

**Тимофеев Д.Р.**

## **УСИЛЕНИЕ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Усиление конструкций транспортных сооружений проводится в тех случаях, когда их грузоподъемность не удовлетворяет нормативным требованиям. Причинами недостаточной грузоподъемности могут быть:

- повреждения конструкций, появившиеся при эксплуатации (включая механические повреждения и коррозию элементов);
  - конструктивное переустройство сооружения, приведшее к увеличению собственного веса конструкций;
  - увеличение нормативных обращающихся нагрузок;
  - ошибки при проектировании и (или) строительстве
- и некоторые другие.

В последние годы получил распространение метод усиления конструкций с применением композиционных материалов (КМ). Этот метод является одним из способов внешнего усиления, когда материалы усиления устанавливаются (наклеиваются) непосредственно на поверхность усиливаемых конструкций. На сегодняшний день усиление КМ рассматривается как альтернатива внешнего усиления конструкций металлом, позволяющая заменить тяжелые стальные пластины легкими композиционными материалами. В мировой практике КМ наиболее широко применяются для усиления железобетонных мостов. При использовании композитов появляется возможность выполнять усиление без разборки существующих конструкций. Кроме того, работы непосредственно по усилению не требуют применения специальной техники и зачастую выполняются без перекрытия движения.

Метод усиления конструкций с помощью КМ имеет свои технические особенности, определяющие возможность применения различных КМ для решения конкретной задачи усиления.

В качестве основного КМ для силового усиления строительных конструкций в настоящее время применяются пластины, изготовленные из полимера - эпоксидной смолы (матрицы), армированного углеродными волокнами. Волокна в матрице сориентированы в одном направлении, что определяет резкую анизотропию свойств материала. Кроме того, для усиления используются полимерные ткани, применяемые как совместно с пластинами, так и независимо. Ткани изготавливаются в трех основных модификациях: с углеродными, стеклянными и арамидными волокнами. Основное применение находят одно- и двухнаправленные ткани с углеродными волокнами.

Благодаря возможности изменять объемное содержание компонентов, при производстве материала появляется возможность выбора надлежащего набора свойств в широком диапазоне. При небольшом (штучном или мелкосерийном) производстве, когда нет необходимости в унификации свойств материала, это является несомненным достоинством композита, т.к. позволяет «подработать» его параметры под каждый конкретный объект.

В 2002г. Дорожным комитетом Администрации Пермской области было принято решение об апробации технологии на одном из мостов региона. Работы выполнялись в рамках международного сотрудничества со штатом Кентукки. Нами было предложено применить КМ для усиления главных балок железобетонного моста при его уширении накладной плитой.

Известно, что при уширении железобетонных ребристых пролетных строений накладной плитой во многих случаях (это зависит от длины пролета и требуемого увеличения габарита) несущая способность крайних балок оказывается недостаточной. Используя технологию усиления КМ можно не менять существующие крайние балки на новые с усиленным армированием, а увеличить их несущую способность наклейкой композитов.

В качестве наиболее подходящего объекта, удовлетворяющего всем условиям, был выбран железобетонный мост через р.Тишковку на автодороге Кукуштан-Чайковский III категории (продольная схема: 4х11,36м, в поперечном сечении - пять главных балок). Мост имел недостаточный габарит (Г-7,2м

с односторонним накладным металлическим тротуаром вместо потребного Г-10 + 2х0,75м) и находился по совокупности дефектов в предаварийном состоянии, т.е. требовал безотлагательного ремонта. Уширение моста традиционным способом - с развитием опор и установкой дополнительных балок вызывало большие затруднения, т.к. под мостом проходило несколько нефтепроводов. Главные балки моста, запроектированные с некоторым запасом несущей способности, не имели силовых повреждений.

Предварительные расчеты показали, что крайние балки при необходимом уширении габарита оказываются перегруженными на 20%, а промежуточные работают в проектном режиме. Замена крайних балок на новые с усиленным армированием в данном случае была бы менее эффективной, чем усиление с применением КМ, поскольку необходимо было демонтировать и утилизировать старые балки, а также индивидуально изготовить, доставить и установить новые. Таким образом, по срокам и стоимости только замена крайних балок (без устройства накладной плиты) была бы эквивалентна замене 2-х (из 4-х) существующих пролетных строений. Поэтому было принято решение об усилении крайних балок КМ.

Технологическая схема усиления КМ была предложена специалистами университета штата Кентукки. Основными элементами силового усиления являлись две полосы ламината Sika Carbodur S812 сечением 1,2х80мм с модулем упругости 165ГПа, наклеиваемые на потолочные поверхности ребер балок. В последствии по решению Дорожного комитета этот материал был заменен на отечественный аналог, разработанный специально для этого объекта фирмой «Полмерпровод» (г. Пермь). Предполагаемое расчетное усиление (приведенное к несущей способности существующих балок) должно было составить до 30%.

Усиление приопорных участков тканями было выполнено конструктивно - для анкеровки концов полос ламината и закрепления защитного слоя бетона у торцов, имеющего деградационное ослабление.

Ламинат после наклейки работает как дополнительная рабочая арматура, имеющая меньший, чем у стали модуль упругости и малую площадь сечения (одна полоса эквивалентна по площади

арматуре  $\varnothing 11$  мм). Эффективность её работы зависит от деформации растяжения ламината и площади сечения (количества) наклеенных пластин.

При полном отсутствии отечественной нормативной базы по расчетам железобетонных конструкций, работающих совместно с КМ, мы столкнулись с рядом серьезных вопросов.

1. При расчетах усиления такого рода в имеющихся зарубежных источниках (и по информации американских коллег) нагрузки на конструкции собираются с коэффициентами надежности  $\gamma_f=1$ , динамическое воздействие временной нагрузки не учитывается. В тоже время расчет по выбранной схеме усиления является расчетом по предельному состоянию первой группы, т.к. отслеживаются не только раскрытие трещин, но и напряжения в рабочей арматуре (не должны превышать по нашим нормам предела текучести). Таким образом, при расчетах нагрузки занижаются на 20-30%. Фактически формулируется положение о том, что конструкции при работе заведомо недогружены по прочности и необходимо отслеживать только процесс трещинообразования;

2. При работе арматуры в упругой стадии, деформации по нижней фибре ребра малы. В то же время, площадь рабочей арматуры мостовых балок достаточно большая и для ее серьезного усиления в упругой зоне (более 10-15%) необходимо большое количество ламината. Так, в проекте при упругой работе арматуры и применяемых полосах, усиление составляет не более 3%, что соизмеримо с погрешностью вычисления. Существенное усиление начинается уже при работе стали на площадке текучести. В случае если раскрытие трещин допустимое, работа арматуры с упрочнением на малых пластических деформациях не может быть опасной для сооружения, однако этот момент не прописан в действующих нормах;

3. В процессе эксплуатации моста с подобным усилением возникает психологическая проблема: в ребрах начинают появляться трещины или, если они были, их раскрытие увеличивается. Несмотря на то, что раскрытие трещин в итоге оказывается в допустимых нормах пределах, изменившийся

облик пролетных строений не может не настораживать (особенно, если трещин не было, а после ремонта они появились).

С учетом этих обстоятельств, а также при отсутствии нормативной базы, экспериментальных данных и опыта эксплуатации КМ в климатических условиях региона было принято решение минимизировать риски: уменьшить требуемую степень усиления пролетных строений ламинатом техническими и технологическими решениями (даже ценой дополнительных затрат). Для этого было предпринято следующее:

- ламинат наклеивался после разборки существующей проезжей части до устройства накладной плиты (при максимально разгруженных пролетных строениях). Это позволило включить его в работу на самой ранней стадии;

- конструкция накладной плиты запроектирована с переменным сечением. Ее средняя толщина на различных участках в поперечном направлении подбиралась с использованием итерационных процедур. Тщательный подбор сечения плиты позволил минимизировать нагрузки на крайние балки;

- опалубка под консоли плиты устанавливалась на независимых опорах, разбираемых после набора прочности бетоном накладной плиты. Это позволило полностью включить в совместную работу накладную плиту на восприятие нагрузки от собственного веса консолей.

В результате выполнения указанных мероприятий общее расчетное усиление накладной плитой и КМ в рабочей точке (в данном случае - от временной нагрузки A11) при уширении составило 30%, из которых усиление ламинатом - 7%. При этом расчетные пластические деформации арматуры составили 0,001 (при упругих - 0,00117) без учета «зуба» текучести. Следует отметить, что все вычисления производились с нормативными коэффициентами надежности и динамическими коэффициентами для расчетов по первому предельному состоянию. Испытания моста показали, что наиболее нагруженные сечения (середины крайних балок) работают с конструктивными коэффициентами до 0,9, т.е. по факту рабочая арматура работает в упругой стадии.

Таким образом, была достигнута главная цель - запроектировать необходимое уширение с усилением крайних

балок КМ, не нарушая действующих норм (при отсутствии специальной нормативной базы). Экономическая эффективность составила около 500 тыс. руб. (10 % от стоимости ремонта) в сравнении с вариантом замены крайних балок.

Работы по усилению были выполнены Мостоотрядом № 123 (г. Пермь). Виды моста до и после ремонта показаны на рис. 1,2. Наблюдения за состоянием моста ведутся уже около года. При первом же осмотре (через 1 месяц после ремонта) было зафиксировано увеличение количества трещин в ребрах балок (до ремонта температурно-усталостные трещины также имелись). Максимальное раскрытие трещин - 0,015мм (при допустимом нормами (0,03мм)). В дальнейшем ни число трещин, ни величина их раскрытия не изменились, что показывает стабильность состояния конструкций.



*Рисунок 1 - Вид моста до ремонта*



*Рисунок 2 - Вид моста после ремонта*

Увеличение числа трещин с допустимым раскрытием свидетельствует о том, что имевшийся в старых балках запас по прочности используется при работе реконструированного пролетного строения в полном объеме.

## **Выводы**

По результатам выполненных работ можно сделать следующие выводы.

1. Усиление мостовых конструкций с использованием композиционных материалов в ряде случаев оказывается незаменимым и эффективным. Этот метод позволяет повысить прочность и долговечность конструкций с трещинами. Применение КМ может также продлить сроки службы конструкций, имеющих деградационные повреждения и утративших архитектурную привлекательность, без риска аварийного обрушения.

2. При проектировании реконструкции моста через р.Тишковку в качестве элементов силового усиления применялся ламинат

без предварительного натяжения. Использование КМ именно в таком приложении, на наш взгляд, и вызывает больше всего вопросов. Основной из них - сугубо индивидуальный случай потребной степени усиления КМ. Подбор конструкций под «малое» усиление КМ существенно усложняет не только проектирование, но и собственно строительные работы. Для силового усиления по первому предельному состоянию представляется целесообразным использовать преднапряженный ламинат. При этом усиление КМ может достигать 20-25% без образования трещин в растянутых зонах. Несмотря на значительное увеличение стоимости и усложнение технологии использование преднапряженного КМ может в ряде случаев оказаться безальтернативным.

3. На основе появившегося опыта можно констатировать, что основная сфера применения КМ - повышение трещиностойкости конструкций. Армирование, требующее усиления, в таких случаях как правило распределено по сравнительно большим площадям, что позволяет приклеить без затруднений необходимое количество материала. Кроме того, недостаток армирования на трещиностойкость обычно вызван проектными ошибками и не требует серьезного увеличения площади армирования. Немаловажен и тот факт, что проектирование повышения трещиностойкости КМ не противоречит действующим нормам.