

Строительство моста через Рейн

В 2010 г. завершено сооружение нового пограничного железнодорожного моста через Рейн взамен устаревшего. Реализация проекта потребовала от проектировщиков и строителей решения сложных технических задач.

В соответствии с договором, подписанным 22 мая 1992 г. в Ла-Рошели, Германия и Франция приняли на себя обязательства по строительству высокоскоростной линии Париж — Восточная Франция — Южная Германия (LGV Paris-Ostfrankreich-Süddeutschland, POS) с мостовым пересечением разделяющей две страны реки Рейн между городами Кель (Германия, федеральная земля Баден-Вюртемберг) и Страсбург (Франция, провинция Эльзас). Другой договор, подписанный 14 марта 2006 г., предусматривал замену существующего моста новым, в большей степени удовлетворяющим требованиям высокоскоростных перевозок. В феврале 2008 г. общеевропейский конкурс на проведение этой работы выиграло командитное товарищество Max Bögl Bauunternehmung GmbH & Co.

История пограничного мостового перехода

Расположение моста имеет стратегическую важность, а его устройство отражало характер отношений между Германией и Францией в разные исторические периоды.

Первоначальный двухпутный железнодорожный мост (рис. 1) был построен в 1858–1861 гг. во времена промышленной революции и действия договора между Францией и Великим герцогством Баден (единой Германии тогда не существовало). Взаимное недоверие, существовавшее между двумя сторонами, привело к тому, что мост был сооружен с тремя средними пролетными строениями общей длиной 177 м и поворотными секциями длиной 26 м у каждого берега, что позволяло каждой из сторон физически закрывать грани-

цу сразу же после соответствующего уведомления. Эти поворотные секции опирались на специальные опоры. Всего несколькими годами позже, во время военных действий 1870–1871 гг., поворотная секция моста с немецкой стороны была взорвана французами. Масштаб разрушений исключал быстрое восстановление сооружения.

В результате той войны провинция Эльзас вошла в состав вновь провозглашенной Германской империи, которая и понесла расходы по восстановлению моста. Поскольку река перестала быть границей, необходимость в восстановлении поворотной секции отпала, и ее в 1874 г. заменило постоянное пролетное строение стальной балочной конструкции. Поворотная секция с бывшей французской стороны после модернизации была зафиксирована в рабочем положении.

В 1919 г. по окончании Первой мировой войны в соответствии с условиями Версальского мирного договора Эльзас был возвращен Франции, под ее же юрисдикцию вернулся и мост. Хотя в последующие годы и обсуждался вопрос о его перестройке с целью, с одной стороны, упрочнения конструкции в расчете на пропуск поездов большей массы и, с другой стороны, увеличения высоты пролетов над уровнем реки для пропуска крупных судов, до реальных мероприятий дело не дошло.

Начало Второй мировой войны привело к тому, что в мае 1940 г. французские войска разблокировали и отвели в нерабочее положение поворотную секцию моста у своего берега и взорвали примыкающий к ней западный пролет (рис. 2). Железные дороги тогдашнего Германского Рейха Reichsbahn (существовали до 1949 г.) незамедлительно построили временные конструкции для восстановления железнодорожного сообщения. Однако незадолго до окончания войны они были разрушены наступающими немецкими войсками.



Рис. 1. Первый железнодорожный мост через Рейн на линии Страсбург — Кель (с почтовой карточки того времени)



Рис. 2. Взорванный мост через Рейн (фото 1940 г.)



Рис. 3. Старый рейнский мост между Страсбуром и Келем

После войны здесь был построен временный мост, который просуществовал до строительства в 1953–1956 гг. постоянного сооружения, в наши дни известного как старый рейнский мост (рис. 3).

Этот однопутный мост состоял из трех стальных пролетных строений со сквозными фермами: двух длиной по 75 м и одного — 90 м. Его береговые устои были построены на фундаментах устоев старого поворотного моста, а пролетные строения опирались на опору, сохранившуюся с 1861 г., и новую опору, построенную кессонным методом.

Конструктивное решение

Учитывая постоянный рост интенсивности железнодорожных перевозок в Европе, новый мост был спроектирован двухпутным и рассчитан на движение поездов со скоростью до 160 км/ч (скорость движения поездов по старому мосту была ограничена 70 км/ч). В соответствии с требованиями администраций, регулирующих судоходство на Рейне, новый мост имеет только одну промежуточную опору примерно посередине русла. Основанием для этой опоры служат буронабивные сваи, установленные с помощью водонепроницаемого кессона. Береговые устои построены на тех же местах, что и конструк-

ции, поддерживавшие в свое время поворотные секции первого моста. Попытка использовать основания старых конструкций была исключена, новые устои опираются на большей глубине на каменное основание русла реки через буронабивные сваи, которые насквозь прошли через старые фундаменты.

Для пролетных строений выбрана балочная конструкция со сквозными фермами. Два пролета имеют длину 131 и 108 м и ширину 13 м. С целью исключения наведенных помех в радиолокационных системах речных судов боковые фермы обоих пролетных строений наклонены внутрь на 5 град.

Изменение технических условий в контракте привело к замене сплошных плоских стальных связей мостовых ферм коробчатыми трапецеидальными, которые, помимо существенных преимуществ по сроку службы и простоте текущего содержания, имеют меньшую массу.

Нагрузки от пролетных строений передаются на несущую структуру через шарнирные опорные соединения, расположенные под стальными балками. Для восприятия продольных нагрузок, которые могут быть довольно значительными (например, при торможении следующих по мосту поездов), опорные конструкции пролетного строения на береговом устое со стороны Ке-

ля снабжены массивными стабилизирующими устройствами. В целях ограничения величины поперечных перемещений, которые благодаря выбранной безбалластной конструкции верхнего строения пути не превышают ± 1 мм, фиксирующие упоры для подрельсовых плит установлены по оси каждого пути. Воздействующие на них усилия передаются на продольные балки ферм через поперечные элементы ферм на уровне несущей путь конструкции.

Верхнее строение пути

К мостовому полотну предъявлялось несколько важных требований. В первую очередь они были обусловлены планом трассы пути со стрелочными переводами со стороны станции Кель на восточном берегу Рейна и со стороны станции Страсбур на противоположном берегу. Другим важным требованием была необходимость дополнительно поднять мост на 250 мм, т. е. до 12,2 м над ординарным уровнем воды в реке (во время половодья — не менее чем до 7 м) в интересах судоходства. Обычная путевая структура на балласте, имеющая значительную толщину, в данном случае была непригодна. Поэтому на новом мосту использовано верхнее строение пути типа Bögl FFB на плитном основании, общая высота

которого составляет 520 мм. Исходя из специфических параметров пролетных строений моста здесь применены плиты размером 5100 × 3200 мм и толщиной 240 мм, на которые нанесен слой наливного бетона толщиной 30 мм.

Нагрузки, возникающие при движении поездов по мосту, передаются на стальное мостовое полотно через упругие маты, на которые уложены плиты. Поперечным перемещениям плит препятствуют продольные буртики или приваренные охранные упоры. Упругие подплитные маты не только работают в качестве разделительного слоя, но и дают возможность простой замены плит, а также снижают уровень шума при движении поездов по новому мосту по сравнению со старым.

Еще одной специфической особенностью верхнего строения пути на этом мосту является использование на переходах между береговыми устоями и пролетными строениями уравнивающих плит со специальными рельсовыми скреплениями, обеспечивающими возможность продольного перемещения рельсов при изменениях температуры. Для предотвращения схода колес с рельсов установлены контррельсы.

В связи с тем что впервые в практике мостостроения путь на плитном основании уложен в стальном корыте, дополнительно потребовалось применение нескольких инновационных решений, которые были разработаны, апробированы и утверждены техническими экспертами железных дорог Германии (Deutsche Bahn, DB) и Федерального бюро железных дорог Германии (Eisenbahn-Bundesamt, EBA).

Процесс строительства моста

Старый однопутный мост являлся важным звеном трансъвропейской железнодорожной сети, и временные перерывы в движении поездов для выполнения работ по текущему содержанию и ремонту были

возможны лишь на короткое время с обязательным предварительным согласованием выделяемых окон. В связи с этим строительство нового моста параллельно старому пришлось вести в условиях движения поездов по действующей линии.

Предварительно для размещения новых стальных пролетных строений рядом со старыми потребовалось увеличить площадь несущих оснований с соответствующим их усилением. Старые береговые устои разбирались поэтапно в защитных кожухах: сначала одна половина устоя с возведением новой, а затем вторая. Ширина двух промежуточных опор была увеличена с использованием несущих консольных балок, опирающихся на дополнительные опоры с фундаментами глубокого заложения, устроенные рядом со старыми. На этом этапе работы проводились без прекращения регулярного железнодорожного сообщения по существующему мосту.



Рис. 4. Уложенный путь на новом мосту через Рейн (справа виден еще не демонтированный старый мост)



Рис. 5. Демонтаж пролетных строений старого моста

рожного сообщения по существующему мосту.

Ограниченное свободное пространство на обоих предмостовых подходах вынудило вести сборку пролетных строений на французском берегу на рабочей площадке длиной 50 м. Отдельные элементы пролетных строений собирались в секции будущей конструкции и покрывались защитным антикоррозийным материалом на заводе-изготовителе в г. Ноймаркт (Германия, федеральная земля Бавария). К месту сборки их доставляли автомобильным транспортом. Здесь секции сваривали в пролетные строения длиной 80 м и после этого надвигали вдоль оси моста поперек русла реки рядом со старыми пролетными строениями до половинного устоя на противоположном берегу. Новую конструкцию поддерживали консольные балки, их также постепенно продвигали в сторону новой промежуточной опоры и берегового устоя. Эти операции тоже проводились без остановки движения поездов по старым пролетным строениям.

Укладка пути

После установки новых пролетных строений рядом со старыми приступили к обустройству плитного основания пути. Плиты изготавливали на заводе компании Max Bögl в г. Зенгенталь (Германия, федеральная земля Бавария) под контролем специалистов компании по реализации и обслуживанию крупных железнодорожных проектов DB Projektbau в г. Карлсруэ (Германия, федеральная земля Баден-Вюртемберг). Выборочный контроль качества изготовленных плит проводила также соответствующая служба DB. Марка бетона и тип стальной арматуры для изготовления плит были выбраны в соответствии со статическими и строительными нормативами.

На каждой плите имеется 16 (по восемь с каждой стороны) припод-

нятых полушпал, на которых в заводских условиях закреплены рельсовые скрепления типа Ioagr 300 компании Vossloh для крепления рельсов типа UIC 60. На каждой плите предусмотрены также фиксаторы для установки скреплений под контррельсы типа UIC 33, а также стальные стержни с контактными клеммами для заземления.

После укладки упругих подплитных матов на мостовой настил и приварки в определенных точках охранных упоров все было готово для монтажа плит. Их отправляли с завода-изготовителя по железной дороге на грузовой терминал порта Кель, где перегружали на автомобили и доставляли к рабочей площадке для последующей укладки краем на подготовленное мостовое полотно.

Поскольку после укладки плит пролетные строения уже приняли основную нагрузку (масса рельсов и слоя наливного бетона значительно меньше), остаточную конечную деформацию можно было точно рассчитать.

В данной технологии (в отличие от традиционных методов заливки бетона на месте) вероятность ошибок при укладке рельсов намного меньше и имеется возможность обеспечить желаемую точность на завершающем этапе, даже не прибегая к регулировке с помощью рельсовых скреплений. После укладки плит через имеющиеся в них отверстия нагнетался бетонный раствор, приготовленный на месте из заранее подготовленной сухой смеси и воды. После застывания подплитной поддерживающей прокладки на плиты укладывались ходовые рельсовые плети с контррельсами и закреплялись скреплениями (рис. 4). Одновременно с этими операциями на подходах к мосту с двух сторон укладывался путь на балласте. Таким образом мост был подготовлен к соединению с эксплуатируемыми путями на обоих берегах реки.



Рис. 6. Новый железнодорожный мост через Рейн между Страсбуром и Келем

Завершение строительства

После тщательных испытаний движение поездов со старого моста было переключено на новый. Первый поезд проследовал по нему 14 марта 2010 г., причем сразу же стал очевидным факт существенно-го снижения уровня шума при движении по уложенному на новом мосту пути с плитным основанием.

Вслед за этим рельсы и фермы старого моста были посекционно демонтированы, погружены на понтоны и отбуксированы к местам выгрузки для повторного использования (рис. 5). Старые опоры также демонтировали. Во время проведения этих работ, выполненных в рекордные сроки — за одну неделю, движение поездов осуществлялось по новому мосту в его временном положении.

На завершающей стадии были построены вторые половины береговых устоев для фиксации пролетных строений в их новом положении. Последним этапом было перемещение новой мостовой конструкции на место старого моста, но на новых береговых устоях и промежуточной опоре. Для этого потребовалось закрыть движение поездов на шесть недель. Грузовые поез-



Рис. 7. Высокоскоростные поезда TGV и ICE на мосту через Рейн

да в этот период следовали через Сарбрюккен и Мюлуз, пассажирские поезда заменили автобусами. Полномасштабная эксплуатация нового железнодорожного моста (рис. 6 и 7) началась в сентябре 2010 г.

Успешное строительство современного моста в столь знаменитом историческом месте обошлось в 87 млн. евро и потребовало от его участников высокой квалификации и опыта. Оно прошло без существенных сбоев благодаря слаженной работе компании-исполнителя Max Bögl и курировавшей проект компании DB Projektbau.

C. Berndorfer. Railway Gazette International, 2010, № 9, p. 81–82, 84–85; материалы компании Max Bögl (www.max-boegl.de).