

DOI: 10.12737/24679

Фролов Н.В., ст. препод.,
Полоз М.А., аспирант,
Ноурузи М.Ш., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ В АРМОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

frolov_pgs@mail.ru

В статье проанализирован опыт применения неметаллической полимеркомпозитной арматуры в различных армобетонных конструкциях. Выявлено, что в России полимеркомпозитная арматура является относительно новым строительным материалом, масштабное производство и внедрение которого начинает осуществляться только сейчас. Анализ показал, что бытующее мнение о целесообразности использования полимеркомпозитной арматуры лишь в преднапряженных армобетонных конструкциях является неверным позиционированием по области применения. В объединении интересов научных работников, проектных институтов, изготовителей и потребителей полимеркомпозитной арматуры отмечается важная роль Ассоциации организаций по производству и применению неметаллической арматуры и изделий из нее «Неметаллическая композитная арматура».

Ключевые слова: полимеркомпозитная арматура, армобетонная конструкция, анализ, исследование, агрессивная среда.

Введение. В результате длительного воздействия агрессивной среды на железобетонные конструкции в них могут возникнуть и активно протекать коррозионные процессы стальной арматуры, что с течением времени приводит к уменьшению ее площади, изменению деформативно-прочностных характеристик, отслоению защитного слоя бетона и другим негативным последствиям. Как отмечено в работах [1, 2], коррозионные повреждения арматурной стали являются одной из главных причин снижения долговечности железобетона.

Повышение долговечности как вновь изготавливаемых, так и эксплуатируемых армобетонных конструктивных элементов некоторые ученые связывают с применением неметаллической полимеркомпозитной арматуры [3–5], которая обладает высокой стойкостью к воздействиям сульфатов и хлоридов, а также хорошо воспринимает другие средовые и силовые факторы.

Полимеркомпозитную арматуру можно применять для армирования обычных и предварительно напряженных конструкций, эксплуатируемых в средах с различной степенью агрессивного воздействия, подверженных влиянию магнитных волн и др.

В частности такую арматуру уже используют при изготовлении: конструкций сооружений очистных колодцев [6] и химических производств; элементов сооружений систем канализации и водоотведения [7]; дорожного полотна и железнодорожных шпал [8], а также мостовых конструкций; элементов морских и припортовых сооружений; конструкций медицинских учреждений и лабораторий с высокочувствительной

аппаратурой; конструкций сооружений ЛЭП; трансформаторов высокого напряжения. Помимо этого полимеркомпозитная арматура используется в усилении конструкций при реконструкции зданий и сооружений [9, 10].

Основная часть. Широкое практическое применение полимеркомпозитной арматуры сдерживается недостаточной изученностью ее свойств и относительно высокой стоимостью. При этом совершенно очевидно, что ввиду заметной активизации исследовательских работ и наметившейся тенденции снижения стоимости исходных материалов область применения строительных конструкций, армированных композитной арматурой, в ближайшие годы будет расширена.

Целесообразность применения полимеркомпозитной арматуры в несущих строительных конструкциях описывается в публикациях [3, 11–13].

В работе [11] выполнен расчёт количества стеклопластиковой арматуры (СПА) и вязальной проволоки, необходимой для устройства ленточного фундамента. Исходя из анализа сравнения материалов, можно сказать о том, что СПА дешевле и легче аналогов – металлической арматуры. При замене стальной арматуры на СПА, можно сэкономить на 1 погонном метре длины стержней до 10 %. В исследованиях [12] по результатам технико-экономического сравнения дано обоснование применения полимеркомпозитной арматуры в статически неопределимых неразрезных железобетонных балках и плитах в качестве надпорной арматуры при сохранении в пролетных сечениях армирования из стальной арматуры. Сопоставление данных по стоимости

и трудоемкости показало, что вариант с комбинированным армированием балок, позволяет снизить стоимость и трудоемкость на 2,9 % и 25,7 % соответственно, что при больших объемах строительства приведет к весомому экономическому эффекту. Выполненный экономический расчет в работе [3] показал, что замена в конструкциях дорожного строительства и фундаментов металлической арматуры на полимеркомпозитную с использованием стеклянного или базальтового ровинга позволяет снизить затраты до 25 % на 1 м³ бетона. Таким образом, применение полимеркомпозитной арматуры может не только повысить коррозионную стойкость строительных конструкций, но и снизить стоимость и трудоемкость их изготовления.

На протяжении последних 30–40 лет полимеркомпозитная арматура активно изучается в странах Северной Америки, Европы и Японии, где ее производство и использование закреплено на уровне государственных стандартов и норм проектирования [15].

За рубежом подробно исследовано влияние прочности бетона, а также различных геометрических параметров стеклопластиковых арматурных стержней (диаметра, радиуса загиба, длины прямого и загнутого участка) на прочность их сцепления с бетоном при действии равномерно распределенной статической нагрузки. Результаты экспериментальных исследований, приведенные в [16], подтверждают высокую несущую способность стеклопластиковых арматурных стержней и позволяют рекомендовать их для композитобетонных конструкций.

Начало исследований в области полимеркомпозитных материалов и их использования в нашей стране было положено в 60-х годах двадцатого столетия, когда Советский Союз входил в тройку лидеров по исследованию, производству и применению композитных материалов. Большой вклад в изучение композитных материалов того времени внесли известные в области теории и практики железобетона ученые: Н.И. Ахвердов, О. Я. Берг, А. А. Гвоздев, Н. Г. Литвинов, В. Ф. Набоков, Н.П. Фролов и другие [17].

Однако отсутствие финансирования отраслевой науки после событий 90-х годов, отодвинули дальнейшие исследования этих материалов, сведя производство композитных материалов практически до нуля. В результате, пальма первенства в этом вопросе перешла к западным и североамериканским странам, композитная продукция которых теперь широко представлена [14]. Исследовательские работы были возобновлены около 10-15 лет назад, поэтому в России композитная арматура – относительно новый

строительный материал, масштабное производство и внедрение которого начинает осуществляться только сейчас. При этом проведенные до этого исследования не пропали даром.

В 1975 и 1984 годах стеклопластиковая арматура диаметром 6 мм была применена в строительстве опытных преднапряженных конструкций мостов. Прочность арматуры на растяжение составляла 1200 МПа, однако, учитывая низкий модуль упругости (30–40 ГПа), в поперечном сечении балок располагались стержни из алюмоборсиликатного волокна диаметром 10 мкм, количество связующего не превышало 20 % по массе. В 2006 году сотрудниками НИИЖБ им. Гвоздева было изучено состояние некоторых таких конструкций. Обследование опытных пролетных строений не выявило серьезных нарушений и подтвердило необходимость проведения дальнейших более детальных экспериментов с получением статистических данных по изменению сцепления с бетоном, прочностным и деформативным характеристикам полимеркомпозитной арматуры, в том числе длительной прочности.

Основополагающими отечественными работами при изучении вопросов повышения коррозионной стойкости бетонных конструкций с использованием неметаллической композитной арматуры являются исследования профессора В.Ф. Степановой. Под ее руководством выполнены работы по изготовлению и внедрению конструкций с применением неметаллической арматуры в дорожных конструкциях, фундаментах и ограждающих конструкциях.

В 2012 г. была образована Ассоциация организаций по производству и применению неметаллической арматуры и изделий из нее «Неметаллическая композитная арматура», целью которой является объединить интересы науки, проектных институтов, изготовителей и потребителей такой арматуры. Так, в 2013–2014 гг. с участием Ассоциации выполнены заводские испытания дорожных плит и плит перекрытия, изготовлены и испытаны экспериментальные забивные сваи, армированные СПА, длиной 10 и 12 м. В сотрудничестве с НИИЖБ им. А.А. Гвоздева и ОАО «КТБ ЖБ» выполнены расчеты и забетонированы армированные СПА фундаментные плиты объемом бетона 1250 м³ и 6000 м³ для двух офисных зданий. Кроме того, разработаны ТУ и проведены сертификационные испытания композитной арматуры для ряда предприятий (ООО ТД «ЕвроПластГрупп», ООО ПКФ «Армапласт»).

Теоретические и опытно-промышленные исследования В.Ф. Степановой были заложены при разработке и издании первого основопола-

гающего стандарта ГОСТ 31938-2012 «Арматура композитная полимерная. Общие технические условия». В настоящее время ведутся работы по созданию свода правил по расчету и проектированию конструкций, армированных неметаллической композитной арматурой.

Низкая теплопроводность композитных стержней предопределила их эффективное использование в качестве связей многослойных стеновых конструкций. По результатам сравнительных испытаний трехслойных стеновых панелей на сдвиг слоев относительно друг друга, в которых использованы стеклопластиковые и металлические связи, установлено, что стеклопластиковая арматура обеспечивает требуемый уровень жесткости и прочности, предъявляемый к гибким связям [18].

Особый интерес представляет использование неметаллической арматуры в предварительно напряженных железобетонных конструкциях. В настоящее время применяют в основном три способа напряжения бетонных конструкций со стержневой арматурой: натяжения на упоры, натяжение на бетон и метод непрерывной навивки. При этом наиболее распространенным, как и для железобетонных конструкций, является способ натяжения на упоры. Для этого механическим путем арматуру вытягивают на заданную величину с помощью захватных устройств и закрепляют на бортовые элементы жесткой металлической формы. Во избежание смятия концевых участков арматуры в качестве захватных устройств необходимо использовать специальные анкерные приспособления. После бетонирования, термовлажностной обработки и набором бетоном 70 % прочности усилие обжатия передается на бетон благодаря наличию сцепления арматуры с бетоном [19].

Также полимеркомпозитная арматура может быть эффективно использована и для армирования ненапрягаемых конструкций, так как при той же величине модуля упругости ее прочность может колебаться в широких пределах. Для изготовления ненапрягаемой композитной арматуры могут быть использованы менее дефицитные, дешевые аппретирующие составы и связующие, что наряду с использованием сравнительно дешевого волокна снизит отпускные цены на арматуру.

В работе [20] представлены результаты экспериментальных исследований прочности, трещиностойкости и деформативности изгибаемых элементов, армированных предварительно напряженной стеклопластиковой арматурой.

Установлено, что преднапряженные балки, армированные СПА, имеют меньшую деформативность (до 130 %) по сравнению с балками,

армированными базальтопластиковыми стержнями без предварительного напряжения. В балках при преднапряжении стеклопластиковой арматуры на 250 МПа, значения несущей способности сечений близки к значениям, полученным для образцов со стальной арматурой, а при преднапряжении на 400 МПа соответственно больше до 23 %.

Этим же автором в работе [21] приведены результаты исследований балок, армированных стеклопластиковой и базальтопластиковой арматурой без преднапряжения. Выявлено, что опытные значения разрушающих усилий балок, армированных СПА, превышают теоретическую несущую способность, вычисленную по нормам, в 2,0–3,7 раза, армированных БПА – в 1,5–2,1 раза. Объясняется это использованием избыточных коэффициентов надежности. Занижение расчетного сопротивления композитной арматуры приводит к неточному определению характера разрушения изгибаемых элементов и перearмированию конструкций.

В работах профессора Польского П.П. [22, 23] рассматриваются вопросы, связанные с прочностью и деформативностью изгибаемых железобетонных элементов из тяжелого бетона, в которых стальная арматура полностью или частично заменяется на стержневую стеклопластиковую и углепластиковую.

Установлено, что прочность нормальных сечений таких балок на 13–22 % ниже, а деформативность более чем в 2,5 раза выше по сравнению с обычными железобетонными.

Опытные прогибы балок с комбинированным армированием находятся в прямой зависимости от количества композитной арматуры. Так, стеклопластиковая арматура сечением менее 30 % от общей ее площади, практически не влияет на увеличение прогибов. При изменении процента композитного армирования в большую сторону прогибы балок резко возрастают.

При этом по утверждению Польского П.П., действующая расчетная база железобетонных конструкций существенно завышает несущую способность нормальных сечений балок пропорционально проценту замещения стальной арматуры на композитную, что противоречит исследованиям [20, 21]. Поэтому, существующий расчетный аппарат требует серьезной корректировки.

Анализ результатов большого количества экспериментальных исследований изгибаемых бетонных элементов с полимеркомпозитной арматурой без предварительного напряжения показывает, что доминирующим фактором при определении несущей способности нормальных сечений балок является не прочность неметал-

лической арматуры, а более низкий, чем у стали модуль упругости, что должно найти отражение при расчете композитно-армированных балок по второй группе предельных состояний [24].

Расчетная методика для определения прочности, трещиностойкости и деформативности изгибаемых армобетонных элементов с различным содержанием в растянутой зоне бетона полимеркомпозитной и стальной арматуры представлена в работах [25–27]. Данная методика основана на деформационной расчетной модели изгибаемых железобетонных конструкций с учетом энергетического критерия разрушения бетона [28]. Сопоставление результатов экспериментальных исследований и теоретических расчетов показывает, что предлагаемая методика расчета в целом достаточно хорошо отражает характер деформирования изгибаемых бетонных элементов с полимеркомпозитной арматурой под нагрузкой.

Выводы. Проведенный анализ тематических исследований показал, что бытующее до последних десятилетий мнение о целесообразности использования полимеркомпозитной арматуры лишь в преднапряженных бетонных конструкциях является неверным позиционированием по области применения. Помимо этого, препятствиями для более широкого внедрения полимеркомпозитной арматуры в производство строительных конструкций выступают: отсутствие нормативной методики расчета таких конструкций (здесь за основу может принята экспериментально отработанная методика, предлагаемая авторами указанных выше работ); недостаточно изучен опыт эксплуатации изделий с данной арматурой; отсутствуют требования по ширине раскрытия трещин; не нормированы характеристики сцепления арматуры с бетоном и не оптимизирован ее поверхностный слой; нет единой методики по определению механических свойств арматуры; не оптимизирована технология изготовления арматуры. Весьма существенным недостатком композитобетонных конструкций является их малая огнестойкость.

Необходимы дополнительные исследования, направленные на решение затронутых в данной работе проблем и на обоснование более интенсивного применения арматуры на основе волокна и полимерного связующего в бетонных конструкциях, что позволит добиться оптимальных технико-экономических результатов при проектировании конструкций рассматриваемого типа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смоляго Г.А., Дронов В.И., Дронов А.В., Меркулов С.И. Изучение влияния дефектов железобетонных конструкций на развитие коррозионных процессов арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 12. С. 25–27.
2. Смоляго Г.А., Дронов А.В. Исследование и анализ процессов коррозии стальной арматуры железобетонных конструкций под действием агрессивной среды // Бетон и железобетон - взгляд в будущее. Научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: в 7 томах. 2014. С. 415–420.
3. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю. Неметаллическая композитная арматура для бетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 1. С. 45–47.
4. Римшин В.И., Меркулов С.И. Элементы теории развития бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 5. С. 38–42.
5. Римшин В.И., Меркулов С.И. О Нормировании характеристик стержневой неметаллической композитной арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 5. С. 22–26.
6. Гриценко М.Ю., Щуцкий В.Л. Применение композитной арматуры: перспективы внедрения // Новое слово в науке: перспективы развития: сборник материалов II международной научно-практической конференции. Чебоксары, 2014. С. 68–69.
7. Барабанщиков Ю.Г., Беляева С.В. Стеклопластиковая арматура для гидротехнического строительства // Труды СПбГТУ № 502. Строительство. К 100-летию Инженерно-строительного факультета. Санкт-Петербург, 2007. С. 202–210.
8. Бондарев Б.А., Сапрыкин Р.Ю., Бондарев А.Б. Стеклопластиковая арматура в элементах конструкций лесовозных железных дорог // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 3-4 (8-4). С. 286–289.
9. Есипов С.М. Усиление железобетонных колонн внешним армированием из композиционных материалов // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. Материалы Международных академических чтений. 2014. С. 191–199.
10. Есипов С.М. Композитные материалы для усиления строительных конструкций // Образование, наука, производство. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 2475–2479.
11. Птухина И.С., Туркебаев А.Б., Тлеуханов Д.С. [и др.] Эффективность использования

инновационных композитных материалов в строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 9 (24). С. 84–96.

12. Рахронов А.Д., Соловьев Н.П. Предложения по применению композитной арматуры в каркасах зданий // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2013. № 5. С. 69–74.

13. Уманский А.М., Беккер А.Т. Перспективы применения композитной арматуры // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2012. № 2. С. 7–13.

14. Фролов Н.В. Современная классификация полимеркомпозитной арматуры // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4-1. С. 154–157.

15. Теплова Ж.С., Киски С.С., Стрижкова Я.Н. Стеклопластиковая арматура для армирования бетонных конструкций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 9. С. 49–70.

16. Малбиев С.А., Горшков В.К., Разговоров П.Б. Полимеры в строительстве: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2008. 456 с.

17. Кустикова Ю.О., Римшин В.И. Напряженно-деформированное состояние базальтопластиковой арматуры в железобетонных конструкциях // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 6. С. 6–9.

18. Грановский А.В., Хактаев С.С. Применение стеклопластиковой арматуры в качестве гибких связей в трехслойных стеновых панелях // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 10. С. 84–87.

19. Дронов А.В., Дрокин С.В., Фролов Н.В. Экспериментальное исследование сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 11. С. 80–83.

20. Антаков А.Б., Антаков И.А., Гиздатуллин А.Р. Экспериментальное исследование изгибаемых элементов с предварительно напряженной полимеркомпозитной арматурой // Новое в архитектуре, проектирование строительных конструкций и реконструкции: материалы VIII Всероссийской (II Международной) конференции НАСКР-2014. Изд-во Чуваш. ун-та, г. Чебоксары. 2014. С. 69–75.

21. Антаков А.Б., Антаков И.А. Экспериментальные исследования изгибаемых элемен-

тов с полимеркомпозитной арматурой // Известия КГАСУ. 2014. № 3 (29). С. 7–13.

22. Польской П.П., Мерват Х., Михуб А. О влиянии стеклопластиковой арматуры на прочность нормальных сечений изгибаемых элементов из тяжелого бетона [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 23. № 4. Ч.2. Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1304> (дата обращения: 06.05.2015).

23. Хишмах М., Маилян Д.Р., Польской П.П., Блягоз А.М. Прочность и деформативность изгибаемых элементов из тяжёлого бетона, армированных стеклопластиковой и стальной арматурой // Новые технологии. 2012. № 4. С. 147–152.

24. Смоляго Г.А., Фролов Н.В. Применение полимеркомпозитной арматуры в изгибаемых армобетонных конструкциях // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. Материалы Международных академических чтений. Курский государственный университет. 2015. С. 198–203.

25. Фролов Н.В., Никулин А.И. Альтернативное армирование изгибаемых железобетонных элементов с применением композитной арматуры // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. Материалы Международных академических чтений. 2014. С. 155–163.

26. Никулин А.И., Фролов Н.В., Никулина Ю.А. Трещиностойкость изгибаемых железобетонных элементов с учетом использования в растянутой зоне различных сочетаний стальной и стеклопластиковой арматуры // Бетон и железобетон. 2015. № 3. С. 18–23.

27. Фролов Н.В., Никулин А.И. Альтернативное армирование изгибаемых железобетонных элементов композитной арматурой с учетом деформативности // Современные строительные материалы, технологии и конструкции. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова. 2015. С. 342–347.

28. Никулин А.И. Энергетический подход к трансформированию эталонных диаграмм сжатия бетона // Бетон и железобетон. 2013. № 5. С. 12–14.

Frolov N.V., Poloz M.A., Nouruzi M.Sh.

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF COMPOSITE POLYMER REINFORCEMENT IN REINFORCED CONCRETE DESIGNS

The article reviewed the experience with the application of non-metallic composite polymer reinforcement in reinforced concrete structures. It is revealed, that in Russia composite polymer reinforcement is a relatively

new building material, large-scale production and implementation of which begins to be just now. The analysis showed that the perception of usefulness of composite polymer reinforcement only in prestressed reinforced concrete constructions is incorrect positioning on the field of application. In bringing together the interests of researchers, design institutes, manufacturers and consumers composite polymer reinforcement importance of Association of organizations for the production and application of non-metallic reinforcement and products «Non-metallic composite reinforcement».

Key words: *composite polymer reinforcement, reinforced concrete design, analysis, research, aggressive environment.*

Фролов Николай Викторович, старший преподаватель кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: frolov_pgs@mail.ru

Полоз Максим Александрович, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: max.ploz@inbox.ru

Ноурузи Мохаммад Шоджа, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: shoja446@gmail.com