

Анализ эффективности конструкций усиления мостовых сооружений

А.В. Макаров, Д.В. Ивасик, А.А. Васильченко, Х.И. Магомедов

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: В статье рассматривается проблема реконструкции мостовых сооружений, а именно восстановление грузоподъемности, снизившейся в процессе многолетней эксплуатации. Отмечена актуальность исследования, его цели и задачи. Предложена классификация конструкций усиления по различным признакам. Разобраны часто используемые на практике ввиду усиления мостов их достоинства и недостатки. Изложенный материал иллюстрирован фотографиями объектов. Представлен современный способ усиления на основе использования углеродного композита. Отмечены значительные недостатки этого способа для усиления мостов и его модификация, использующая натяжное устройство для закрепления и натяжения углеродных ламелей. Представлены основные выводы.

Ключевые слова: мост, усиление, реконструкция, шпренгель, углеродный композит, ламель, грузоподъемность, несущая способность, натяжение.

Введение

Развитие автомобильного транспорта в Российской Федерации остается приоритетной задачей и сейчас и в будущем. Железнодорожный транспорт может конкурировать с автомобильным только при перевозках на очень большие расстояния. В других случаях выигрыш остается за автотранспортом и по времени, и в стоимости. Для успешного функционирования автомобильного транспорта необходимо поддерживать в хорошем состоянии существующие дороги и развивать современную сеть автомобильных дорог. Есть устойчивое экспертное мнение, и с ним согласны экономисты, что нет ни одного случая успешного экономического развития региона без опережающего развития национальной сети автомобильных дорог высшей технической категории. Это мнение основано на детальных экономических исследованиях, проводимых по итогам реализации проекта Highway Interstate System в США. Еще более мощные позитивные эффекты обеспечит реализация аналогичного китайского проекта National Trunk Road System of China. Этот проект позволил создать суммарную протяженность

сети межрегиональных дорог высших технических категорий к концу 2015 года 120 тыс. км [1].

Строительство автодорог высшей технической категории требует огромных капиталовложений, поэтому экономное расходование средств на обслуживание существующей инфраструктуры дорог является актуальной проблемой. Мостовые сооружения на дорогах, построенные десятки лет назад, не исчерпали свой ресурс, но перестали удовлетворять предъявляемым к ним требованиям частично из-за физического износа, частично из-за изменившихся требований. Вернуть мостовым сооружениям их функциональные качества при незначительных финансовых затратах - задача эксплуатирующих организаций, и, в целом, дорожного комплекса.

Цели и задачи исследования

Мосты и в прежние времена ремонтировали и реконструировали. Сложнейшей задачей реконструкции является восстановление или увеличение его грузоподъемности. В современных условиях выбрать подходящий способ увеличения грузоподъемности - сложная задача проектирования. Требуется провести обзор имеющихся способов увеличения грузоподъемности мостов, выявить их достоинства и недостатки. Здесь следует учитывать не только особенности усиливаемого сооружения, многообразие известных способов усиления, но и квалификацию и имеющееся оборудование подрядной организации, выполняющей комплекс необходимых работ. Работы по усилению пролетных строений мостов выполняются наряду с ремонтными работами, исправляя накопившиеся дефекты. Для выявления и фиксации дефектов проводится обследование мостового сооружения и его диагностика [2,3]. В задачи обследования входят также изучение условий работы мостового сооружения, выявление причин, вызывающих появления неисправностей и их влияние на долговечность, безопасность и грузоподъемность. Целью все этих мероприятий является

восстановление эксплуатационных качеств мостовых сооружений в сложившихся условиях [4].

Материалы и методы исследования

Конструкции усиливающие пролетные строения мостов можно рассматривать в соответствии с предлагаемой классификацией, представленной в таблице 1. Эта классификация позволяет провести анализ конструкций усиления с разных точек зрения.

таблица 1

Классификация конструкций усиления мостов		
1	По материалу	металлическое
		неметаллическое
2	По толщине конструкции	до 2 см
		до 10 см
		до 20 см
		более 20 см
3	По способу работы усиления	не напрягаемые
		напрягаемые
4	По расчетной схеме конструкции усиления	с изменением расчетной схемы
		без изменения расчетной схемы
5	По способности воспринимать постоянные нагрузки сооружения	только временные нагрузки
		постоянные и временные нагрузки

Усиление пролетных строений с увеличением площади поперечного сечения несущих конструкций. Эти способы увеличивают несущую способность конструкций, незначительно снижают подмостовой габарит. Вместе с тем ликвидируют все дефекты сечения, такие, как сколы, трещины, отслоение и разрушение защитного слоя бетона. Нет необходимости

выполнять ремонтные работы. К недостаткам относятся увеличение собственного веса, «мокрые» процессы, необходимость опалубки, сложности



Рис. 1. Усиление крайних арок моста в Волгограде

укладки бетонной смеси и ее вибрирование. А также сама конструкция усиления не воспринимает усилия от постоянного веса сооружения, что в железобетонных мостах является большей частью полной нагрузки. Этот способ применен для усиления крайних (наиболее напряженных) арок Астраханского моста в Волгограде (Рис.1) при его реконструкции. Применить другие способы усиления здесь не представлялось

возможным из-за кривизны профиля.

Усиление балочных пролетных строений шпренгелями способно, в зависимости от конструктивной схемы, воспринимать не только изгибающие моменты, но и поперечные силы в приопорных зонах. Здесь нет «мокрых» процессов, поэтому работы можно проводить в любое время года. Конструкция усиления представлена на рисунке 2: многоэлементная,

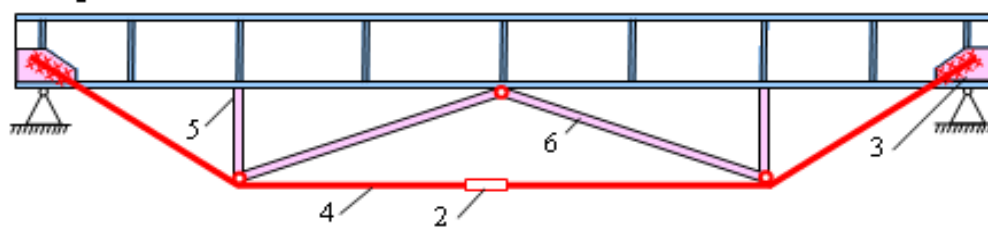


Рис. 2. Шпренгельное усиление мостовой балки [5].

крепится к балке (1) анкерами (3) и состоит из стального стержня или троса (4), соединяемого муфтой (2). Стержню придают заданную форму стойки (5) и раскосы (6). Муфта имеет резьбу и при закручивании создает усилие в стержне – выбирает люфты. Усилие в тросе определяется расчетом статически неопределимой системы методом сил. Такую конструкцию

необходимо защищать от коррозии. К недостаткам относится значительная высота усиления, что уменьшает подмостовой габарит. Не следует использовать на путепроводах. Существует несколько модификаций шпренгельных затяжек: треугольные, линейные, укороченные. Все они рассчитываются, устраиваются и работают одинаково. Возможно устройство прямых шпренгелей, которые не уменьшают подмостовой габарит. Однако такое усиление воспринимает меньший изгибающий момент за счёт малого плеча используемых усилений является усиление наклеиванием швеллера на



Рис. 3. Усиление балок путепровода в Волгограде.

ребро мостовой балки (Рис. 3). Этот вид усиления наиболее прост в исполнении, не уменьшает габарит. Может применяться только на балках из обычного железобетона и воспринимать небольшие изгибающие моменты из-за малого плеча внутренней пары и использования швеллера из обычной стали.

Одним из лучших усилений следует считать усиление напрягаемыми пучками высокопрочной проволоки, представленной на рисунке 4. Это усиление воспринимает как временную нагрузку, так и постоянную. При соответствующем креплении и усилении натяжения оно способно значительно повысить несущую способность пролетного строения. Так можно усиливать любые балки мостов. Однако натяжение - сложный процесс, требует

грамотного инженерного решения и исполнения. Сложности связаны с креплением троса и установкой домкратов, а также с равномерностью передачи усилия натяжения. Поэтому этот способ не всегда применяется или часто реализуется не в полном объеме с недогрузкой пролетных строений [6].



Рис. 4. Усиление напрягаемым пучком [7].

В последнее десятилетие активно развиваются способы усиления строительных конструкций, основанные на использовании композиционных материалов [8, 9]. Композиционные материалы в виде лент из углеродных волокон применяются при реконструкции мостовых сооружений, чему посвящено целый ряд исследований [10-13]. Преимуществами по сравнению с традиционными материалами и методами усиления являются малый собственный вес элементов усиления, малые габаритные размеры, высокая коррозионная стойкость, простота исполнения, проведение работ по усилению без перерыва движения по мостам. Мостостроительные организации, для того, чтобы легализовать применение углеродных лент и ламелей, провели испытания усиленных конструкций и создали свои ведомственные нормативные документы (Стандарт организации. СТО - 01 – 2011). Однако до сих пор нет государственного стандарта на прочностные качества углеволокна, есть только рекомендации производителя, а это не одно и то же. Усиление углеволоконными лентами не может воспринимать постоянные нагрузки от сооружения и обычные временные, так как работы ведутся без остановки движения по мосту. Таким образом усиление не

разгружает перенапряженные несущие конструкции, а только предохраняет от возможно большего нагружения. Перед применением такого усиления необходимо выполнить ремонт пролетных строений, так как ленты наклеиваются на ровную поверхность. Ленты закрепляются приклеиванием к усиливаемой конструкции, и если в процессе эксплуатации произойдет отклеивание, то возможно разрушение пролетного строения.

Можно устранить ряд недостатков традиционного использования углеволоконных ламелей, если использовать устройство их натяжения, предложенного в исследовании [14]. Натяжение ламели устранит угрозу отклеивания, позволит воспринять частично усилия от временной и постоянной нагрузки и повысит надежность конструкции усиления, и в целом мостового сооружения.

Выводы

1. Многообразие способов увеличения грузоподъемности мостов позволяет избрать наиболее эффективный способ.

2. При выборе способа усиления следует рассматривать все подходящие способы с учетом особенностей сооружения условий эксплуатации и квалификацию исполнителя.

3. Неверный выбор способа усиления и напряжения в тросах не способствует разгрузке несущих конструкций пролетного строения, которые продолжают испытывать завышенные напряжения и, накапливая дефекты, постепенно разрушаются.

4. При устройстве усиления выбранным способом, всегда следует предусматривать мероприятия по разгрузке пролетного строения, с тем, чтобы конструкция усиления в своей работе могла воспринимать как временную нагрузку, так и часть постоянной.



Литература

1. Блинкин М. Вечные ценности: почему нужно строить дороги за пределами городов. URL: rbc.ru/opinions/economics/17/03/2016/56ea97339a79477c5c6cfaa3?from=materials_on_subject

2. Макаров А.В., Крошнева Е.В., Файзалиев А.Ф., Павлова М.А., Лепехина Д.М. Обследование мостовых сооружений с помощью современного оборудования. Инженерный вестник Дона. 2021. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7095.

3. Makarov AV., Kalinovskiy S.A., Ereschenko N.V., Pavlova M.A. Some aspects of the bridges' functional qualities restoration. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1083: International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» (CATPID 2020, р. II). IOP Publishing, 2021. 7 p. (012069). URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1083/1/012069/pdf. -
Doi:10.1088/1757-899X/1083/1/012069.

4. Макаров А.В., Гулуев Г.Г., Шатлаев С.В. Реконструкция путепровода как требование безопасности. Инженерный вестник Дона. 2017. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4161.

5. StudFiles. Файловый архив студентов. URL: studfile.net/preview/4306357/page:48/

6. Белый А.А., Зайцев В.М., Карапетов Э.С. Опыт эксплуатации усиленных железобетонных мостовых сооружений Санкт-Петербурга. Интернет-журнал «Науковедение», Том 9, №3. URL: naukovedenie.ru/PDF/08TVN317.pdf.

7. Усиления мостов – фото. URL: stranabolgariya.ru/foto/usileniya-mostov.html.

8. Маяцкая И. А. Федченко А. Е. Беляева Д. А. Применение новых материалов при усилении строительных конструкций подземных сооружений

и мостовых переходов. Молодой исследователь Дона. 2018. №5. URL: mid-journal.ru/publications/5-2018

9. Васильев В.В. Композиционные материалы. Справочник. М. Машиностроение. 1990. 512 с.

10. Кугаевский Н.М., Овчинников И.И. Оценка эффективности усиления железобетонных балок пролетных строений автодорожных мостовых сооружений полимерными композиционными материалами. Вестник Евразийской науки, 2021. Т 13. №2. URL: esj.today/PDF/09SAVN221.pdf

11. Хрюкин А.А., Смолина М.В. Оценка напряженно-деформированного состояния пролетных строений моста, усиленного композитными материалами. Наука и образование. 2016. №4. URL: cyberleninka.ru/article/n/otsenka-napryazhenno-deformirovannogo-sostoyaniya-proletnyh-stroeniy-mosta-usilennogo-kompozitnymi-materialami/viewer

12. Бокарев С.А., Смердов Д.Н. Экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных элементов, усиленных КМ. Известия Вузов. Строительство. 2010, №2. С. 112-124.

13. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Часть 1 Отечественные эксперименты при статическом нагружении. Интернет-журнал «Наукоедение» Том 8, 2016. №3. URL: naukovedenie.ru/PDF/24TVN316.pdf

14. Makarov A.V., Rekunov S.S. Strengthening bridge spans by composite materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 687: International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS-2019) Issue 3: Construction, buildings and structures. [Published by IOP



Publishing], 2019. 7 p. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/687/3/033038/pdf. Doi:10.1088/1757-899X/687/3/033038.

References

1. Blinkin M. Vechny`e cennosti: pochemu nuzhno stroit` dorogi za predelami gorodov. [Eternal values: why it is necessary to build roads outside cities] URL: [rbc.ru/opinions/economics/17/03/2016/56ea97339a79477c5c6cfaa3?from=materials on subject](http://rbc.ru/opinions/economics/17/03/2016/56ea97339a79477c5c6cfaa3?from=materials%20on%20subject)

2. Makarov A.V., Kroshneva E.V., Fajzaliev A.F., Pavlova M.A., Lepexina D.M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7095.

3. Makarov A.V., Kalinovskiy S.A., Ereschenko T.V., Pavlova M.A. Some aspects of the bridges' functional qualities restoration. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1083: International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» (CATPID 2020, p. II). IOP Publishing, 2021. 7 p. (012069). URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757899X/1083/1/012069/pdf. Doi:10.1088/1757-899X/1083/1/012069.

4. Makarov A.V., Guluev G.G., Shatlaev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4161.

5. StudFiles. Fajlovy`j arxiv studentov. [Student File Archive]. URL: studfile.net/preview/4306357/page:48/

6. Bely`j A.A., Zajcev V.M., Karapetov E`S. Internet-zhurnal «Naukovedenie». Tom 9. №3. URL: naukovedenie.ru/PDF/08TVN317.pdf.

7. Usileniya mostov – foto. [Bridge Reinforcements - Photo]. URL: stranabolgariya.ru/foto/usileniya-mostov.html.

8. Mayaczkaya I. A. Fedchenko A. E. Belyaeva D. A. Molodoj issledovatel` Dona. 2018. №5. URL: mid-journal.ru/publications/5-2018/

9. Vasil`ev V.V. Kompozicionny`e materialy` spravochnik. [Composite materials reference book] M. Mashinostroenie. 1990. 512 p.
10. Kugaevskij N.M., Ovchinnikov I.I. Vestnik Evrazijskoj nauki, 2021. T 13. №2. URL: esj.today/PDF/09SAVN221.pdf
11. Hryukin A.A., Smolina M.V. Nauka i obrazovanie. 2016. №4. URL: cyberleninka.ru/article/n/otsenka-napryazhenno-deformirovannogo-sostoyaniya-proletnyh-stroeniy-mosta-usilennogo-kompozitnymi-materialami/viewer
12. Bokarev S.A., Smerdov D.N. Izvestiya Vuzov. Stroitel'stvo. 2010, №2, pp. 112-124.
13. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., CHesnokov G.V., Mihaldykin E.S. Internet-zhurnal «Naukovedenie» Tom 8, 2016. №3. URL: naukovedenie.ru/PDF/24TVN316.pdf
14. Makarov A.V., Rekunov S.S. Strengthening bridge spans by composite materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 687: International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS-2019) Issue 3: Construction, buildings and structures. [Published by IOP Publishing], 2019. 7 p. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/687/3/033038/pdf. Doi:10.1088/1757-899X/687/3/033038.