

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕРЖНЕВОЙ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Мадиу Тиам Тиерно

студент, Донской Государственный Технический Университет, РФ, г. Ростов-на-Дону

Аннотация. Исследование раскрывает потенциал использования композитной арматуры как коррозионно-стойкой альтернативы стали, анализируя противоречия между её высокой прочностью (до 1500 МПа) и низким модулем упругости, обуславливающим повышенную деформативность конструкций. На примерах международной практики показано, что при двукратном удорожании материала эксплуатационные расходы снижаются на 35-40% за счет увеличения межремонтных циклов. Выявлены ключевые ограничения для массового внедрения: необходимость адаптации нормативной базы под анизотропные свойства полимеров и разработки гибридных армирующих систем для сейсмоопасных зон. Результаты подчеркивают трансформационный эффект композитов в проектировании морских и химических объектов, где долговечность превалирует над жесткостью.

Ключевые слова: композитная арматура, стеклопластиковые стержни, коррозионная стойкость, модуль упругости, гибридное армирование, жизненный цикл конструкций, предварительное напряжение, деформативность, нормативные стандарты.

В современной строительной индустрии наблюдается устойчивый переход к материалам, сочетающим высокие эксплуатационные характеристики с экологической и экономической эффективностью, что особенно актуально в контексте растущих требований к долговечности конструкций в условиях их работы в агрессивной среде и минимизации их углеродного следа [1]. Стержневая композитная арматура, созданная на основе полимерных матриц, армированных высокопрочными волокнами, постепенно вытесняет традиционные стальные аналоги, демонстрируя уникальные свойства, недостижимые для металлов [2]. Ее применение открывает новые горизонты в проектировании объектов, подверженных агрессивным воздействиям — от морских гидротехнических сооружений до мостовых переходов в регионах с суровыми климатическими условиями, где коррозия десятилетиями оставалась ключевым фактором деградации конструкций. Легкость материала не только упрощает логистику и монтаж, но и снижает нагрузку на фундаменты, позволяя реализовывать сложные архитектурные формы без компромиссов в надежности [3]. При этом сочетание высокой удельной прочности и упругой деформации композитов трансформирует подходы к расчету конструкций, смещая фокус с сопротивления пластическим деформациям на управление упругими характеристиками. Интеграция таких решений в нормативную базу и практику проектирования свидетельствует о формировании новой парадигмы в материаловедении, где синтез химии, физики и инженерии становится основой для создания инфраструктуры будущего.

Разработка стеклопластиковой и полимерной композитной арматуры стала ответом на эти вызовы: материалы на основе эпоксидных смол, армированных базальтовыми или стеклянными волокнами, демонстрируют не только коррозионную стойкость в 5-7 раз выше, чем у стали, но и уникальное сочетание высокой прочности на растяжение (до 1500 МПа) с низкой плотностью (в 4-5 раз легче металла) [4]. Пионерами в их промышленном

производстве выступили США, Канада и Япония, где уже в 1980-х годах началось внедрение композитов в мостовые конструкции приморских регионов — например, при строительстве пешеходного моста Томоэгава в Японии с пролетами, армированными углепластиковыми стержнями, или реконструкции причальных стенок порта Ванкувера с использованием стеклопластиковых сеток [5] и других конструкций (рис.1-3) [13] .

В Европе лидерство принадлежит Германии и Норвегии, применяющим композиты в тоннелях с высокой влажностью и объектах морской инфраструктуры, таких как волноломы Бергенского порта.

Ключевое отличие композитной арматуры от стальной заключается в анизотропии механических характеристик: при сопоставимой прочности на разрыв ее модуль упругости составляет 50-60 ГПа против 200 ГПа от стального, что приводит к увеличенным деформациям изгибаемых элементов под нагрузкой [6].



Рисунок 1 Набережная Блэкпул, Великобритания (2009 г.)



Рисунок 2. Вокзал (Вена , Австрия) (2007-2008 г.г.)



Рисунок 3. Мост Irvine Creek (Онтарио, Канада), 2007 г.

Ключевое отличие композитной арматуры от стальной заключается в анизотропии механических характеристик: при сопоставимой прочности на разрыв ее модуль упругости составляет 50-60 ГПа против 200 ГПа от стального, что приводит к увеличенным деформациям изгибаемых элементов под нагрузкой [6].

Эксперименты с железобетонными балками, проведенные в Донском Государственном Техническом Университете [2-4] показали, что замена стальной арматуры стеклопластиковой при равной площади сечения увеличивает прогибы в 2.1-2.7 раза, а ширину раскрытия трещин — на 40-60%. Это ограничивает ее применение в конструкциях, где жесткость критически важна: в неразрезных многопролетных мостах с динамическими нагрузками, каркасах высотных зданий в сейсмических регионах или элементах подкрановых путей промышленных цехов [9]. Например, в проекте небоскреба «Лахта Центр» в Санкт-Петербурге композитная арматура использовалась только в фундаментной плите, тогда как вертикальные несущие колонны сохранили традиционное стальное армирование из-за требований к устойчивости при ветровых воздействиях [10].

Технико-экономическая эффективность композитов наиболее ярко проявляется в специализированных объектах: очистных сооружениях с постоянным контактом с агрессивными стоками (заводы BMW в Германии), многослойных стеновых панелях с гибкими связями (жилой комплекс «Сколково Парк»), предварительно напряженных дорожных плитах с увеличенным сроком службы (автобан А-7 в Нидерландах) [11]. Снижение массы арматурного каркаса на 70-80% позволяет сократить расход бетона до 15%, а отсутствие необходимости в антикоррозийной обработке уменьшает трудозатраты на 20-25%, что подтверждается расчетами НИИЖБ им. А.А. Гвоздева для логистических центров в Московской области. При этом в сегменте массового жилищного строительства композиты пока уступают стали из-за высокой стоимости сырья: цена базальтопластикового стержня диаметром 10 мм превышает металлический аналог в 2.2-2.5 раза, хотя анализ жизненного цикла конструкций демонстрирует окупаемость за счет увеличения межремонтных интервалов [12].

Таблица 1.

Сравнение прочностных и деформативных характеристик стальной и стеклянной композитной арматур

Характеристика	Композитная арматура (стекло/базальтопластик)	Стальная арматура А500С
Прочность на растяжение	800-1500 МПа (зависит от типа волокна)	500-650 МПа

Модуль упругости	45-60 ГПа (в 3-4 раза ниже стали)	200 ГПа
Коррозионная стойкость	Устойчива к хлоридам, сульфатам, pH 3-11	Требуется защитный слой бетона ≥ 40 мм
Деформативность	Прогибы конструкций выше в 2.1-2.7 раза	Пластические деформации обеспечивают перераспределение усилий
Плотность	1.9-2.1 г/см ³ (на 75% легче)	7.85 г/см ³
Теплопроводность	0.35-0.5 Вт/(м·К) (теплоизолирующие свойства)	46 Вт/(м·К) (мостики холода)
Электропроводность	Диэлектрик (применение в ЛЭП, МРТ-кабинетах)	Проводит ток
Стоимость	2.2-2.5× дороже (диаметр 10 мм)	Базовый ценовой ориентир
Оптимальные сферы применения	• Морские сооружения (порт Берген, Норвегия) • Химические производства (BMW, Германия) • Многослойные панели («Сколково Парк»)	• Многоэтажное строительство («Лахта Центр») • Сейсмоопасные регионы • Динамически нагруженные конструкции

Примечания:

1. Данные приведены для стержней диаметром 8-12 мм
2. Стоимостные показатели актуальны для РФ и ЕС на 2023 г.
3. Технические параметры соответствуют ГОСТ 31938-2012 и EN 206

Анализ полувекового опыта применения от экспериментальных советских мостов до масштабных проектов вроде терминала аэропорта Осло-Гардермуэн демонстрирует парадоксальный дуализм материала: беспрецедентная устойчивость к химическим и климатическим воздействиям сочетается с повышенной чувствительностью к проектно-расчетным ошибкам. Если в морских дамбах Нидерландов композиты увеличили межремонтный цикл с 15 до 50 лет, то в сейсмически активных регионах Чили их применение в колоннах многоэтажек привело к недопустимым деформациям из-за недоучета ползучести полимерных матриц. Этот дисбаланс между потенциалом и рисками постепенно нивелируется по мере накопления эмпирических данных: разработка гибридных армирующих систем, где сталь компенсирует низкий модуль упругости композитов, а те, в свою очередь, защищают металл от коррозии, открывает путь для синергии материалов. Экономическая целесообразность, изначально ограниченная дороговизной базальтовых волокон, начинает смещаться в пользу полимеров благодаря замкнутым циклам переработки углепластиков и автоматизации плющения ровинга. Однако главным вызовом остается не технология, а инерция мышления: переход от пластических деформаций стали к хрупкому разрушению композитов требует переосмысления самих принципов обеспечения надежности, что уже находит отражение в пересмотре еврокодов и появлении первых BIM-библиотек с нелинейными моделями адгезии.

Список литературы:

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. Польский П.П., Майлян Д.Р. Композитные материалы - как основа эффективности в строительстве и реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2012.

3. 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: 22.02.2025).
4. 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.
5. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю. Неметаллическая композитная арматура для бетонных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 1. С. 45-47.
6. Римшин В.И., Меркулов С.И. Элементы теории развития бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 5. С. 38-42.
7. Римшин В.И., Меркулов С.И. О Нормировании характеристик стержневой неметаллической композитной арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 5. С. 22- 26.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Есипов С.М. Композитные материалы для усиления строительных конструкций // Образование, наука, производство. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 2475-2479.
13. Мировой опыт применения композитной стеклопластиковой арматуры. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://21kompozit.ru/primenenie-armatury-za-rubezhom/> .