

## Усиление железобетонных конструкций с применением полимерных КОМПОЗИТОВ

*К.т.н., доцент ГОУ ВИТУ Д.В. Курлапов\*, инженер ГОУ ВИТУ А.С. Куваев  
инженер ГОУ ВИТУ А.В. Родионов, инженер ГОУ ВИТУ Р.М. Валеев*

Анализ строительного рынка в последнее время показывает, что с увеличением роста возведения новых зданий и сооружений происходит и увеличение объема ремонтных работ. В работах по восстановлению эксплуатационных характеристик нуждаются как обычные жилые дома, административные и торгово-развлекательные здания, так и уникальные сооружения, к которым относятся и памятники архитектуры. Например, в настоящее время в индустриально развитых странах инвестиции в новое строительство и ремонт уже существующих зданий и сооружений практически сравнялись [1].

Необходимость усиления железобетонных строительных конструкций возникает как в результате реконструкции и технического перевооружения объектов, так и вследствие физического износа, вызванного различными факторами, такими как коррозия материалов, нарушение условий эксплуатации, некачественное изготовление конструкций, воздействие агрессивной среды, нарушение правил технологии производства, сверхнормативное воздействие [2]. В свою очередь, все эти факторы приводят к уменьшению несущей способности элементов сооружения и, как следствие, к снижению их надежности и способности обеспечивать безопасность эксплуатации строительного объекта.

Капитальный ремонт и усиление железобетонных конструкций невозможно проводить без тщательной диагностики существующего сооружения или его отдельных узлов, выполнения предварительного и детального обследования [1, 2]. Выполнение диагностики и технического обследования необходимо для определения реальных геометрических параметров конструкции, фактических свойств ее материалов и их распределения по сечению. Диагностика железобетонных конструкций позволяет не только выявить степень ее износа, но и определить причины этого явления. Все это возможно выполнить с помощью современных приборов для диагностики и неразрушающего контроля строительных материалов и конструкций.

На современном этапе развития науки и техники ведущей концепцией повышения надежности строительных конструкций является системный подход. Он охватывает весь жизненный цикл любого инженерного сооружения: проектирование, строительство, эксплуатация, включая мониторинг его текущего состояния, проведение диагностических исследований перед усилением, выполнение проектных работ по ремонту, собственно технологические операции по ремонту и усилению с последующим контролем качества выполненных работ [2].

Таким образом, возрастающая потребность в ремонтных работах (зачастую связанных с восстановлением первоначальной несущей способности конструкций или их усилением), увеличение трудоемкости и стоимости таких работ приводят к необходимости разработки новых технологий ремонта и применения современных материалов.

Многие годы основными способами усиления железобетонных конструкций являлись увеличение их сечения за счет присоединения к ним дополнительных элементов, разгрузка конструкций, постановка дублирующих элементов, изменение расчетных и геометрических схем конструкций, введение затяжек, шпренгелей, использование предварительно напряженных наружных прядей, применение методов инъецирования, торкретирования, тампонажа и другие. Несмотря на все существенные достоинства, традиционные способы не лишены недостатков. К ним можно отнести большой собственный вес конструкций усиления, значительную трудоемкость, технологическую сложность монтажа усиливающих элементов, необходимость применения дополнительного громоздкого оборудования, практическую невозможность в ряде случаев усиления не прямых поверхностей, высокие требования по безопасности производства работ, большую продолжительность выполнения работ по усилению, которая приводит к остановке эксплуатации объекта на длительный срок и финансовым потерям.

Вместе с тем, в течение многих десятилетий в аэрокосмической и авиационной промышленности применялись композиционные материалы, армированные углеродным, арамидным, полиэфирным и стекловолокнами. Их несомненными достоинствами являются высокие прочность на растяжение и модуль упругости, малый вес, технологичность, невосприимчивость к агрессивным внешним факторам, способность повторять практически любые формы конструкции, выносливость и другие факторы. Особыми преимуществами композиционных материалов, по сравнению с традиционными способами, являются также легкость транспортировки и изготовления усиливающих элементов необходимых размеров на месте выполнения работ, возможность усиления поверхностей с различной кривизной, непрерывность эксплуатации сооружения во время проведения работ по усилению.

Композиты для внешнего армирования дорогостоящие, но в ряде случаев они просто не имеют альтернативы – по показателям прочности и сопротивления усталости. Например, углеволокно по этим характеристикам в два раза превосходит сталь. Усиление рядовых конструкций с применением технологии внешнего армирования должно быть обосновано экономически.

Фиброармированный пластик – высокопрочный, линейно упругий материал – как основа для внешнего армирования железобетонных конструкций является альтернативным вариантом стальным элементам усиления. Для ремонта железобетонных конструкций обычно применяются элементы в виде лент и холстов. Однако в последние годы помимо холстов и полос из композиционных материалов изготавливают также гладкую и рифленую арматуру, проволоку, канаты, пряжи, каркасы и оболочки. Эти виды композиционных материалов в основном используют при новом строительстве.

Физико-механические свойства композиционных материалов определяются типом и количеством применяемых волокон; их ориентацией и распределением в поперечном сечении ленты, а также объемным соотношением волокон и отверждающего полимера в композите. Механические характеристики, применяемых в строительстве волокон композиционных материалов приведены в табл. 1 [3].

**Таблица 1. Физико-механические свойства некоторых типов волокон**

Тип фибры	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, ГПа	Деформация удлинения, %	Плотность, т/м <sup>3</sup>
Углерод высокопрочный	3400 – 3900	200 – 250	1,5 – 2,5	1,75 – 1,95
Углерод высокомодульный	2900 – 4000	300 – 700	0,45 – 1,2	1,75 – 1,95
Арамид высокопрочный	3500	75	4,6	1,4
Арамид высокомодульный	2900	110	1,5 – 2,4	1,4
Стекло (тип А) щелочестойкое	21 – 74	3000 – 3500	2,0 – 4,3	2700
Стекло (тип С) высокопрочное	75 – 88	4300 – 4900	4,2 – 5,4	2500
Стекло (тип Е) универсальное	21 – 74	3400 – 3700	3,3 – 4,8	2600

Коэффициент линейного температурного расширения (к.л.т.р.) композиционных материалов также зависит от типа волокна, смолы и объемного содержания фибры. К.л.т.р. для армирующих композиционных материалов в продольном и поперечном направлениях представлены в табл. 2 [3].

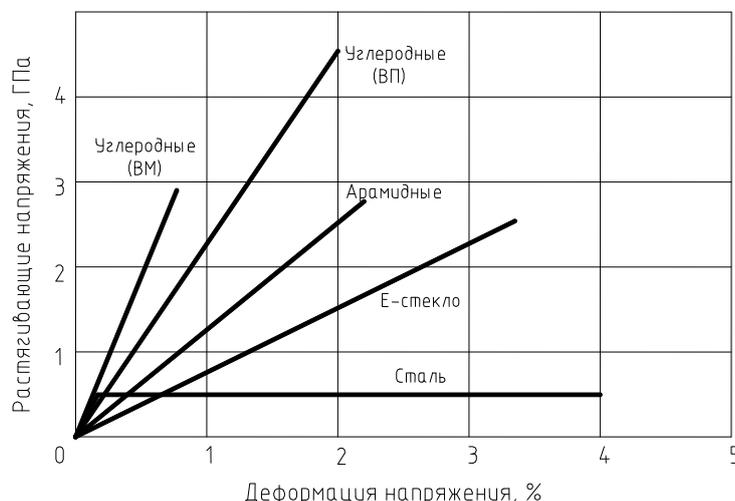
**Таблица 2. Коэффициенты температурного расширения армирующих композиционных материалов**

Направление / Армирующий материал	Стекловолокно, к.л.т.р., 10 <sup>-6</sup> /°С	Углеродное волокно, к.л.т.р., 10 <sup>-6</sup> /°С	Арамидное волокно, к.л.т.р., 10 <sup>-6</sup> /°С
Продольное, $\alpha_L$	6–10	от -1 до 0	от -6 до -2
Поперечное, $\alpha_T$	19–23	22–50	60 – 80

Все приведенные в таблице типы фибры имеют линейную диаграмму «напряжение-деформация» вплоть до разрушения без какой-либо пластической зоны (рис.1).

Наибольшее распространение в строительстве на сегодняшний день получили стеклопластики, как наиболее дешевые композиционные материалы. Главный недостаток стеклянных волокон – сравнительно большая плотность и низкий модуль упругости.

Близкие по природе стеклянным базальтовые волокна, сырьем для которых является очень дешевый природный минерал, имеют похожие, но, к сожалению,



**Рисунок 1. Диаграмма растяжения  $\sigma$ - $\epsilon$**

часто нестабильные свойства.

Следующий тип армирующих волокон – углеродные – был создан для преодоления таких недостатков стеклянных волокон, как низкий модуль упругости и большая плотность. В качестве сырья для получения углеродных волокон обычно используют полимерные полиакрилонитрильные или вискозные волокна. Специальная многостадийная термическая обработка полимерных волокон при высоких температурах (2000°C и выше) приводит к карбонизации и графитизации волокна, в результате чего конечное волокно состоит только из углерода и имеет различную структуру и свойства в зависимости от режима термообработки и структуры исходного сырья.

Углеродные волокна непрерывно совершенствуются, повышается их прочность и жесткость, увеличивается ассортимент. Один из перспективных путей снижения цены таких волокон – использование нефтяных и других пеков (тяжелых полиароматических соединений) в качестве исходного сырья. Углеродные волокна и композиты из них имеют глубокий черный цвет и хорошо проводят электричество, что определяет и ограничивает области их применения.

При усилении сжатых элементов традиционными способами специалисты сталкиваются с проблемой включения в работу стальных обоев, монтируемых на конструкцию. Для обеспечения совместной работы стальной обоей и усиливаемого столба, как правило, пытаются создать в обоей начальные усилия путем нагрева хомутов и применения расширяющихся растворов. Технически это осуществимо, но достаточно трудоемко. Обои из углеродного волокна (углеродного холста) являются эффективной альтернативой стальным обоям, поскольку их включение в работу усиливаемого элемента обеспечивается просто во время монтажа холста на усиливаемый элемент через клеевой слой.

Применение элементов внешнего армирования из углеродного волокна позволяет в широких пределах регулировать усилия в каменной конструкции, минимально нарушая её целостность. Это в полной мере касается конструкций реконструируемых и реставрируемых зданий.

Отдельный вопрос – это усиление каменных стен, поврежденных в результате просадок фундаментов или имеющих отверстия в виде технологических, дверных, оконных проемов. Традиционным решением при усилении подобных конструкций является установка стальных скоб и стальных профилей через анкерное крепление на стене в отдельных точках с последующей зачеканкой расширяющимися растворами. Применение элементов внешнего армирования из углеродного волокна для усиления перечисленных конструкций позволяет избежать установки точечных анкеров, вовлечь больший объем материала в работу отдельного элемента, реализовать имеющиеся резервы конструкции, при этом бережно отнестись к неповрежденным участкам.

Перспективной областью применения элементов внешнего армирования из углеродного волокна являются предварительно напряженные элементы. Предварительное напряжение элементов внешнего армирования значительно повышает его эффективность и сферы его применения.

Натяжение производится гидродомкратами с использованием специальных захватов и анкерных устройств. При натяжении элементов внешнего армирования из углеродного волокна с его последующим закреплением на конструкции достигается не только повышение несущей способности, но также повышение жесткости и трещиностойкости усиливаемого элемента.

## Литература

1. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами. М., 2007.
2. Гроздов В.Т., Татаренко В.Н. Реконструкция зданий и сооружений, техническое обследование, испытание и усиление строительных конструкций. СПб., 2004.
3. Чернявский В.Л., Хаятин Ю.Г., Аксельрод Е.З., Клевцов В.А., Фаткуллин Н.В. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. М., 2006.
4. Берлин А.А. Современные полимерные композиционные материалы (ПКМ) // Соросовский образовательный журнал. №1, 1995. С. 57-65.

*\*Дмитрий Валерьевич Курлапов, Военный инженерно-технический университет*

*Тел. моб.: +7(921)746-96-34*