

Оптимальное сочетание экономичности и эстетичности. Виадук через р. Льобрегат, Испания

Питер Таннер и Хуан Луис Беллод,
руководящие партнеры компании «Cesma Ingeniers»

(Впервые опубликовано на англ. языке в журнале «Bridge design & engineering», Second Quarter 2008, № 51, с. 30–31, www.bridgeweb.com под названием Modesty Prevails, авторы P. Tanner и J.L. Bellod)

Новый автодорожный мост в Испании показал, каким образом жесткие требования могут вдохновить инженеров на эстетически привлекательные решения даже при сравнительно небольшой стоимости.

В декабре 2007 г. закончено строительство нового виадука через реку Льобрегат в г. Пуйчрейч, Испания. На примере этого объекта можно показать, каким образом даже самые жесткие требования, предъявляемые к строительству, способны придать импульс поиску удачных решений. Принятый проект конструкции, характеризующийся простотой своих линий, был улучшен тщательным выбором сечения конструктивных элементов и высокой

степенью проработки деталей. Современный, технически совершенный проект мостового сооружения своими элегантными архитектурными решениями отвечает самым строгим эстетическим требованиям стандартов, без необходимости прибегать к декоративным элементам, которые повышают стоимость строительства.

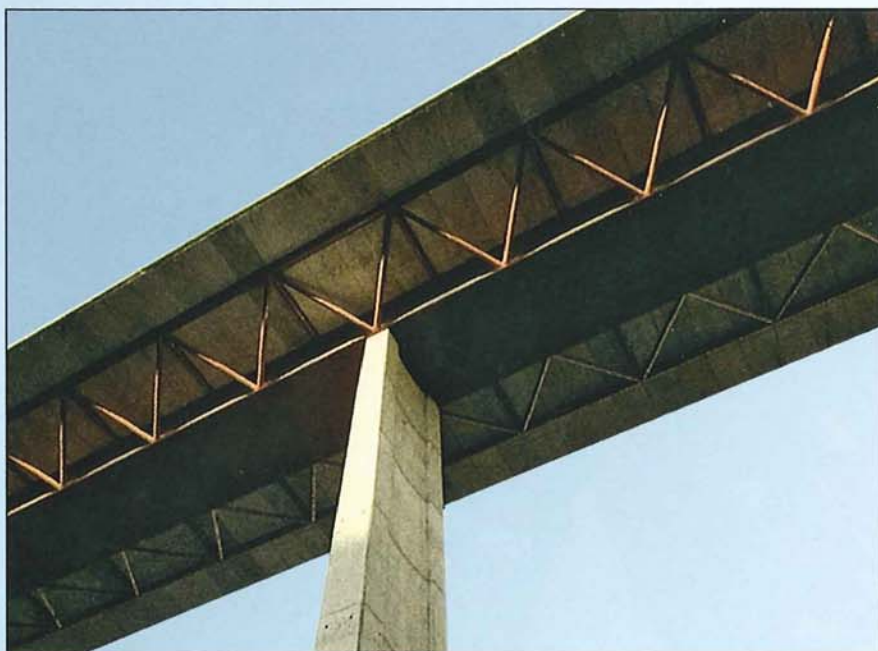
Новый мост, расположенный на участке между городами Пуйчрейч и Берга, является частью

программы реконструкции магистрали С-16 в Каталонии. После введения в эксплуатацию виадука через долину р. Льобрегат время в пути от г. Берга до Барселоны сократилось более чем на полчаса.

Полная длина моста составляет более 550 м. В плане он расположен на прямом участке расширенной магистрали, но, приближаясь к устью со стороны г. Берга, проезжая часть круто поворачивает кривой радиусом 600 м. В продольном направлении мост расположен на прямой с пологим уклоном 1,4 %. Единая проезжая часть рассчитана на пропуск четырех полос движения – по две в каждом направлении – плюс четыре резервные полосы и разделительная полоса. Таким образом, полная ширина плиты проезжей части составляет 23,8 м.

По требованиям экологии вблизи русла реки не допускалось устройство временных опор и использование тяжелой грузоподъемной техники.

Для большинства объектов экономические соображения играют решающую роль в вопросах принятия окончательного инженерного решения, и виадук через долину р. Льобрегат не является исключением. Учитывая местоположение эстакады и то, что она хорошо видна из рядом расположенного города, заказчики желали получить сооружение-достопримечательность с простыми, хорошо гармонирующими с окружающей средой формами. Все эти требования и ограничения сделали особенно важным поиск оптимального решения



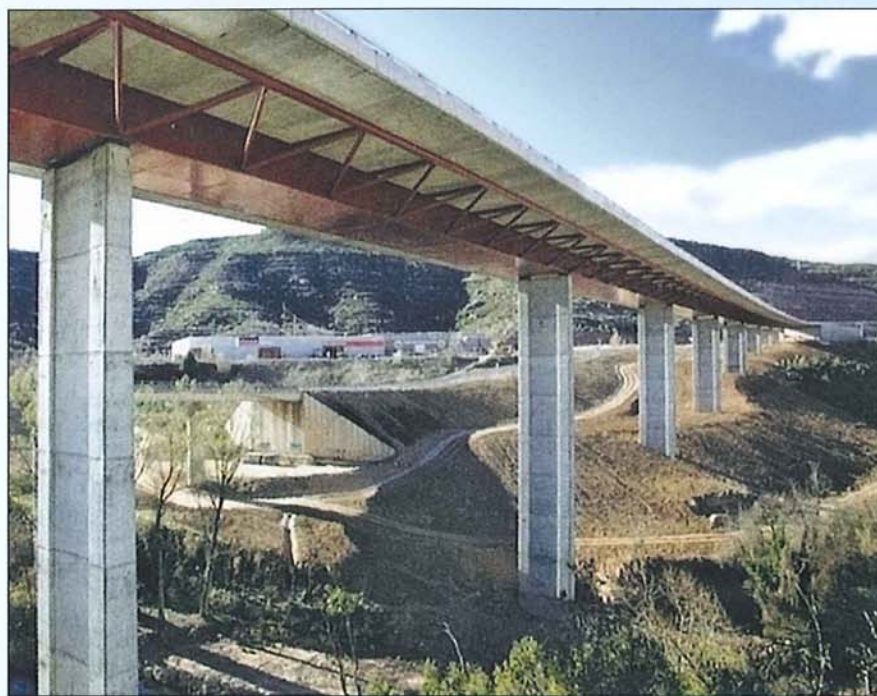
Вид на пролетное строение снизу и на тело промежуточной опоры с вогнутой соединяющей стенкой

при балансе между экономикой и эстетикой.

В качестве пролетного строения принята неразрезная 9-пролетная балка полной длиной 568 м. Топографические особенности местности заставили проектировщиков уменьшить длину обоих крайних пролетов до 60 м, в то время как длина каждого из оставшихся семи пролетов составила 64 м. Соотношение длины среднего пролета к длине крайнего, равное 0,93, является не самым лучшим. К такому решению инженеры пришли после рассмотрения других возможных вариантов, поскольку указанное соотношение улучшает визуальное восприятие пролетного строения с фасада. Наиболее важными факторами, определяющими степень элегантности пролетного строения и всего моста в целом, являются соотношения высоты и длины пролетного строения.

Пролетное строение моста представляет собой сталежелезобетонную конструкцию, состоящую из металлической открытой сверху коробки шириной 6 м и объединенной с ней железобетонной плиты. В зонах опирания металлической коробки на промежуточные опоры ее нижний пояс представляет собой сталежелезобетонную конструкцию, что позволяет более эффективно использовать материал для восприятия сжимающих усилий в нижнем поясе от изгибающих моментов. При высоте стенки металлической коробки 2,55 м отношение ее высоты к длине пролетов равно 1:25. Визуально восприятие этой малой высоты еще более усиливается за счет большого свеса консолей плиты, равного 8,9 м.

Консольные свесы плиты на расстоянии 3,5 м от края консоли оперты на продольные балки, которые являются своеобразным верхним поясом наклонных про-



Вид готового виадука

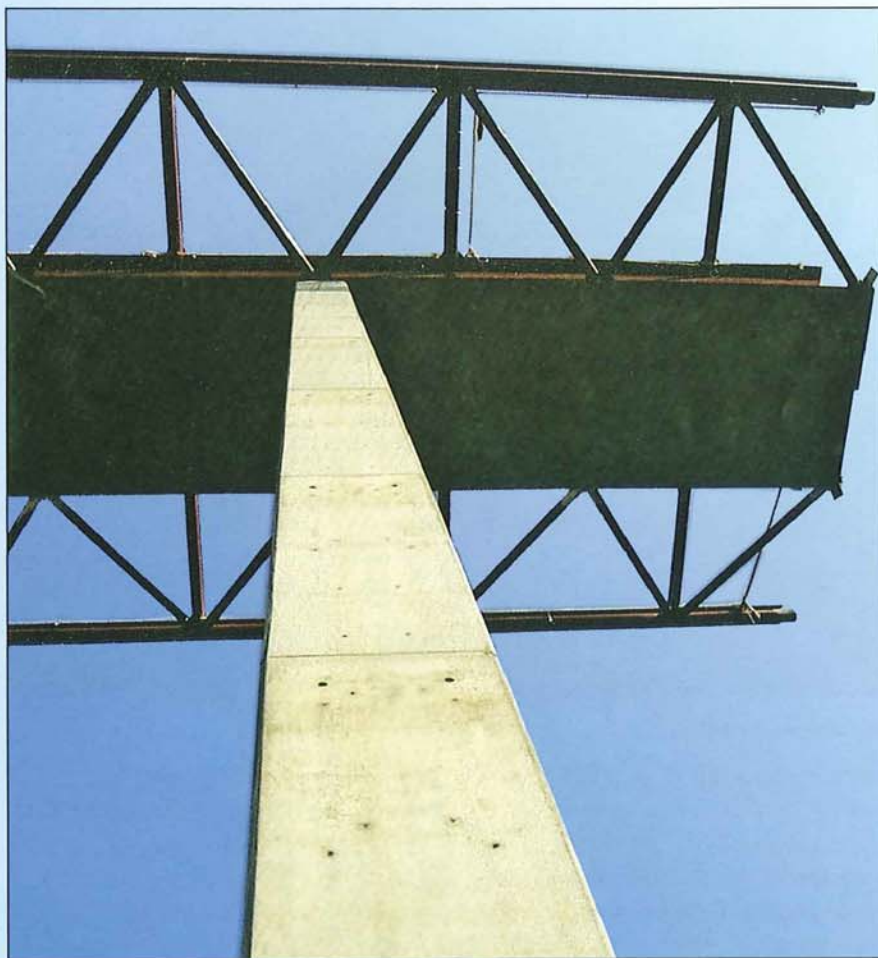
странственных ферм, соединенных, в свою очередь, в поперечном направлении с металлической коробкой наклонными раскосами и горизонтальными балками. Каждая пара раскосов представляет собой V-образный элемент, составленный из круглых полых сечений диаметром 323 мм. Что касается горизонтальных балок, расположенных перпендикулярно к оси моста и примыкающих к верхним продольным поясам коробки, они изготовлены из открытых овальных сечений, заполненных бетоном и объединенных с консолями плиты. После монтажа сборной плиты проезжей части толщиной 80 мм на ее поверхность укладывается слой монолитного бетона, вследствие чего суммарная толщина этой сборно-монолитной плиты возрастает до 180 мм на кромках консоли и до 340 мм – над поясами коробки. Толщина плиты в пределах 6-метровой коробки составляет 240 мм.

Расстояние между точками крепления раскосов к продольному поясу наклонной фермы, так же как и расстояние между гори-

зонтальными балками и точками крепления узла раскосов к нижнему поясу коробки, равно 8 м. Наклонные фермы не только передают металлической коробке нагрузку от консолей плиты, но и участвуют в работе всего пролетного строения, увеличивая его жесткость и прочность сталежелезобетонной конструкции. В то же самое время внешний вид наклонных ферм в достаточной степени привлекательный.

Наиболее экономичным решением было бы применение сборных железобетонных балок с пролетами меньшей длины, к примеру, около 40 м. Однако такое решение было исключено заказчиком, поскольку в этом случае мост потерял бы тот архитектурный облик, который требовался для данного проекта. Экономия в случае подобного альтернативного решения составила бы 15 % от общей стоимости контракта, равной 19 млн долл. США.

Конструкция каждой промежуточной опоры поперек оси моста состоит из двух железобетонных столбов шириной 1,3 м, расположенных на расстоянии



Расчетный коэффициент гибкости тела опоры равен 25

4,7 м между центрами. Столбы соединены железобетонной стенкой с вогнутыми поверхностями, благодаря чему опора принимает вид единого монолитного элемента шириной 6 м. Толщина столба по фасаду переменная, доходя на вершине до 1,4 м. Именно подобные размеры поперечного сечения столба и его высота, доходящая до 43 м, создают впечатление гибкости и элегантности.

Особое внимание уделено тщательной проработке деталей, что имеет решающее значение для обеспечения надлежащих эксплуатационных характеристик (включая долговечность), достаточной надежности от угрозы хрупкого разрушения, усталостной прочности материалов. Хорошая проработка деталей может также оказать существенное воздействие на эстетическое восприятие объекта. С этой це-

лью были приняты следующие решения.

Несмотря на сложность многоэлементного соединения деталей, проектировщикам удалось максимально сохранить простоту механизма передачи усилий. Соединительные устройства запроектированы таким образом, что они работают с наибольшей эффективностью, воспринимая сдвигающие усилия, а не испытывая растягивающие напряжения; удалось также максимально избежать очагов концентрации напряжений, прибегая к плавному переходу одного элемента в другой, несмотря на различия в их поперечном сечении.

Сопрягаемые детали сконструированы максимально просто, что позволило повысить качество изготовления с параллельным снижением риска появления брака.

После окончания работ по сооружению устоев и промежуточных опор смонтировали металлическое коробчатое пролетное строение. Монтаж вели, начиная с устоя со стороны г. Берга. Были сооружены временные промежуточные опоры, положение которых максимально приближено к середине расстояния между смежными опорами. Наличие временных опор позволило сократить длину монтируемых блоков коробки. Таким образом были смонтированы семь пролетов из девяти. Поскольку в районе реки устройство временных опор не разрешено, строителям пришлось вести продольную надвижку оставшейся двухпролетной плиты пролетного строения со стороны южного устоя. Таким образом был перекрыт пролет, проходящий над руслом реки. Для этой операции использовали аванбек длиной 12 м, который позволил ослабить усилия в надвигаемой конструкции и избежать риска потери устойчивости вертикальных стенок балки от действия местных опорных реакций. По окончании монтажа металлоконструкций были смонтированы железобетонные блоки плиты проезжей части. Строительно-монтажные работы закончили укладкой бетона монолитной части плиты и демонстражем временных опор.

Прочность конструкции пролетного строения при монтаже и на стадии эксплуатации проверяли с использованием упругопластических методов расчета. Учитывая, что деформация системы в упругой стадии работы зависит от выбранной при проектировании стадийности работы пролетного строения, составили картину напряжений в упругой стадии. На основе полученных результатов подготовили информацию для придания пролетному строению строительного подьема, который учитывает деформации от действия собственного веса конструкции, прочих постоянных нагрузок и ползучести и усадки бетона плиты. ■