Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2019, №3, Том 6 / 2019, No 3, Vol 6 <https://t-s.today/issue-3-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/20SATS319.pdf>

DOI: 10.15862/20SATS319 (<http://dx.doi.org/10.15862/20SATS319>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Казарян В.Ю., Сахарова И.Д. Реконструкция арочного металлического моста через р. Кинешемка в г. Кинешма Ивановской области // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №3, <https://t-s.today/PDF/20SATS319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/20SATS319

For citation:

Kazaryan V.Yu., Sakharova I.D. (2019). Reconstruction of an arched metal bridge over the Kineshemka River in the city of Kineshma, Ivanovo Region. *Russian journal of transport engineering*, [online] 3(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/20SATS319.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/20SATS319

УДК 625.4

ГРНТИ 67.11

Казарян Вильгельм Юрьевич

ООО «НПП СК МОСТ», Балашиха, Россия

Генеральный директор

Доктор Транспорта, Действительный Член инженерной Академии Армении

E-mail: nppskmost@yandex.ru

Сахарова Инна Дмитриевна

ООО «НПП СК МОСТ», Балашиха, Россия

Зам. генерального директора

Кандидат технических наук

E-mail: nppskmost@yandex.ru

Реконструкция арочного металлического моста через р. Кинешемка в г. Кинешма Ивановской области

Аннотация. В данной статье рассмотрена технология реконструкции металлического арочного моста путем усиления конструкции предварительно напряженными элементами. Главные металлические балки находились в неудовлетворительном состоянии, металлоконструкции пролетного строения ниже уровня плиты проезжей части подвержены глубокой слоистой коррозии вплоть до образования сквозных повреждений. Для восстановления несущей способности главных балок Никольского моста через реку Кинешемку предусмотрено их усиление. Основной задачей при выполнении усиления главных балок является устройство новых преднапряженных железобетонных балок непосредственно внутри старых металлических главных балок моста с регулированием усилий в высокопрочных канатах. В связи с тем, что усилие высокопрочных канатов невозможно сразу довести до максимальных проектных нагрузок, предлагается схема поэтапного преднапряжения канатов с синхронным секционным бетонированием отсеков главных балок. Процесс напряжения в железобетонном брусе главных балок производится в две стадии: напряжения на концевых участках, где была создана система анкерования в четырех углах и последующим преднапряжением основного подарочного пространства с бетонированием участков между подвесками по специально разработанной схеме в проекте производства работ. Применяется только фибробетон, а для осуществления совместной работы с внутренней поверхностью главных балок приваривались арматурные упоры. Примеры усиления при помощи канатных

прядей стальных балок на сталежелезобетонных пролетных строениях уже существовали, однако передача усилия через железобетонный внутренний брус, была осуществлена впервые в мире. После того, как главные балки-затяжки вступили в совместную работу с металлической аркой, было принято решение приступить к ремонту поперечных балок, которые держат железобетонную плиту в продольном направлении, а сами опираются на главные балки. Некоторые поперечные балки были повреждены коррозией до того, что держались за железобетонную плиту, поэтому «НПП СК МОСТ» разработало технологию преднапряжения поперечных балок с одновременным их поддомкрачиванием и последующим торкретированием со всех сторон, а опирание производилось на главные балки, которые уже были готовы к восприятию нагрузки. В заключение авторы подтверждают эффективность предложенной технологии; в конце 2018 года было проведено обследование и приемочные испытания Никольского моста. Результаты статических и динамических испытаний моста свидетельствуют о соответствии фактического напряженно-деформированного состояния конструкции пролетного строения проектным значениям. Мост может быть принят под нагрузку НК-80. После приемки мостового сооружения рабочей комиссией было открыто движение для автомобилей и пешеходов.

Ключевые слова: предварительно напряженные конструкции; усиление металлических мостов; фибробетон; торкретирование; главные балки; реконструкция моста; восстановление несущей способности

Введение

Никольский мост через р. Кинешемку в г. Кинешма Ивановской области был построен в 1959 году и является одной из главных достопримечательностей города. За эксплуатации были проведены текущие ремонтные работы, ремонт тротуара после наезда плавучего крана, но капитальному ремонту сооружение не подвергалось. За эти годы все конструкции моста, включая элементы арочной фермы пришли в неудовлетворительное состояние (рисунок 3).

Рисунок 1. Никольский мост в г. Кинешма (разработано автором)

Рисунок 2. Главные балки – вид снизу (разработано автором)

1. Оценка состояния конструктивных элементов моста

Главные металлические балки находятся в неудовлетворительном состоянии, металлоконструкции пролетного строения ниже уровня плиты проезжей части подвержены глубокой слоистой коррозии вплоть до образования сквозных повреждений.

Рисунок 3. Сквозная коррозия металлических конструкций (разработано автором)

Для восстановления несущей способности главных балок Никольского моста предусмотрено их усиление [1–3]. Основной задачей при выполнении усиления главных балок является устройство новых преднапряженных железобетонных балок непосредственно внутри старых металлических главных балок моста с регулированием усилий в высокопрочных канатах (2 пучка по 12 прядей), рисунки 2 и 4.

В связи с тем, что усилие высокопрочных канатов невозможно сразу довести до максимальных проектных нагрузок (балок находятся в неудовлетворительном состоянии: сгнил металл, и не на что опираться), а усилия в канатах превышают 480т в каждой главной балке, предлагается схема поэтапного преднапряжения канатов с синхронным секционным бетонированием отсеков главных балок.

Рисунок 4. Восстановление несущей способности главных балок (разработано автором)

Рисунок 5. Усиление арочной конструкции (разработано автором)

В первую очередь были выполнены работы по усилению и покраске арочной конструкции возвышающейся над проезжей частью мостового сооружения в соответствии с [4; 5] по проекту ООО «Энергетические системы», при этом усиление заключалось в наварке дополнительных пластин из металла увеличивающих ширину полок составного двутавра, представляющего сечение арки (рисунок 5).

Рисунок 6. Усиление арки (разработано автором)

Вскрытие деформационного шва на обоих концевых участках показало, что металлические поперечные балки на консольных концевых участках сгнили на 40 % от попадания воды.

После чего приступили к вскрытию проезжей части моста, демонтажу тротуарных плит (рисунок 7) и демонтажу сборных плит, покрывающих балки – затяжки. Было принято решение зафиксировать все элементы в том виде, в котором они работали с 1959 года, создать днище из металлического листа, то есть короб и уложить фибробетон в том коробе, кроме этого, уложить два ряда стержневой арматуры 20 мм сверху и внизу балки. Вследствие демонтажа плит было обнаружено, что металлические конструкции, а именно главные балки, поперечные балки и

постилающий металлический настил под тротуарными плитами полностью прогнили. Сквозные отверстия в стенках главных балок составляли размерами более чем с ладонь.

Рисунок 7. Демонтаж тротуарных плит (разработано автором)

Стало ясно, что по существующему проекту дальше работать невозможно, надо останавливать работы, пересматривать проект, еще раз проходить гос. экспертизу и только тогда возобновлять процедуру торгов и непосредственных работ на мосту.

Конечно же, риск был огромный, нужны были смелые и очень новые конструктивные решения, поменялась и очередность производства работ, и виды работ.

Например, стало понятно, что железобетонную плиту демонтировать не представляется возможным, и было не понятно, какой из несущих элементов моста является конструктивно несущим относительно другого. Это обычная ситуация, которая сопровождает строителей и проектировщиков во время капитального ремонта или реконструкции мостовых сооружений, не ремонтируемых с 1959 года, точнее с момента ввода сооружения в эксплуатацию.

Особенностью и сложностью данных мостовых сооружений является то, что основные несущие элементы арки, которые восходят от одной опоры, пересекаются с главными балками и далее возвышаются над проезжей частью, в месте пересечения имеют преломление и не являются цельной аркой, опирающейся на пяты опор.

2. Реконструкция моста с применением преднапряженных арматурных пучков и последующим омоноличиванием торкретфибробетоном

Со времен строительства не сохранились чертежи и тем более исполнительная документация, наверно это была ошибка при сборке арки. В данной конструкции главных балок – затяжки появилась мысль произвести преднапряжение, причем высокопрочные пучки 2 по 12 прядей решено было проложить в железобетонном бруске, который удалось создать между двумя вертикальными балками, которые уже прогнили, но в данном случае служат как несъемная опалубка. Пучки расположены вертикально, друг над другом.

Рисунок 8. Высокопрочные пучки (разработано автором)

Рисунок 9. Омоноличивание арматурных пучков торкретфибробетоном (разработано автором)

Процесс напряжения в железобетонном брусе главных балок производится в две стадии: постнапряжения на конечных участках, где была создана система анкеровки в четырех углах и последующим преднапряжением основного подарочного пространства (рисунок 8) с постадийным бетонированием участков между подвесками по специально разработанной схеме в проекте производства работ. Применяется только фибробетон (рисунок 9), а для

осуществления совместной работы с внутренней поверхностью главных балок приваривались арматурные упоры, разработанные в институте СОЮЗДОРНИИ.

Сложность создания напряжения при помощи прядей в системах усиления стальных балок на сталежелезобетонных пролетных строениях уже существовали, однако передача усилия практически через железобетонный внутренний брус, осуществлялась впервые в мире, что было зафиксировано и защищено патентом [6].

Рисунок 10. Проект С.А. Ильясевица [7]

В процессе разработки проекта зимой 2018 года было обнаружено сходство по предназначению с проектом С.А. Ильясевица (рисунок 10), на металлическом мосту через канал имени Москвы [7], вероятно, там проволоки высокопрочные были расположены в железобетонной плите, но самое главное, что наши усилия натяжения почти совпали, что придало еще больше уверенности.

Рисунок 11. Строительные леса в подмостовом пространстве (разработано автором)

После того, как главные балки-затяжки вступили в совместную работу с металлической аркой, было принято решение приступить к ремонту поперечных балок, которые держат железобетонную плиту в продольном направлении, а сами опираются на главные балки.

Некоторые поперечные балки сгнили до того, что держались за железобетонную плиту, поэтому «НПП СК МОСТ» совместно с «Магистраль проектом» разработали технологию преднапряжения поперечных балок с одновременным их поддомкрачиванием и последующим торкретированием со всех сторон, в том числе и снизу, где располагались пряди, а опирание производилось на главные балки, которые уже готовы к восприятию самой современной нагрузке.

Все процессы натяжения пучков производились однопрядевыми домкратами, естественно, по одной пряди, после чего концевые анкерные участки подвергались фибро-торкрет бетоном и замуровывались намертво. В интернете все время появлялись комментарии от местных жителей-мостовиков, которые работают вахтовым методом в МО-6 и в МО-114 ПАО МОСТОТРЕСТ и которые владеют технологией преднапряжения. Эта династия мостовиков осталась в г. Кинешме после строительства большого волжского моста в Кинешемском районе Ивановской области. Комментарий: «Это все вранье, 12-ти прядевый пучок так не натягивают, такой домкрат весит 550 кг, а насосная станция 300 кг, где краны, на мосту не было кранов» и т. д., и т. п., но никто не сказал, как затащить такой домкрат под мост.

И только тогда, когда на мосту начали ездить суперсовременные грузовые машины, например, бетоно-миксер весом почти 40 тонн, или с аналогичной массой автокран, что являлось для первоначальной конструкции моста сверхнормативной нагрузкой, в соответствии с [8–10], общественность и группа заказчика успокоилась, а для нас это было своего рода испытанием моста.

Что касается, собственно, железобетонной плиты, то местами бетон разбирался вручную, а местами не поддавался вырубке отбойным молотком, и было решено частично оставить, а добетонирование произвести с опиранием на главную балку в одном уровне с тротуарными плитами, во избежание течей на стенки главных балок. Это была основная ошибка проектирования при строительстве моста.

Рисунок 12. Устройство дренажных системы из брикетов «Козинаки®» (разработано автором)

Рисунок 13. Строительные леса для высотных работ (разработано автором)

Современный проект обеспечил организованный отвод воды от осадков, а дренажный канал (рисунок 12) вывод влаги из толщи асфальтобетона [11], общий поток уводит все воды в фильтры, которые расположены на откосах.

Обычно строительные леса используются при ремонте или реконструкции мостов с целью иметь доступ к отдаленным участкам и конструкциям, находящимся на определенной высоте, например, к возвышающимся частям металлической арки (рисунок 13).

Это стандартное использование строительных лесов, которые собираются снизу вверх по средством поперечных, продольных и стоечных элементов. Существуют разные системы объединений, но принцип действия лесов и их предназначение остается таким же.

Что касается устройства строительных лесов под мостом, над большими каньонами или реками для работы в зоне подмостового пространства, то леса закреплялись к существующим мостовым конструкциям (рисунки 11, 14).

Рисунок 14. Леса в подмостовом пространстве (разработано автором)

Рисунок 15. Статические и динамические испытания моста (разработано автором)

Рисунок 16. Открыто движение по мосту (разработано автором)

Заключение

В ноябре 2018 года были проведено обследование, приемочные статические и динамические испытания моста (рисунок 15). Результаты испытаний свидетельствуют о соответствии фактического напряженно-деформированного состояния конструкции пролетного строения проектным предпосылкам его работы. Сооружение может быть принято под нагрузку НК-80. После приемки рабочей комиссией Никольский мост был открыт для движения пешеходов и автотранспорта (рисунок 16).

ЛИТЕРАТУРА

1. Demir H. Strengthening and repair of steel bridges. Techniques and management / H. Demir – Sweden, Chalmers university of technology, 2011 г. – 133 с.
2. Ghannam M. Strengthening and repairing of an existing steel bridge using post tensioning / M. Ghannam – International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 2014 г. – 11 с.
3. Hyun-Chan Park Strengthening a damaged steel girder bridge by the replacement repair welding / Hyun-Chan Park, Chin-Hyung Lee, Kyong-Ho Chang – KSCE Journal of Civil Engineering, 2012 г. – с. 1243–1249.
4. Бобриков Б.В. Строительство мостов / Б.В. Бобриков, И.М. Русаков, А.А. Царьков – М.: «Транспорт», 1987 г. – 304 с.
5. Строительство мостов и труб / под ред. В.С. Кириллова – М.: «Транспорт», 1975 г. – 698 с.
6. Казарян В.Ю., Сахарова И.Д. Патент РФ № 2018123965 от 02.07.2018 / ООО «НПП СК МОСТ».
7. Ильясевич С.А. Металлические коробчатые мосты / С.А. Ильясевич – М.: Транспорт, 1970 г. – 279 с.
8. Пастушков Г.П. Проектирование мостов. Пособие / Г.П. Пастушков, Л.Г. Расинская – Минск: БНТУ, 2017. – 41 с.
9. Владимирский С.Р. Проектирование мостов / С.Р. Владимирский – СПб.: ООО «Изд-во ДНК», 2006. – 320 с.
10. Смирнов В.Н. Строительство городских мостовых сооружений: Учебник / В.Н. Смирнов – Изд-во ДНК, 2010. – 430 с.
11. Казарян В.Ю., Сахарова И.Д. Патент РФ № 2205913 от 10.06.2003 / ООО «НПП СК МОСТ».

Kazaryan Vilgelm Yuryevich
«NPP SK MOST» Ltd., Balashikha, Russia
E-mail: nppskmost@yandex.ru

Sakharova Inna Dmitrievna
«NPP SK MOST» Ltd., Balashikha, Russia
E-mail: nppskmost@yandex.ru

Reconstruction of an arched metal bridge over the Kineshemka River in the city of Kineshma, Ivanovo Region

Abstract. This article discusses the technology of reconstruction of a metal arch bridge by reinforcing the structure with prestressed elements. The main metal beams were in unsatisfactory condition, the metal structures of the span below the level of the roadway slab are subject to deep layered corrosion up to the formation of through damage. To restore the bearing capacity of the main beams of the Nikolsky bridge across the Kineshemka river, their reinforcement is provided. The main task when performing the reinforcement of the main beams is the installation of new prestressed reinforced concrete beams directly inside the old metal main beams of the bridge with the regulation of forces in high-strength ropes. Due to the fact that the effort of high-strength ropes cannot be immediately brought to maximum design loads, a step-by-step prestressing scheme of ropes with synchronous sectional concreting of main beam compartments is proposed. The process of tension in the reinforced concrete beam of the main beams is carried out in two stages: stress at the end sections, where an anchoring system was created in four corners and then prestressing the main gift space with concreting sections between the pendants according to a specially developed scheme in the work design. Only fiber-reinforced concrete is used, and reinforcing stops were welded to work together with the inner surface of the main beams. Examples of reinforcing steel beams with steel strands on steel-reinforced concrete spans already existed, however, the transfer of force through a reinforced concrete inner beam was carried out for the first time in the world. After the main tie-in beams began to work together with a metal arch, it was decided to start repairing the cross-beams, which hold the reinforced concrete slab in the longitudinal direction, and themselves rely on the main beams. Some transverse beams were corroded to the point that they were holding onto a reinforced concrete slab, therefore NPP SK MOST developed a technology for prestressing the transverse beams with their jacking and subsequent shotcreting from all sides, and they were supported on the main beams, which were already ready for perception load. In conclusion, the authors confirm the effectiveness of the proposed technology; At the end of 2018, an examination and acceptance testing of the Nikolsky Bridge was carried out. The results of static and dynamic tests of the bridge indicate that the actual stress-strain state of the span structure is consistent with design values. The bridge can be taken under load NK-80. After the acceptance of the bridge structure by the working commission, traffic was opened for cars and pedestrians.

Keywords: prestressed structures; reinforcement of metal bridges; fiber concrete; shotcrete; main beams; bridge reconstruction; load recovery

REFERENCES

1. Demir H. (2011). *Strengthening and repair of steel bridges. Techniques and management*. Sweden: Chalmers university of technology, p. 133.
2. Ghannam M. (2014). Strengthening and repairing of an existing steel bridge using post tensioning. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, p. 11.
3. Hyun-Chan Park, Chin-Hyung Lee, Kyong-Ho Chang (2012). Strengthening a damaged steel girder bridge by the replacement repair welding. *KSCE Journal of Civil Engineering*, pp. 1243–1249.
4. Bobrikov B.V., Rusakov I.M., Tsar'kov A.A. (1978). *Stroitel'stvo mostov. [Bridge construction.]* Moscow: "Transport", p. 304.
5. Ed. by V.S. Kirillov (1975). *Stroitel'stvo mostov i trub. [Construction of bridges and pipes.]* Moscow: "Transport", p. 698.
6. Kazaryan V.Yu., Sakharova I.D. (2018). Patent RF № 2018123965 ot 02.07.2018. [*RF patent No. 2018123965 dated 02.07.2018.*] LLC NPP SK MOST.
7. Il'yasevich S.A. (1970). *Metallicheskie korobchatye mosty. [Metal box axles.]* Moscow: "Transport", p. 279.
8. Pastushkov G.P., Rasinskaya L.G. (2017). *Proektirovanie mostov. Posobie. [Bridge design. Allowance.]* Minsk: Belarusian National Technical University, p. 41.
9. Vladimirskiy S.R. (2006). *Proektirovanie mostov. [Bridge design.]* Saint Petersburg: ООО «DNA DNA», p. 320.
10. Smirnov V.N. (2010). *Stroitel'stvo gorodskikh mostovykh sooruzheniy: Uchebnik. [Building Urban Bridge Structures: A Textbook.]* Saint Petersburg: ООО «DNA DNA», p. 430.
11. Kazaryan V.Yu., Sakharova I.D. (2003). Patent RF № 2205913 ot 10.06.2003. [*RF patent No. 2205913 dated 10.06.2003.*] LLC NPP SK MOST.