

Н.Н. ШАЛОБЫТА, канд. техн. наук доцент,
Т.П. ШАЛОБЫТА, канд. техн. наук доцент,
В.И. ДРАГАН, канд. техн. наук доцент,
А.Б. ШУРИН, канд. техн. наук
(Брестский государственный технический
университет)

РЕКОНСТРУКЦИЯ ВИСЯЧЕГО ПЕШЕХОДНОГО МОСТА В БРЕСТСКОЙ КРЕПОСТИ

История формирования, строительства и реконструкции Брестской крепости тесно связана с функционированием оборонительного форпоста западных рубежей Российской империи и впоследствии СССР, политическими событиями в государстве и мире. Рассматривая данное уникальное сооружение не только как изолированную цитадель, необходимо обратить внимание на коммуникационные коридоры, связывающие цитадель с городом Брест-Литовск (г. Брест), с населенными пунктами Беларуси, Украины и Польши. За период функционирования крепости эти связи окончательно определились и, учитывая водную систему вокруг крепости, сформировались и мостовые сооружения, которые обеспечивали существование оборонного комплекса (рис. 1).



Рис. 1. Фрагмент плана Брестской крепости
I – реконструируемый подвесной мост

Мосты в крепости строились из различных материалов – чугуна (Тереспольский), сталь (Бригидский). Часть мостов была построена уже после ввода крепости в эксплуатацию. Один из таких мостов через р. 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, русловый пролет которого был уничтожен в 1941 – 44 годах. В 1948 г. с использованием сохранившихся опор восстанавливаются несущие конструкции подвесного пролетного строения моста, которые эксплуатировались практически до начала нынешнего столетия (рис. 2, 3).

Техническая экспертиза. Подвесной мост перекрывает русло реки Западный Буг пролетом по осям пилонов 143,25 м. В соответствии с [10] по статической схеме данный мост относится к висячим. Общий вид моста до реконструкции приведен на рис. 2.

Главным несущим элементом такого моста является четыре гибкие криволинейные нити (каната), которые опираются на стальные пилоны, и поддерживающие с помощью подвесок пешеходную часть моста. Канаты расположены по два на каждой паре пилонов. На этапе технической экспертизы по результатам испытания проволок, ото-

бранных из прядей канатов, несущая способность по значению временного сопротивления стали при испытаниях каната в целом составила $N_{ин} = 1060$ кН. Следовательно, в конструкции моста применены канаты двойной свивки с органическим сердечником (типа ТЛК-О конструкции) диаметром 50 мм по ГОСТ 3079 [6]. Усилие натяжения канатов передается на прямоугольные анкерные устройства размера 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.



Рис. 2. Общий вид моста до реконструкции

Пилоны подвесного моста выполнены в виде пространственной стержневой пирамидальной четырехгранной фермы. Высота пилона составляет 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. Раскосы и стойки выполнены из равнополочных уголков 140×12 (ГОСТ 8509). Раскосы и стойки выполнены из равнополочных уголков 140×12 по ГОСТ 8509.

На оголовке пилонов установлены катки диаметром в опорной части и месте опирания канатов 100 мм (двух каналов), в средней части диаметром 160 мм [1, 5]. Общий вид оголовка пилонов приведен на рис. 3.

В качестве несущих конструкций полотна моста использованы деревянные брусья сечением 135×220 мм, уложенные на несущие уголки и соединенные. По брусьям уложен сплошной деревянный настил различного сечения высотой 80 мм и шириной от 80 до 110 мм.

Полотно подвешено к канатам с помощью подвесок диаметром 25 мм (рис. 4).

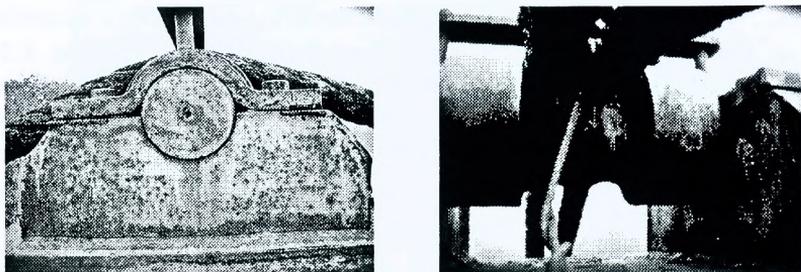


Рис. 3. Общий вид оголовка пилонов и опорных катков

При обследовании с целью определения геометрии провисания канатов была проведена тахеометрическая съёмка моста. Стрела провисания канатов на момент обследования составила 10,495 м. С учетом длины подвесок в средней части моста (2 м) можно заключить, что полотно моста «провисло» по отношению к горизонту на величину около 2-х метров (рис. 4, б). Часть подвесок «оторвана» от полотна, полотно моста частично разрушено. Установлено, что мост не способен воспринимать проектные нагрузки и не обладает требуемой жесткостью, требуется перепроектирование полотна моста [5].

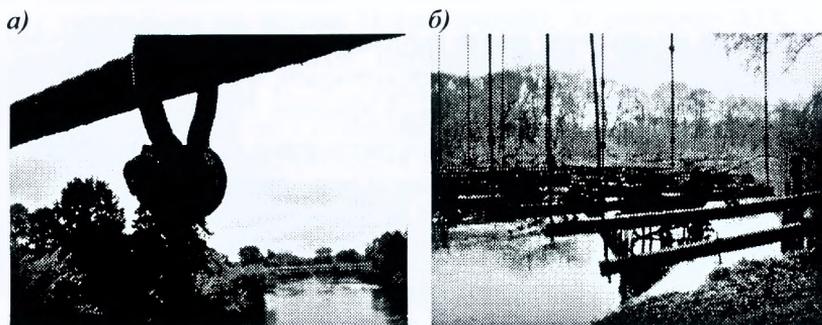


Рис. 4. Общий вид

а) – крепления подвесок к канатам; б) – провисание полотна моста

К настоящему времени в связи с неудовлетворительным техническим состоянием элементов пролетных конструкций, для обеспечения связи через водные системы, определения очередности реализации концепции воссоздания «Историко-культурного комплекса

Брест», сложилась необходимость воссоздания подвешенного моста через р. Западный Буг.

Новое конструктивное решение. В результате анализа технического состояния строительных конструкций подвешенного моста и численного моделирования, была осуществлена возможность по воссозданию моста с возможностью сохранения существующих вант-канатов, пилонов и опор.

По статической схеме в соответствии с [10] 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. Общий вид моста приведен на рис. 5.

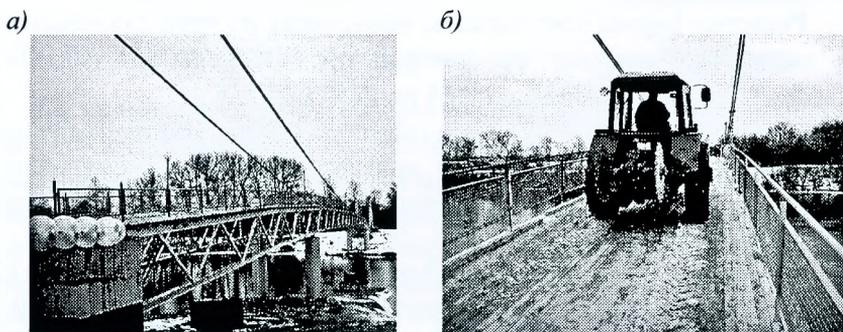


Рис. 5. Общий вид моста

а) – в процессе строительства; *б)* – в процессе испытаний

Основными элементами пространственной стальной арочной фермы являются 2 плоские стальные арки с высотой по осям поясов 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 класса С345 по ГОСТ 27772. Высота и ширина 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 фер-

мы. 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. Прочностные расчеты на стадии архитектурно проекта позволили установить, что использование горячекатаных профилей в качестве поясов увеличивает расход металла на (30 ... 35) %. Технология проектирования и изготовления таких сечений 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, т.к. в соответствии с требованиями ТКП ЕН 1993-1-1 [9] прямоугольные коробчатые сечения не подвержены потере устойчивости плоской формы изгиба.

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

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. 4).

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

Центральная секция поддерживается при помощи подвесок, выполненных из труб $\varnothing 60 \times 5$ мм, 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 связевых ферм, поперечных балок из двутавров стальных горячекатаных 20Б1 по ГОСТ 26020, расположенных в каждом узле верхнего пояса и крестовых связей из проката стального круглого горячекатаного $\varnothing 24$ мм по ГОСТ 2590 с включением в работу деревянного настила. Повышение вертикальной жесткости мос-

та обеспечивается также за счет предварительного натяжения канатов и их жесткого присоединения к пространственной ферме в середине пролета (рис. 6) [2].

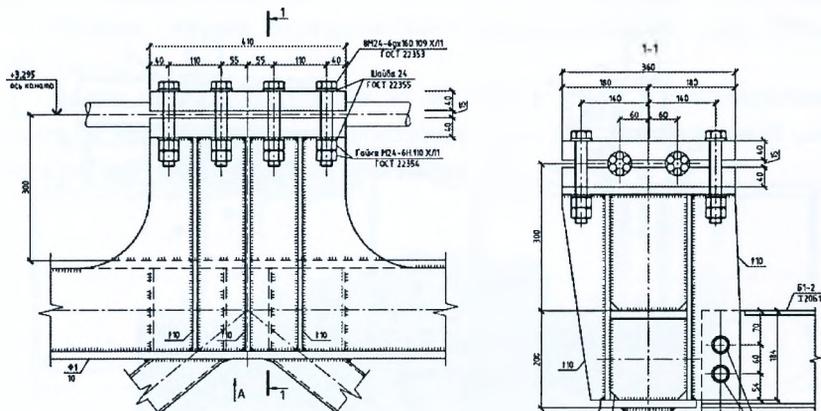


Рис. 6. Центральный узел крепления канатов к верхнему поясу

По краям (по осям 2 и 5) пространственная ферма опирается на существующие береговые железобетонные опоры, служащие также фундаментами под стальные пилоны. В процессе реконструкции был произведен их ремонт, включающий в себя очистку поверхностей, восстановление поврежденного коррозией слоя бетона с последующим монолитированием бетоном класса С20/25, W6, F200.

Промежуточные опоры (по осям 3 и 4) представляют собой сталежелезобетонные буронабивные сваи. Количество свай на каждой промежуточной опоре – 2. В качестве обсадной трубы принята электросварная труба $\varnothing 1220 \times 10$ по ГОСТ 10704 из стали С245 по ГОСТ 27772. Бетонирование свай выполнено с применением бетона класса С20/25, W6, F200 с маркой по самоупрочению Sp0,6. Рабочая арматура в каркасе представлена 8 стержнями $\varnothing 20$ S500, распределительная – $\varnothing 8$ S500.

Для исключения передачи на опоры распора от изменения температуры и снижения чувствительности моста к осадкам опор разработана специальная опорная конструкция. Опорная реакция от собственного веса моста и временной нагрузки передается на сталежелезобетонные колонны через два цилиндрических катка, на фундамент пилонов – через один каток. Опорные катки выполнены из проката

круглого горячекатаного $\varnothing 150$ мм по ГОСТ 2590 из легированной конструкционной стали 40X по ГОСТ 4543. Конструктивное решение и общий вид промежуточной опоры представлен на рис. 7.

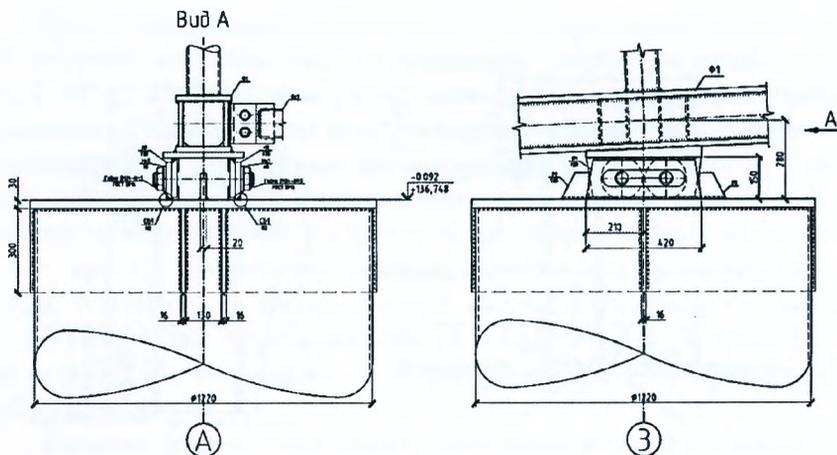


Рис. 7. Узел опирания моста на сталежелезобетонные опоры

Статический расчет покрытия производился с использованием ПК «ЛИРА», SAP2000 и контролировался по методикам, изложенным в нормативных документах. Статический расчет выполнялся в геометрически-нелинейной постановке и предполагал расчет на следующие виды нагрузок:

- предварительное натяжение канатов;
- нагрузка от собственного веса (вес полотна моста, деревянного настила, освещение и ограждение);
- переменная нагрузка (нормативное значение 4 кПа), приложенная по различным схемам загрузки;
- подвижная нагрузка 30 кН.

Монтаж. Строительство пешеходного моста осуществлялось комплексным потоком. Отсыпка монтажных площадок осуществлялась с двух сторон реки до промежуточных опор в осях 3 и 4, которые в дальнейшем были укреплены дорожными плитами. Монтаж полотна моста производился пространственными блоками. С каждого берега монтировались по две секции длиной по 40 м, которые опираются на фундаменты под пилоны и промежуточные опоры. Крайние тросы со стороны установки кранов были опущены в воду, а с другой сто-

роны моста – оттянуты в сторону от монтируемой конструкции. Центральный пролет моста длиной 60 м, состоящий из трех секций, соби-рался 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 (рис. 8).

Длина стрелы составила 30 м, вылет 15 м. Грузоподъемность кранов на указанном вылете составила 12 т. Вес поднимаемой секции моста по чертежам КМД не превышал 22 т.



Рис. 8. Монтаж центрального пролета моста длиной 60 м двумя кранами ДЭК-251

Поднятая секция соединялась с смонтированными ранее равно-прочным сварным стыковым соединением, разработанным также специалистами кафедры строительных конструкций БрГТУ. Прове-денные предварительные расчеты среднего пролета моста на нагруз-ки от собственного веса показали наличие запаса несущей спо-собности, что дало возможность монтажа конструкции длиной 60 м (рис. 8).

Предварительное натяжение канатов создавалось весом метал-лических конструкций моста. Для этих целей пролетное строение моста было установлено на временные опоры на величину выше про-ектной отметки на 700 мм. После жесткого присоединения канатов в центральных узлах ферм (рис. 3), полотно моста длиной около 140 м с использованием гидравлических домкратов было опущено до уров-ня проектных отметок основных опор. В результате такой технологии монтажа в каждом канате создавалось усилие величиной 71,1 кН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. : Высш. шк., 2005. – 544 с.
2. 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.
3. Лира версия 9.0. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций : справочно-теоретическое пособие. – Киев : Факт, 2003. – 472 с.
4. Кирсанов, Н.М. Висячие и вантовые конструкции : учеб. пособие для вузов / Н.М. Кирсанов. – М. : Стройиздат, 1981. – 158 с.
5. 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.
6. Государственный стандарт Союза ССР. Канаты стальные. Канат двойной свивки типа ТЛК-О конструкции 6'37(1+6+15+15)+1 о.с. Сортамент : ГОСТ 3079-80*. – М.: ИПК из-во стандартов, 1996.
7. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Стальные конструкции: СНиП II-23-81*. – М.: Госстрой СССР: ЦНИТП, 1990. – 96 с.
8. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85. – М.: Госстрой СССР: ЦНИТП, 1986. – 36 с.
9. Технический кодекс установившейся практики. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1993-1-1-2009. – Мн.: Минархстрой РБ, 2010. – 67 с.
10. Технический кодекс установившейся практики. Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-3.03-232-2011. – Мн.: Минархстрой РБ, 2012. – 299 с.