд-во Астраханский гос. Университет, 2002. – 196 с.
6. Кожевникова, Ю.Г. Математическое моделирование энергетических характеристик формирования соединений ионов металлов с геологическими породами и материалами строительных конструкций / Н.М. Алыков, Ю.Г. Кожевникова, VII Международная научная конференция «Новейшие достижения Европейской науки» (Прага, 27 октября-05 ноября 2011) Материалы конференции с. 27-30.
7. ТУ 1916-005-61664530-2011. Углеродные однонаправленные ленты для систем внешнего армирования (СВА). Технические условия. ЗАО «Препрег-СКМ». М. 2011. 24 с. 7. СТО 13613997-001-2011. Стандарт организации. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. ООО «Зика». М. 2011. 55 с.
8. СТО 2236-002-2011. Стандарт организации. Система внешнего армирования из полимерных композитов FibARM для ремонта и усиления строительных конструкций. Общие требования. Технология устройства. ЗАО «ПрепрегСКМ». М. 2011. 16 с.
9. Экспертное заключение на СТО 2256-002-2011. «Система внешнего армирования из полимерных композитов FibARM для ремонта и усиления строительных конструкций. Общие требования. Технология устройства. ЗАО «Препрег-СКМ». М. 2011. 16 с. Филиал ОАО ЦНИИС «НИЦ Мосты». 2011. 5 с.
10. СТО 2256-002-2011. Стандарт организации. Система внешнего армирования из полимерных композитов FibARM R для ремонта и усиления строительных конструкций. ЗАО «Препрег-СКМ» при участии НИИЖБ.М. 2012. 61 с.
11. Залесов А.С., Зенин С.А., Пашанин А.А., Кудинов О.В. Рекомендации по расчету усиления железобетонных конструкций системой внешнего армирования из полимерных композитов FibARM. М. НИИЖБ. 2012. 29 с.

© Т. В. Золина, В. Д. Башмачников

Ссылка для цитирования:

Т. В. Золина, В. Д. Башмачников. Усиление конструкций углеволокном с применением бетона по барьерной технологии, проблематика усиления металлоконструкций композитными материалами после определения пространственного положения и форм башен // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Аст-рахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2020. № 2 (32). С.7–11.