

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПЕШЕХОДНОГО МОСТА ЧЕРЕЗ РЕКУ ЗАПАДНЫЙ БУГ НА ТЕРРИТОРИИ БРЕСТСКОЙ КРЕПОСТИ

RECONSTRUCTION OF THE PEDESTRIAN BRIDGE ON THE WESTERN BUG RIVER IN THE BREST FORTRESS

Приведены результаты технической экспертизы пешеходного моста через реку Западный Буг на территории Брестской крепости. Представлено новое конструктивное решение моста, приведены результаты его численного моделирования и описаны особенности монтажа.

The results of technical expert assessment of the pedestrian bridge on the Western Bug river in the Brest fortress are given. The new design solution for the bridge is presented, its numerical modeling results are given, and the specific features of mounting works are described.



В. И. Драган,
кандидат технических наук,
первый проректор Брестского
государственного технического
университета, г. Брест,
Беларусь

А. Б. Шурин,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Строительные
конструкции» Брестского
государственного технического
университета, г. Брест,
Беларусь

Н. Н. Шалобьта,
кандидат технических наук,
заведующий кафедрой
«Строительные конструкции»
Брестского государственного
технического университета,
г. Брест, Беларусь

В. Л. Шевчук,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Строительные
конструкции» Брестского
государственного технического
университета, г. Брест,
Беларусь

Введение

История строительства и реконструкции Брестской крепости тесно связана с функционированием оборонительного форпоста западных рубежей Российской империи и впоследствии СССР. Рассматривая данное уникальное сооружение, необходимо обратить внимание на коммуникационные коридоры, связывающие цитадель как с городом Брест-Литовск (г. Брест), так и другими населенными пунктами Беларуси и Польши. За период функционирования крепости эти связи окончательно определились, и были построены мостовые сооружения, которые обеспечивали существование оборонительного комплекса (рис. 1).

Мосты в крепости возводились как из чугуна (Тереспольский), так и из стали (Бригидский). Некоторые мосты были построены уже после ввода крепости в эксплуатацию. Один из таких мостов через реку Западный Буг соединял Кобринское укрепление с Тереспольским (с переходом на остров Пограничный). В середине XIX в. он был деревянным, неоднократно перестраивался и просуществовал до первой мировой войны. В 20–30-х годах XX века на его месте австрийским подрядчиком был возведен новый подвесной мост, русловой пролет которого был уничтожен в 1941–1944 годах. В 1948 г. с использованием сохранившихся опор несущие конструкции подвесного пролетного строения моста были восстановлены и эксплуатировались практически до начала нынешнего столетия.

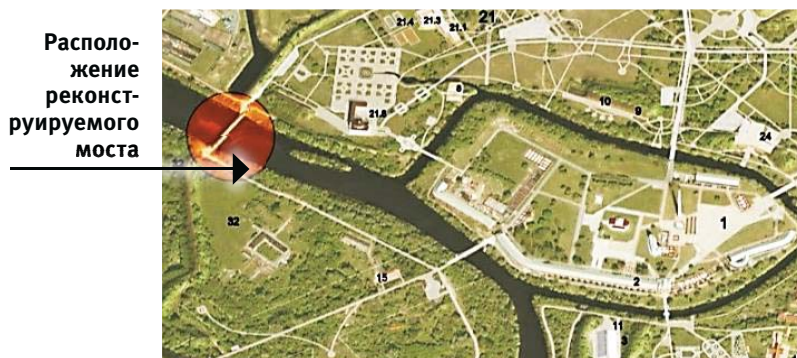


Рисунок 1 – Фрагмент плана Брестской крепости



Рисунок 2 – Общий вид моста до реконструкции

Техническая экспертиза

Подвесной мост перекрывает русло реки Западный Буг. Пролет по осям пилонов составляет 143,25 м. В соответствии с [1] по статической схеме данный мост относится к висячим. Схема расположения моста показана на рисунке 1. Общий вид моста до реконструкции – на рисунке 2.

Главным несущим элементом моста являются четыре гибкие криволинейные нити (каната), которые опираются на стальные пилоны, поддерживающие с помощью подвесок пешеходную часть моста. Канаты расположены по два на каждой паре пилонов. На этапе технической экспертизы по результатам испытания проволок, отобранных из прядей канатов, несущая способность по значению временного сопротивления стали при испытаниях каната в целом составила $N_{\text{шт}} = 1060$ кН. Следовательно, в конструкции моста применены канаты двойной свивки с органическим сердечником диаметром 50 мм по ГОСТ 3079 [2]. Усилие натяжения канатов передается на прямоугольные анкерные устройства размерами в плане 7,1 × 6,0 м, выполненные из монолитного железобетона. Верх анкерных

устройств находится на одной отметке с поверхностью земли, глубина заложения – до 2,8 м.

Пилоны подвесного моста выполнены в виде пространственной стержневой пирамидальной четырехгранной фермы. Высота пилона – 10 м, что составляет 1/14 пролета. Нижнее основание пирамиды – прямоугольное в плане с размерами в осях 2270 × 1078 мм, верхнее – 760 × 566 мм. Стойки пилонов выполнены в виде сварной коробки из двух швеллеров № 30 по ГОСТ 8240-97. Раскосы и стойки выполнены из равнополочных уголков 140 × 12 по ГОСТ 8509-93. На оголовке пилонов установлены катки диаметром в опорной части и месте опирания канатов 100 мм, в средней части – диаметром 160 мм [3, 4]. Общий вид оголовка пилонов приведен на рисунке 3.

В качестве несущих конструкций полотна моста использованы деревянные брусья сечением 135 × 220 мм, уложенные на несущие уголки. По брусьям уложен сплошной деревянный настил высотой 70–80 мм и шириной от 80 до 110 мм. Полотно подвешено к канатам с помощью подвесок диаметром 25 мм (рис. 4).

С целью определения геометрии провисания канатов при обследовании была проведена тахеометрическая съемка моста. Стрела провисания канатов на момент обследования составила 10,495 м. Учитывая длину подвесок в средней части моста (2 м), можно заключить, что полотно моста «провисло» по отношению к горизонту на величину около 2 метров (рис. 4б). Часть подвесок «оторвана» от полотна, полотно моста частично разрушено. В связи с тем, что существующий мост не способен воспринимать проектные нагрузки и не обладает требуемой жесткостью, а также в связи с очередностью реализации концепции воссоздания историко-культурного комплекса «Брест» для обеспечения связи через водные системы необходима реконструкция подвесного моста через реку Западный Буг.



Рисунок 3 – Общий вид оголовка пилонов и опорных катков



Рисунок 4 – Общий вид крепления подвесок к канатам (а) и провисание полотна моста (б)

Новое конструктивное решение

Ключевым условием при разработке проекта реконструкции моста было сохранение существующих вант-канатов, пилонов, опор и анкерных устройств.

По статической схеме в соответствии с [1] запроектированный мост представляет собой комбинированную систему. Пролетное строение моста выполнено в виде трехпролетной неразрезной пространственной арочной фермы: крайние пролеты имеют длину 29,93 м, центральный пролет – 79,5 м. Применение трехпролетной схемы обусловлено недостаточной несущей способностью канатов и технико-экономическими показателями.

Основными элементами пространственной стальной арочной фермы являются две плоские стальные арки. Учитывая разницу в отметках опор по берегам реки, стрела подъема арок – 2,5 и 3,5 м соответственно. Высота по осям поясов арок составляет 2,0 м. Длина панели верхнего пояса по осям узлов 4958 м. Ширина пролетного строения по осям пилонов 4,28 м. Из условия транспортирования и монтажа арочная ферма разбита на 7 пространственных отправочных блоков.

Пояса ферм выполнены в виде сварной коробки из листовой стали по ГОСТ 19903-94 класса С345 по ГОСТ 27772-88. Высота и ширина сечений поясов 200 мм. Толщина листов сварной коробки переменная и принималась в зависимости от эпюры изгибающих моментов на опорах и в пролете и соответствующей величины продольного усилия в поясах фермы. Наибольшее сечение по площади принято на первой промежуточной опоре и в центральном пролете, что соответствует наибольшему изгибающему моменту, наименьшее – в точке нулевых моментов.

Применение сварной коробки в поясах обусловлено недостаточной несущей способностью гнутосварных замкнутых профилей по ГОСТ 30245-2003, а использование горячеката-

ных профилей в качестве поясов увеличивает расход металла на 30 %–35 %. Технология проектирования и изготовления сечений в виде сварных коробок была использована при проектировании и строительстве дворца водных видов спорта в г. Бресте. Применение сварной коробки позволило обеспечить общую устойчивость верхнего пояса на участках между прогонами, так как в соответствии с требованиями ТКП ЕН 1993-1-1 [5] прямоугольные коробчатые сечения не подвержены потере устойчивости плоской формы изгиба.

Решетка фермы треугольная, выполнена из труб стальных гнутых замкнутых сварных квадратных по ГОСТ 30245-2003: гн.□120 × 7, гн.□100 × 5, гн.□80 × 4 из стали С345 по ГОСТ 27772-88.

В узлах верхнего и нижнего поясов в местах крепления раскосной решетки в районе «носки» и «пятки» для обеспечения местной устойчивости стенок поясов и поясов на продавливание раскоса приварены ребра жесткости (рис. 5).

По верхнему поясу в узлах ферм расположены поперечные балки из двутавров стальных горячекатаных 20Б1 по ГОСТ 26020-93. В середине пролета поперечных балок расположен швеллер 20П по ГОСТ 8240-97, который используется в качестве промежуточной опоры для брусьев настила моста.

Центральная секция поддерживается при помощи подвесок, выполненных из труб $\varnothing 60 \times 5$, расположенных в узлах ферм. Подвески с контролируемым натяжением крепятся к канатам при помощи стальных пластин с пазами и болтов.

Пространственная жесткость моста обеспечивается при помощи плоских вертикальных связей ферм, поперечных балок из двутавров стальных горячекатаных 20Б1 по ГОСТ 26020-93, расположенных в каждом узле верхнего пояса, и крестовых связей из проката стального круглого горячекатаного диаметром 24 мм по ГОСТ 2590-2006 с включением в работу деревянного настила. Повышение вертикальной

ные опоры. Крайние тросы со стороны установки кранов были опущены в воду, а с другой стороны моста оттянуты в сторону от монтируемой конструкции. Центральный пролет моста длиной 60 м, состоящий из трех секций, собирался на правом берегу реки на специальной монтажной площадке и далее с помощью блоков и лебедок затягивался на понтонный мост. Подъем секции осуществлялся двумя кранами типа ДЭК-251. Длина стрелы составляла 30 м, вылет – 15 м. Грузоподъемность кранов на указанном вылете составляла 12 т. Вес поднимаемой секции моста по чертежам КМД не превышал 22 т.

Поднятая секция соединялась со смонтированными ранее секциями равнопрочным сварным стыковым соединением, разработанным специалистами кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета. Проведенные предварительные расчеты среднего пролета моста на нагрузки от собственного веса показали наличие запаса несущей способности, что дало возможность монтажа конструкции длиной 60 м (рис. 6).

Предварительное натяжение канатов создавалось весом металлических конструкций моста. Для этих целей пролетное строение моста опиралось на временные столики высотой 700 мм, установленные под все опоры моста. После жесткого присоединения канатов в центральных узлах ферм (рис. 5) полотно моста длиной около 140 м с использованием гидравлических домкратов было опущено до уровня проектных отметок основных опор. В результате такой технологии монтажа все канаты были включены в работу. Усилие натяжения конт-



Рисунок 6 – Монтаж центрального пролета моста длиной 60 м двумя кранами ДЭК-251

ролировалось тензOMETрами и составило 71,1 кН в каждом канате.

Заключение

Разработанный специалистами кафедры строительных конструкций БрГТУ проект реконструкции моста через реку Западный Буг на территории Брестской крепости позволил сохранить существующие конструкции пилонов, опор, анкерных устройств и вант-канатов. Проведенные испытания моста путем его загрузки подвижной испытательной нагрузкой подтвердили принятые авторами конструкторские решения. Полученные усилия в канатах не превысили расчетных значений. При осмотре конструкции моста каких-либо повреждений, искривлений и потери устойчивости элементов, а также разрушений узлов не обнаружено, все элементы покрытия работают упруго. 🚧

Литература

1. Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-3.03-232-2011 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2012. – 299 с.
2. Канат двойной свивки типа ТЛК-О конструкции 6×37(1+6+15+15)+1 о.с. Сортамент : ГОСТ 3079-80*. – М. : ИПК изд-во стандартов, 1996.
3. Горев, В. В. Металлические конструкции : в 3 т. / В. В. Горев [и др.] ; под общ. ред. В. В. Горева. – Т. 3 : Специальные конструкции и сооружения. – 3-е изд., испр. – М. : Высшая школа, 2005. – 544 с.
4. Обследование технического состояния строительных конструкций подвесного моста через реку Буг в районе пограничного знака № 1265: научно-технический отчет по хозяйственному договору № 11/83 от 17.01.2011. – Брест : БрГТУ, 2011. – 42 с.
5. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. Еврокод 3 : ТКП EN 1993-1-1-2009 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2010. – 67 с.
6. Городецкий, А. С. ПК ЛИРА, версия 9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций : справочно-теоретическое пособие / А. С. Городецкий [и др.] ; под общ. ред. А. С. Городецкого. – М. : Факт, 2003. – 464 с.
7. Лира версия 9.0. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций : справочно-теоретическое пособие. – Киев : Факт, 2003. – 472 с.
8. Кирсанов, Н. М. Висячие и вантовые конструкции : учеб. пособие для вузов / Н. М. Кирсанов. – М. : Стройиздат, 1981. – 158 с.
9. Нормы проектирования. Стальные конструкции : СНиП II-23-81* / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП, 1990. – 96 с.
10. Нагрузки и воздействия : СНиП 2.01.07-85 / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП, 1986. – 36 с.

Статья поступила в редакцию 16.03.2014