

Техника и технология транспорта: научный Интернет-журнал <http://www.transport-kgasu.ru>
2023. № 1 (28) http://transport-kgasu.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=2
Статья опубликована 15.03.2023

Ссылка для цитирования:

Петропавловских О.К., Ахметов А.А. Усиление автомобильных мостов углеволокном // Техника и технология транспорта. 2023. № 1 (28). С. 6. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N28-06EIE123.pdf>

УДК 69:504.05

**Усиление автомобильных мостов
углеволокном**

Петропавловских О.К. – старший преподаватель кафедры автомобильных дорог, мостов и тоннелей;

E-mail: olga_konst@mail.ru

Ахметов А.А. – студент магистр,

E-mail: adelahmetov99@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Россия;

**Reinforcement of road bridges with
carbon fiber**

Petropavlovskikh O.K. - Senior Lecturer of the Department of Highways, Bridges and Tunnels;

E-mail: olga_konst@mail.ru

Akhmetov A.A. - master student,

E-mail: adelahmetov99@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia;

Аннотация

Железобетонные конструкции инженерных сооружений транспортной инфраструктуры занимают ведущее место в мировом строительстве, растут и объемы работ, которые связаны с ремонтом, усилением, а также восстановлением этих конструкций. В то же время, происходит постоянное ужесточение норм и увеличение нормативных нагрузок, на которые должны быть запроектированы новые и реконструированы существующие мосты. Зачастую изменение строительных норм и увеличение нагрузок влечет за собой необходимость в усилении пролетных строений мостов с увеличением их несущей способности. Кроме того, в эксплуатируемых мостовых конструкциях, постоянно возникают различные дефекты и повреждения, связанные как с воздействием внешней неблагоприятной среды, так и с физическим износом сооружения. Улучшение эффективности ремонтных работ в данный момент невозможно представить без улучшения проектной решения по усилению конструкций, которые могут обеспечить их экономичность, долговечность и в том числе надежность.

Ключевые слова: автодорожный мост, усиление железобетона, углеволокно.

Abstract

Reinforced concrete structures of engineering structures of transport infrastructure occupy a leading place in world construction, and the volume of work associated with the repair, strengthening, and restoration of these structures is also growing. At the same time, there is a constant tightening of standards and an increase in standard loads, for which new bridges must be designed and existing bridges reconstructed. Often, a change in building codes and an increase in loads entails the need to strengthen the span structures of bridges with an increase in their bearing capacity. In addition, in exploited bridge structures, various defects and damages constantly occur, associated both with the influence of an external unfavorable environment and with the physical deterioration of the structure. Improving the efficiency of repair work at the moment is impossible to imagine without improving the design solution for strengthening structures, which can ensure their cost-effectiveness, durability, including reliability.

Keywords: road bridge, reinforced concrete reinforcement, carbon fiber.

Существующие способы усиления железобетонных пролетных строений [1] с использованием стальной арматуры оказываются более трудозатраты, в некоторых случаях приходится остановить эксплуатацию искусственного сооружения, чтобы обеспечить

выполнение работ по ремонту. Исходя из этого необходимо использовать новые способы усиления и технологий, а также использовать современные материалы для усиления железобетонных конструкции. За рубежом для усиления железобетонной конструкции успешно используется композитный материал на основе прочных углеродных волокон.

В России не только строительство, но даже ремонт сооружений с использованием материалов нового поколения имеет слабую распространенность. В России очень многие мостовые сооружения нуждаются в ремонте. Большая часть стратегически важных сооружений, выполненных из железобетона, была построена еще в советские времена. Конструкции сооружений после 30–40 лет эксплуатации в своем большинстве имеют высокую степень физического износа и требуют ремонта. Ситуация неизбежно будет усугубляться в дальнейшем. Часто требуется проведение ремонтных работ без вывода сооружений из эксплуатации. Кроме того, ремонт и усиление технологично производить с помощью прочных, легких материалов, к тому же не подверженных к коррозии.

Основным направлением данной работы, является изучение новых строительных материалов для усиления (ремонта) железобетонных конструкций, а также способы и технологические особенности их применения.

Самым распространенным решением при усилении изгибаемых железобетонных конструкций с применением композитных материалов – это расположение материала внешнего армирования со стороны растянутых волокон в пролетной зоне конструкций. Композитные материалы из углеродных волокон обладают высокой прочностью, жесткостью и высоким модулем упругости, поэтому в настоящее время они имеют большее применение при усилении железобетонных конструкций.

В большинстве случаев существующие мосты нуждаются в укреплении или починке. Причины, которые делают усиление необходимым, можно обобщить следующим образом: во-первых, изменение в режиме эксплуатации моста может привести к чрезмерным нагрузкам на отдельные конструктивные элементы, которые превышают запас прочности поперечного сечения. Мосты могут также нуждаться в укреплении, из-за уменьшения сопротивляемости внешним факторам. Устранение такого повреждения означает восстановление первоначальной прочности. Так же есть вероятность - неправильного проектирования моста или его частей. Это включает в себя все случаи, когда прочность в поперечном сечении в критических точках слишком мала и не соответствует нормам. Плохое качество строительства может означать, что первоначально рассчитанные значения прочности поперечного сечения не достигаются. Другой серьезной проблемой является коррозия.

Углеволокно это полимерный-композитный материал, состоящий из углеродных нитей. Он в несколько раз прочнее стали на разрыв, а также легче стали примерно на 75 % и алюминия на 30 %. Сами по себе углеродные нити достаточно ломкие, поэтому из них создают полотно, которое обладает эластичными свойствами. Углеволокно обладает рядом преимуществ, такими как отсутствие необходимости использования тяжеловесной техники для работ, из-за лёгкого веса полимера, с применением технологии внешнего армирования время, нужное на усиление бетона углеволокном, значительно сокращается, у конструкции повышается несущая способность, конструкция не становится тяжелее, материал не подвержен коррозии, а также обладает свойством долговечности.

Усиление моста углеволокном проводится комплексно, то есть все нагружаемые элементы моста – опоры и пролёты усиливают [2].

Для усиления опор, работающих на сжатие, применяются схемы такие же, как и схемы усиления колонн в классическом строительстве.

На опоре укладывают:

Полотно по вертикали на углах с радиусом или фаской величиной не менее 20 мм;

Полотно с одно или двунаправленным плетением по горизонтальному сечению вкруговую по всей высоте с определенным шагом;

Ленту или полотно для кольцевой обвязки оголовка опоры в горизонтальной плоскости и хомуты из двунаправленного полотна перпендикулярно наклонной плоскости несущей части оголовка.

Направление нитей углеволокна должно совпадать с направлением разрушающей нагрузки. С помощью расчётов определяют количество слоев необходимых для усиления. Пролёты моста испытывают три вида нагрузок:

- сжатие
- растяжение
- смятие и срез в около опорной зоне

Железобетонные конструкции могут воспринимать большие сжимающие конструкции. В большинстве случаев для восстановления несущей способности достаточно отремонтировать поврежденный участок пролета или увеличить толщину методом торкретирования с армированием композитной сеткой.

Основной проблемой пролетов моста является разрушение силовых элементов плиты (ригели, продольные и поперечные ребра жесткости ребристых плит), которые возникают при изгибе под действием нагрузки. Эффективным решением стало оклеивание поверхности продольных ребер и ригелей пролета полотном однонаправленного плетения вдоль пролета. При отсутствии ребер у плиты (монолитные или пустотные плиты) оклеивают несущий ригель и накладывают полосы на плоскость плиты по всей длине с шагом порядка 300 мм. Поперечную нагрузку в приопорной зоне снимают с помощью U-образных хомутов на ригеле плиты или несущем ригеле, которые одновременно выполняют роль анкеров полос продольного усиления.

Различают два вида ламелей — свободные, которые изготавливают без предварительного натяжения ленты (напр., CarbonWrap Lamel HS 14/120 толщиной 1,4 мм и шириной 120 мм) и преднапряженные, когда к ленте прикладывается растягивающее усилие порядка 200 кН на метр и ленту в этом состоянии заливают эпоксидной смолой. Преднапряженные ламели, которые применяются для усиления горизонтальных конструкций моста, имеют на концах стальные пластины. Пластины служат для закрепления ламели в предопорной зоне с помощью анкеров или на клей. В отличие от не напряженных ламелей преднапряженные ламели не надо приклеивать по всей длине. Оба типа ламелей эффективны для усиления пролетов железных и деревянных мостов. В результате применения преднапряженных ламелей несущая способность горизонтальной несущей конструкции повышается на 100...200% без увеличения веса и изменения архитектуры.



Рис.1. Пример усиления балок пролетного строения

Согласно СП 164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования.[3]

Расчет по прочности прямоугольных сечений внецентренно сжатых элементов, усиленных внешним армированием из композитных материалов в продольном направлении

(рисунок 2) при $\xi = \frac{x}{h} \leq \xi_{R,f}$ следует проводить из условия

$$Ne \leq R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') + R_f A_f a, \quad (1)$$

где N - продольная сила от внешней нагрузки;

x - высота сжатой зоны, определяемая по формуле

$$x = \frac{N + R_s A_s - R_{sc} A'_s + R_f A_f}{R_b b}. \quad (2)$$

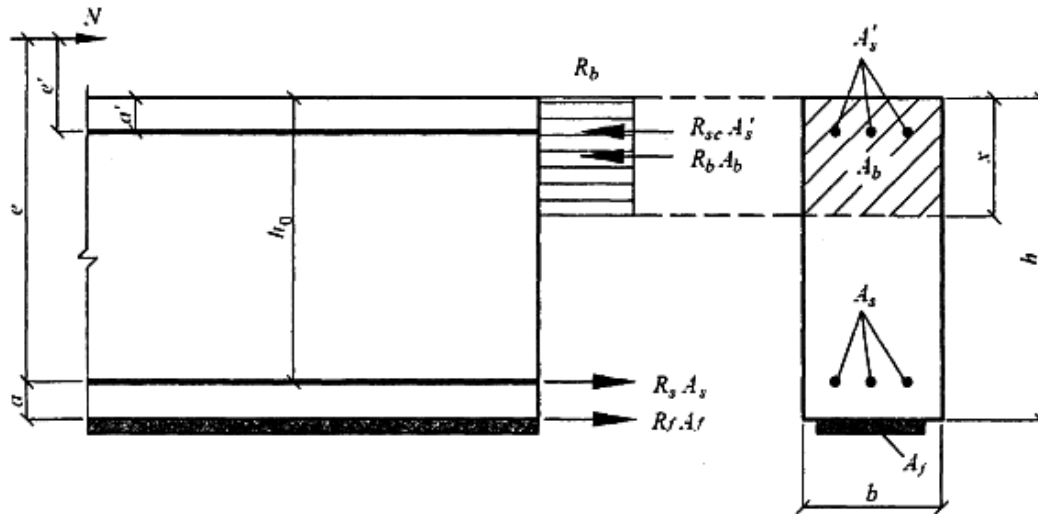


Рис. 2. Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно сжатого железобетонного элемента с внешним армированием из композитных материалов, при расчете по прочности

При $\frac{x}{h_0} \leq \xi_R$ и $\frac{x}{h_0} \geq \xi_{R,f}$ значение высоты сжатой зоны x в формуле (1) следует вычислять по формуле

$$x = \frac{N + R_s A_s + R_f A_f \frac{1 + \xi_{R,f}}{1 - \xi_{R,f}} - R_{sc} A'_s}{R_b b + \frac{2 R_f A_f}{h(1 - \xi_{R,f})}}. \quad (3)$$

При $\frac{x}{h_0} \geq \xi_R$ значение высоты сжатой зоны x в формуле (3) следует вычислять по формуле

$$x = \frac{N + R_s A_s \frac{1 + \xi_R}{1 - \xi_R} + R_f A_f \frac{1 + \xi_{R,f}}{1 - \xi_{R,f}} - R_{sc} A'_s}{R_b b + \frac{2 R_s A_s}{h(1 - \xi_R)} + \frac{2 R_f A_f}{h(1 - \xi_{R,f})}}. \quad (4)$$

Работа по усилению пролетных конструкций автомобильного моста через реку Кехта под Архангельском, проведенная без остановки автомобильного движения через него. В этом случае совместно с Архангельским мостовым эксплуатационным управлением был выполнен комплекс работ по ремонту и усилению балок пролетных строений, в том числе восстановление защитного слоя, обработка оголенной арматуры и бетона ингибиторами коррозии, усиление балок путем на-клейки нескольких слоев углеродной ткани по низу ребра и хомутов в опорной части [4]

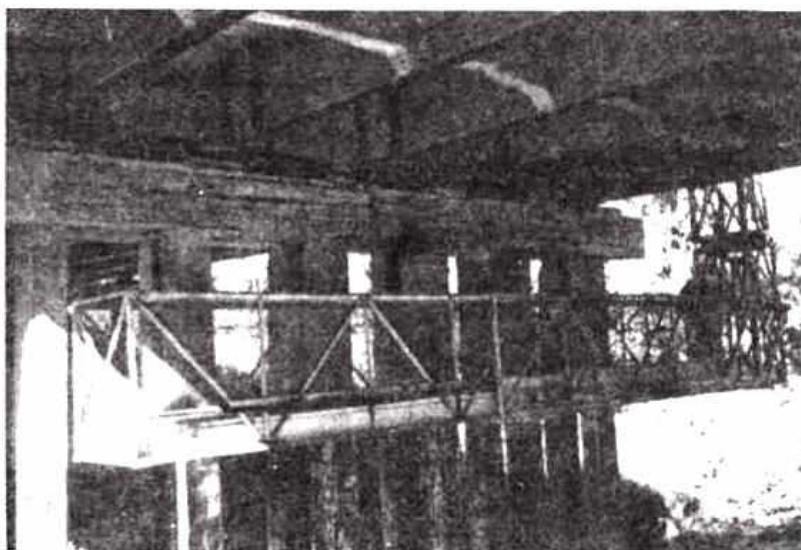


Рис. 3. Пролетное строение моста через р. Кехта после ремонта и усиления (видны полосы из углепластика).

Таким образом усиление моста углеволокном имеет ряд достоинств:

- Высокая скорость установки углеволокна.
- Не требует специальной техники и оборудования.
- Материал имеет незначительный вес, то есть он не утяжелит конструкцию.
- Углеволокно может применяться для усиления деревянных, железобетонных, железных, каменных мостов.
- Усиления углеволокном не меняет архитектуру и дизайн моста.

Список литературы

1. Усиление железобетонных балочных пролетных строений автодорожных мостов. Обзорная информация. М., 1987. Вып. 2.
2. Усиление мостов углеволокном [электронный ресурс] – режим доступа: <https://mpkm.org/clauses/usilenie-mostov-uglevoloknom>
3. СП 164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования (с Изменением N 1)
4. Ю. Г. Хаютин, В. Л. Чернявский, Е. З. Аксельрод. Применение углепластиков для усиления строительных конструкций. «Бетон и железобетон» в выпусках №6 и №7 за 2002 г.

References

1. Strengthening reinforced concrete beam spans of road bridges. Overview information. M., 1987. Issue. 2.
2. Reinforcement of bridges with carbon fiber [electronic resource] - access mode: <https://mpkm.org/clauses/usilenie-mostov-uglevoloknom>
3. SP 164.1325800.2014 Reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials. Design Rules (with Amendment No. 1)
4. Yu. G. Khayutin, V. L. Chernyavskii, and E. Z. Axelrod. The use of carbon fiber to strengthen building structures. "Concrete and Reinforced Concrete" in issues No. 6 and No. 7 for 2002