

УСИЛЕНИЕ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ КОМПОЗИТНЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

С.В. Шевченко

Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, 220030, г. Минск, Беларусь, tshevchenko62@bntu.by

Представлены примеры усиления железобетонных балок пролётных строений мостов и путепроводов углеродными ламелями. В современном мостостроении полимерные материалы часто применяются в сочетании с традиционными материалами: сталью, железобетоном. В этой связи возникает важный вопрос о наиболее эффективном сочетании этих материалов.

Многолетняя практика эксплуатации железобетонных зданий и сооружений во всем мире показала, что расходы на ремонт и реконструкцию современных объектов из железобетона за последние два десятилетия значительно возросли. Это, в частности, объясняется значительным усложнением условий эксплуатации сооружений за счет постоянного возрастания рабочих нагрузок на железобетонные конструкции, с одной стороны, и загрязнения окружающей среды – с другой. Этим отрицательным факторам особенно подвергаются мостовые конструкции. Существенное увеличение грузоподъемности автомобильного транспорта, общего объема транспортировки, интенсивное применение антиобледенителей различного типа, а также агрессивность естественных природных условий (таких, к примеру, как многократный переход температуры в течение суток через нулевую отметку, привели в лучшем случае к сокращению сроков межремонтной эксплуатации мостовых конструкций, а в худшем – к моральному износу и снижению грузоподъемности отдельных мостов.

При капитальном ремонте автодорожного путепровода над железнодорожными путями у вокзала г. Барановичи производилось усиление железобетонных балок углеродными ламелями.

Ключевые слова: примеры усиления железобетонных балок, композитные материалы, углеродные ламели, полимерные материалы.

В последнее время в мостостроении находит применение высокопрочное волокно, в том числе из графита, арамида, стекла и полимерных соединений на основе тяжелых эфиров. К сожалению, высокая прочность достигается за счет высокой стоимости, поэтому попытки найти достойную замену стали пока остаются безуспешными. Во всех случаях успешного применения таких материалов используется прежде всего меньший вес, что упрощает монтаж элементов и дает ряд других преимуществ.

Полимерные и композитные конструкции находят все более широкое применение при сооружении мостов. В автодорожных мостах композиты чаще всего применяются при сооружении проезжей части или других элементов.

В настоящее время в ряде случаев из композитных материалов изготавливаются целые мосты, а не только их элементы.

Во всех странах стремятся справиться с обостряющейся проблемой разрушения мостов, сопровождаемой и усложняемой истощением технических ресурсов, бюджетными расходами и трудозатратами. Доля мостов на автодорогах Республики Беларусь, определяемых как дефектные, достигает 50%. Одним из средств решения этой проблемы может быть разработка и применение композитов.

Композиционные материалы обладают рядом свойств, которые стимулируют их применение в мостостроении [1]:

- высокая удельная прочность (отношение прочности к плотности) по сравнению с железобетоном и металлом позволяет создавать более легкие конструкции, обеспечивая снижение материалоёмкости, а значит, и собственного веса и нагрузки на фундаменты и основания и тем самым уменьшение трудоемкости работ по возведению и фундаментов, и самих сооружений, железобетоном. В результате обеспечивается также возможность перевозки большого количества сооружений, а также снижается или исключается потребность в тяжелой грузоподъемной технике; в результате все эти факторы приводят к сокращению сроков строительства;

- значительная сопротивляемость воздействию агрессивных эксплуатационных средств (коррозионная стойкость) позволяет уменьшить расходы на эксплуатацию конструкций и антикоррозионные работы и продлить срок службы мостовых сооружений из композиционных материалов до 80-100 лет.

- высокая усталостная прочность;

- очень низкий коэффициент линейного температурного расширения в направлении волокон.

В современном мостостроении полимерные материалы часто применяются в сочетании с традиционными материалами: сталью, железобетоном. В этой связи возникает важный вопрос о наиболее эффективном сочетании этих материалов.

Необходимо обратить особое внимание на то, что композиционные материалы обладают выраженной анизотропией, то есть наиболее эффективно работают на растяжение. Несмотря на это, полимеры могут применяться и в элементах, работающих на сжатие. В таком случае наиболее целесообразно применять их не в виде традиционных массивных элементов, а в виде тонкостенных оболочек в сочетании с традиционными материалами.

Учитывая вышесказанное, необходимо заметить, что мостовые конструкции из композиционных материалов нельзя проектировать по тем же самым методикам, что и стальные или железобетонные конструкции. Необходимо разрабатывать новые подходы к проектированию и расчету.

Композитные материалы предлагают создателям строительных конструкций такое сочетание свойств, которое не может предложить ни один другой материал. Тросы, выполненные из композитных материалов, можно использовать в качестве подвесок в мостах висячей конструкции, вант в вантовых мостах и тросов для постнапряжения. К достоинствам материала относятся:

- устойчивость против обычной коррозии и так называемой коррозии напряжения;

- простота обработки;

- малая подверженность усталости;

- несмотря на высокую начальную стоимость, материал экономически эффективен при длительном сроке службы конструкции.

Применение при постнапряжении полос из современных композитных материалов вместо металлических пластин позволяет получить экономическую выгоду благодаря следующим их особенностям:

- отпадает необходимость в антикоррозионных мероприятиях;

- появляется возможность поднятия элементов на сооружение без дорогостоящих подмостей (1 кг армированных графитовым волокном полимерных полос по прочности эквивалентен 30 кг металлических пластин);

- в отличие от металлических пластин их не надо держать прижатыми к сооружению во время схватывания клея: они находятся в рулоне наподобие обоев;

- полосы из армированных графитовым волокном полимерных материалов (АГВПМ), намотанные на барабаны, имеют «бесконечную» длину, поэтому швы исключаются;

- в отличие от стальных пластин под воздействием сжимающих усилий полосы из АГВПМ не ослабевают, а, наоборот, увеличивают прочность конструкции на изгиб и срез, уменьшая деформации и трещинообразование;

- они наименьшим образом мешают нормальной эксплуатации моста и не уменьшают его высотного габарита;
- для их укладки требуется меньше времени и трудозатрат по сравнению с другими способами, например, с внешним постнапряжением.

Углеродные волокна – идеальные конструкционные материалы. Эти элементы, включая углерод, образуют сильные, устойчивые связи на атомном уровне. Материалы, скрепленные такими связями, являются жесткими, прочными и стойкими ко многим типам химически агрессивных сред до сравнительно высоких температур. Кроме того, у них низкая плотность и исходные материалы доступны почти в любых количествах.

Углеродные волокна известны с прошлого века. Томас Эдисон в своей первой электролампе использовал углеродные нити, выполненные из бамбуковых волокон.

Углеродные волокна изготавливаются путём экструзии полимера в непрерывную нить. Нить проходит укрепляющую обработку и в воздухе при температуре 200-350⁰С, после чего следует её термообработка (карбонизация) при температуре 350-1600⁰С в атмосфере инертного газа для удаления H, O, N и других лишних элементов. Механические свойства полученных волокон можно изменить последующей термообработкой при температуре, обычно достигающей 1300-3000⁰С.

Товарные углеродистые волокна с модулем упругости около 230 ГПа имеют высокую прочность. У волокон с высоким модулем его значения составляют 480-700 ГПа.

Многолетняя практика эксплуатации железобетонных зданий и сооружений во всем мире показала, что расходы на ремонт и реконструкцию современных объектов из железобетона за последние два десятилетия значительно возросли. Это, в частности, объясняется значительным усложнением условий эксплуатации сооружений за счет постоянного возрастания рабочих нагрузок на железобетонные конструкции, с одной стороны, и загрязнения окружающей среды – с другой. Этим отрицательным факторам особенно подвергаются мостовые конструкции. Существенное увеличение грузоподъемности автомобильного транспорта, общего объема транспортировки, интенсивное применение антиобледенителей различного типа, а также агрессивность естественных природных условий (таких, к примеру, как многократный переход температуры в течение суток через нулевую отметку, привели в лучшем случае к сокращению сроков межремонтной эксплуатации мостовых конструкций, а в худшем – к моральному износу и снижению грузоподъемности отдельных мостов.

Практика ремонта мостовых железобетонных конструкций включает применение эффективных традиционных материалов, таких, к примеру, как высокопрочный бетон на основе пуццолановых добавок с прочностью около 90 МПа. Наряду с традиционными способами ремонта в последние годы заметно увеличивается применение в качестве ремонтных перспективных композиционных материалов, представляющих собой различные фиброполимеры на базе стеклянной, углеродной и арамидной фибры, в качестве матрицы для которых используется эпоксидная смола. Высокие прочностные и антикоррозионные свойства этих материалов при весьма малой массе позволяют восстанавливать поврежденные стальные и железобетонные конструкции различных сооружений, доводя их прочностные и деформативные характеристики в некоторых случаях до уровня их проектных значений или значительно улучшая по сравнению с исходным состоянием. Положительным свойством этих материалов также является и их электромагнитная нейтральность, что особенно актуально при ремонте мостовых конструкций. Актуальность применения фиброполимеров многократно возрастает при использовании их для ремонта сооружений, в которых увеличение размеров поперечного сечения конструкций в результате упрочняющих мероприятий весьма нежелательно или просто недопустимо. Использование этих материалов практически не изменяет размеров поперечного сечения конструкций из-за высокого значения отношения их прочности к массе.

С начала 90-х годов в США, Канаде, Японии проводилось изучение возможности использования фиброполимерных композитов взамен стальных пластин, применяемых для наружного упрочнения гибких железобетонных элементов. Изучение долговечности отремонтированных двумя способами (с использованием стальных пластин и фиброуглеродного полимерного композита) балок, эксплуатируемых в обычных атмосферных условиях (без инициирования коррозионных процессов антиобледенительными солями), показало, что:

- во-первых, стальные пластины не имеют достаточного сцепления с бетоном из-за продуктов коррозии, образовавшихся в отдельных зонах поверхности между сталью и адгезивом;

- во-вторых, стальные пластины достаточно тяжелы и поэтому крепление их слишком трудоемко и к тому же требует установки дорогих лесов;

- в-третьих, металлические пластины, подлежащие ремонту, достаточно протяженны, что усложняет проведение ремонтных работ из-за большой массы стали, при этом сварка мелкогабаритных стальных элементов недопустима из-за опасности разрушения адгезива;

- в-четвертых, стальные протяженные элементы весьма чувствительны к прогибам ремонтируемых конструкций и в процессе эксплуатации отслаиваются от бетона в результате прогиба железобетонных конструкций.

Таким образом, несмотря на относительно высокую стоимость фиброуглеродного полимера, сравнение стоимости ремонтных работ с его использованием и использованием стальных пластин показало, что в целом применение фиброуглеродного полимера для ремонта железобетонных конструкций взамен стальных пластин снижает общую стоимость ремонта на 20-30%.

Наиболее широкое применение фиброполимерные материалы пока нашли при ремонте и укреплении гибких железобетонных элементов. Испытания показали, что фиброполимеры могут эффективно использоваться как в виде моно- и полинаправленных пластин, закрепляемых в растянутой зоне железобетонных конструкций, так и в виде обертывающих «простыней» шириной 250 мм из углеродного фиброполимера толщиной 0,167 мм. Прочность при растяжении углеродного фиброполимера составляет 3400 МПа, а относительное удлинение 1,4%.

Использование фиброполимерных листов для ремонта железобетонных конструкций, в отличие от обертывания фиброполимерными «простынями», является относительно знакомой задачей, поскольку фактически представляет собой часть достаточно широко применяемого способа укрепления конструкций посредством приклеивания металлических пластин, известного еще с 1964 г., в то время как непрерывное обертывание железобетонных элементов является новым способом ремонта.

При капитальном ремонте автодорожного путепровода над железнодорожными путями у вокзала г. Барановичи производилось усиление железобетонных балок углеродными ламелями. Пролет балок – 33 м. Работы производились в следующем порядке:

1. Пролетные строения очищались от покрытия, защитного слоя и гидроизоляции. Балки выдомкрачивались.
2. Нижняя часть ребер балок зачищалась и шлифовалась.
3. На балки наклеивались углеродные ламели с помощью двухкомпонентного эпоксидного клея.
4. После высыхания клея поверх балок устраивалась накладная монолитная железобетонная плита, объединенная с пролетным строением с помощью арматурных анкеров. Балки были объединены по плите в неразрезную систему.
5. После устройства мостового полотна домкраты были демонтированы и углеродные ламели были включены в работу всей системы.

Аналогично были усилены балки пролетных строений существующего моста через реку Днепр в г. Орша по улице Бобкова при его капитальном ремонте. Использовалось

предварительное натяжение углеродных ламелей с использованием специальных анкерных устройств.

Применение углеродных ламелей при усилении железобетонных балок пролетных строений показало их эффективность. В ряде случаев, особенно при ремонте дефективных балок пролетами 24-33 м, целесообразнее такое усиление, чем усиление традиционными способами или замена балок на новые.

Литература

1. Дядченко Г.С. Применение полимерных и композитных материалов при строительстве и ремонте пешеходных мостов // Материалы всероссийской научно-технической конференции: Актуальные вопросы строительства. – Саранск. Из-во Мордовского университета. 2003. – с. 74-76.

2. Овчинников И.И. и др. Современные пешеходные мосты: конструкция, строительство, архитектура. – М.: Инфаинженерия, 2020. - 310 с.

УДК 624.012

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЦЕНТРАЛЬНО -СЖАТЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

С.В. Шевченко

Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, 220030, г. Минск, Беларусь, tshevchenko62@bntu.by

Приведен сравнительный анализ методов расчета центрально-сжатых трубобетонных элементов. Для работы сжатого бетона в трубе, он должен иметь нужный состав и быть уложен по соответствующему регламенту. Выполнено сравнение расчётной прочности на сжатие поперечно обжатого бетона в трубе с призмной прочностью бетона. Использовалась методика Росновского которая приводит к увеличению несущей способности бетона в трубе вдвое. Возможно связать предельное сжатие бетона в трубе с соотношением толщины стенки трубы и ее диаметра, а также с прочностью стали трубы и прочностью бетона заполнения. Установлено, что учет работы трубобетона по Еврокодам приводит к увеличению несущей способности трубы на 26%.

Ключевые слова: особенности расчета, предельное состояние прочности, несущая способность, центрально-сжатые элементы.

Сжатый бетон в обойме из стальной трубы может нести нагрузку в 1,5 и более раз больше, чем открытый бетонный элемент. Но для того, чтобы сжатый бетон в трубе заработал должным образом, он должен иметь нужный состав и быть уложен по соответствующему регламенту.

Многочисленные эксперименты проводились по всему миру, в том числе и в СССР. К сожалению, ни во времена СССР, ни в последующие десятилетия, не появились соответствующие мостовые стандарты, регламентирующие расчёт стальных круглых труб, заполненных бетоном.

В ранних работах, например, в работах В.А. Росновского [1] предельное состояние бетона в стальной трубчатой оболочке было связано с текучестью бетона и трубы. В предельном состоянии стальной прокат трубы течет, а бетон обжат с усилием большим, чем призмная прочность бетона:

$$R_{b,tube} = 0,7 \bar{R} + 180 \text{ кг/см}^2$$