

# ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПИЛОНОВ МОСТА ЧЕРЕЗ БУХТУ ЗОЛОТОЙ РОГ В ГОРОДЕ ВЛАДИВОСТОКЕ

В настоящее время (2009–2010 гг.) ЗАО «Институт Гипростроймост-Санкт-Петербург» ведет разработку рабочей документации по уникальному объекту – мосту через бухту Золотой Рог во Владивостоке.

Идея строительства моста через Золотой Рог была озвучена еще в конце XIX века, однако в разное время ее реализации помешали русско-японская война, Первая мировая война, революция и Вторая мировая война. В 1969 г. мост был включен в генеральный план застройки города, но так и не был построен. В наши дни идея о строительстве сооружения, которое бы стало новым символом дальневосточной столицы России, возникла накануне Азиатско-Тихоокеанского форума экономического сотрудничества, который запланирован во Владивостоке в 2012 г.

Однако не стоит напрямую связывать проектирование и строительство мостов-гигантов, которые реализуются на данный момент во Владивостоке, только с международным мероприятием – саммитом АТЭС 2012 г. Истинная цель – это воссоздание Владивостока как тихоокеанской столицы России. Такой огромный и удаленный регион, как Дальний Восток, должен иметь свой центр, сравнимый с европейскими столицами страны. Но Владивостоку, расположенному вокруг бухты Золотой Рог, некуда расти вширь – кругом горы. Главный резерв – остров Русский площадью около 100 кв. км. На острове Русский планируется возвести грузовые и пассажирские причалы, комплекс зданий Дальневосточного университета, построить научные и деловые центры. Мост через бухту Золотой Рог должен стать отправной точкой для развития этой части приморской столицы.

Однако помимо функциональной роли мост через бухту Золотой Рог должен стать новым символом Владивостока, что особенно сильно отразилось на внешнем облике моста. Новая переправа должна быть узна-

ваема, и узнаваема с первого взгляда. Вантовых мостов на сегодня построено уже довольно много, и не сразу, глядя на фотографию, можно отличить один от другого. С экономической точки зрения это оправданно, ведь стандартные технологические решения являются наиболее рациональными, они апробированы и проектировщиками, и строителями.

Однако при разработке проекта моста через бухту Золотой Рог мы добивались в первую очередь того, чтобы этот мост получил свой неповторимый облик, тем более что и по техническим характеристикам этот мост войдет в десятку крупнейших мостов мира. Особенностью данного моста являются пилоны необычной формы. На данный момент известны три стандартные формы пилонов – А-образные, Н-образные, Y-образные перевернутые. У моста через бухту Золотой Рог пилоны, можно сказать, V-образной формы – две наклонные расходящиеся стойки без верхних диафрагм. С учетом нестандартно большой длины пролета (737 м), работа по проектированию и строительству пилонов требует особой ответственности.

При проектировании данных пилонов коллектив нашего института столкнулся с рядом проблем и особенностей, о которых будет сообщено ниже.

В информативных целях хотелось бы остановиться на параметрах моста через бухту Золотой Рог:

- длина моста — 1 380,88 м;
- протяженность мостового перехода по основному створу — 2,1 км;
- схема мостового перехода  $41,94 + 2 \times 90 + 100 + 737 + 100 + 2 \times 90 + 41,94$  м в виде вантового двухпильонного пролетного строения. Ван-

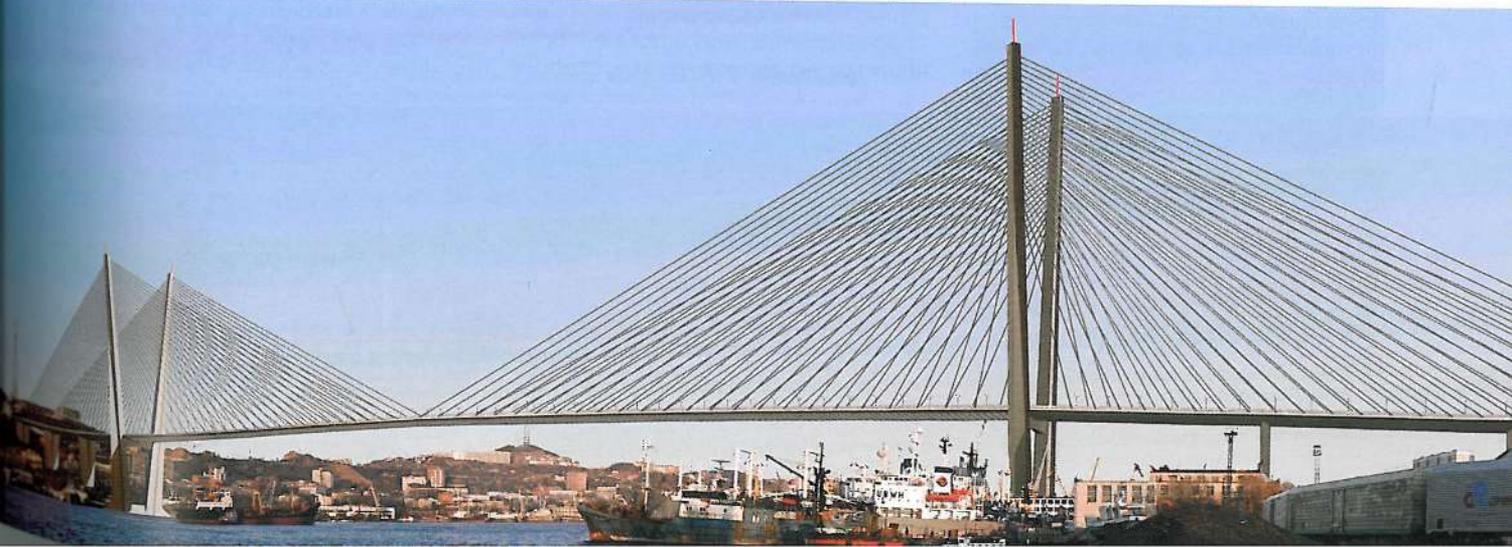
ты расположены по схеме «веер»;

- число полос движения – 4;
- габарит проезжей части  $9,5 + 1 + 9,5 + 2 \times 4,25$  м;
- подмостовой габарит по высоте – 64,25 м;
- главный пролет – 737 м;
- высота пилонов от уровня ростверков – 221,16 м.

Пилон моста через бухту Золотой Рог представляет из себя две наклонные расходящиеся стойки без верхней диафрагмы. В поперечном сечении нога пилон представляет пятиугольник, развитый поперек оси моста. Габаритные размеры стойки пилон в корне консоли (отметка 3,00) –  $16 \times 8$  м, в уровне балки жесткости (отметка 60,00) –  $13,5 \times 7,5$  м, в районе узлов крепления вант (отметка 210,00) –  $6 \times 7$  м.

Толщина стенки пилон – переменная. В нижней части пилон – 1,5 м, в средней – уменьшается от 1,5 м до 0,5 м, в верхней части пилон – 0,5 м.

Исходной задачей при проектировании данных пилонов являлось выполнение условия по отсутствию изгибающих моментов от постоянных нагрузок (собственный вес конструкции) как вдоль моста, так и поперек. Если с продольными изгибающими моментами в ногах пилонов каких-либо вопросов не возникает, то с поперечными дело обстоит интереснее. Для компенсации поперечного изгибающего момента от собственного веса наклонной ноги было принято решение устроить узлы крепления вант на пилоне с эксцентриситетом относительно нейтральной оси ноги пилон. То есть вес балки жесткости «раскручивает» пилон в обратном относительно собственного веса пилон направлении.



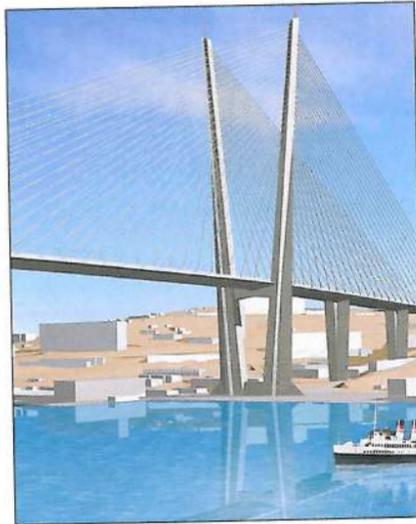
Результатом расчета явились угол наклона внутренней грани стойки пилона (он составляет 5,8°) и эксцентриситеты узлов крепления вант относительно нейтральной оси ноги пилона. Из временных нагрузок лимитирующее воздействие на ноги пилона оказывает ветровая нагрузка, причем в стадии эксплуатации максимальные внутренние усилия вызывает поперечный ветер, а в стадии строительства – продольный ветер. Расчетная скорость ветра составила 38 м/с на отметке 10 м (период повторяемости – 100 лет).

Временная нагрузка от транспортных средств вызывает в стойках пилона значительно меньшие внутренние усилия (порядка  $M_{изг} = 5000 \text{ тм}$  – меньше изгибающих моментов от ветра в 20 раз). Внутренние усилия от сейсмической нагрузки (сейсмичность района строительства составляет 8 баллов) составляют примерно 50% усилий от ветровой нагрузки.

По полученным усилиям были предложены различные варианты армирования ног пилона. При разработке вариантов армирования необходимо было учитывать тот факт, что согласно графику строительства устройство одной секции бетонирования высотой 4 м должно было производиться за 7 дней, а это накладывало очень жесткие ограничения по количеству стыков продольных рабочих стержней в одной секции.

В итоге было принято решение в нижней части пилона в качестве продольной рабочей арматуры использовать высокопрочную арматуру (ВПА) Dywidag диаметром 36 мм класса прочности 950/1050. Это позволило уменьшить втрое количество продольной арматуры, и как следствие – количество стыков продольной арматуры, и вписаться в те ограниченные сроки по сооружению секций пилона, которые были заложены графиком строительства. Стыковку продольной ВПА было предложено производить на равнопрочных муфтах, предложенных производителем ВПА.

Расчет сечения стойки пилона был разбит на 2 независимых этапа – расчет ноги пилона на косое внецентренное сжатие и расчет ноги пилона на воздействие крутящих моментов. Результаты обоих расчетов объединялись по принципу суперпозиции, а конструирование ноги пилона велось по результирующим усилиям. Косое вне-



центренное сжатие считалось по СНиП 2.03.01-84\* «Бетонные и железобетонные конструкции», а также расчет дублировался с помощью деформационной модели, разрешенной к использованию СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры». При этом разброс результатов по указанным 2 методикам составил не более 5%. Расчет на воздействие крутящих моментов выполнялся также по двум разным методикам – по СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры», а также по еврокоду BS EN 1992-1-1:2004 Eurocode 2: Design rules and rules for buildings. Хотелось бы отметить, что обе методики давали сходные результаты в части учета кручения, действующего на стойки пилона.

Бетонирование пилонов предполагалось вести в переставной самоподъемной опалубке. Подрядчики остановили свой выбор на опалубке Peri, и совместно с представительством Peri в России мы определили высоту одной захватки – она составила 4 м по высоте, таким образом весь пилон был разделен на 56 секций бетонирования. Бетон при сооружении очередной секции бетонирования предполагается подавать с помощью башенного крана, который должен «расти» параллельно пилонам, прикрепляясь к уже забетонированной ранее части конструкции.

Хотелось бы поподробнее остановиться на геодезической стороне

строительства стоек пилона. Каждая секция бетонирования имеет набор контрольных точек. Вынос этих точек в натуре на первые 10–12 секций не вызывает вопросов, однако с увеличением высоты стойки тахеометрические измерения дают большую погрешность и не могут быть использованы для дальнейшей работы по разбивке секций бетонирования.

Для решения этой проблемы предлагается для дальнейших работ по разбивке секций бетонирования использовать GPS-приемники. Тестовый режим использования как тахеометрической съемки, так и GPS-приемников одновременно на нескольких секциях бетонирования показал хорошую точность результатов использования GPS-приемников. При бетонировании секций бетонирования установлены следующие допуски на отклонения координат контрольных точек –  $\pm 10 \text{ мм}$ , однако на практике отклонения составляют до 30 мм, что требует от подрядчиков дополнительного согласования с проектировщиками пилона.

При проектировании распорки пилона, расположенной в уровне балки жесткости пролетного строения, мы столкнулись сразу с несколькими проблемами разного характера, что в конечном итоге и повлияло на финальное конструктивное решение распорки пилонов.

В стадии эксплуатации распорка пилона работает как на большой изгибающий момент (порядка 100 тыс. тм), так и на огромную перерезывающую силу – порядка 10 тыс. тонн. Первоначально разрабатывался вариант распорки в виде железобетонной коробки высотой порядка 10 м, толщиной вертикальных стен порядка 1,5 м. Однако данный вариант был признан нецелесообразным ввиду следующих причин:

1. Большой собственный вес железобетонной распорки (порядка 2500 тонн) потребовал бы очень мощных подмостей большой высоты (50 м);
2. Сложности в бетонировании вертикальных стен высотой 10 м, толщиной по 1,5 м;
3. Зависимость бетонирования стоек пилона от бетонирования секций распорки и, как следствие, увеличение сроков сооружения пилонов.

Строительство мостового перехода через бухту Золотой Рог в Владивостоке на автомагистрали, связывающей федеральную автомобильную дорогу М-60 «Усури» Хабаровск – Владивосток с островом Русский, является завершающим этапом автомобильной магистрали аэропорт «Кневичи» – ст. Санаторная, которая будет использоваться как гостевой маршрут делегаций стран – участниц саммита АТЭС в 2012 г. Мост соединит кратчайшим маршрутом центральную часть города с полуостровом Голдобина. Он будет сдан в эксплуатацию в 2011 г.

**Информация по проекту**

Категория дороги – магистральная.

Протяженность автомобильной дороги – 2,1 км.

Длина моста – 1380,88 м.

Количество основных опор – 10, из них 2 пилона.

Длина эстакадных подходов – 335,3 м.

Длина путепроводов транспортных развязок – 503,2 м.

Длина тоннеля – 249,2 м.

Проектом предусмотрено строительство автодорожного тоннеля под четыре полосы движения. Габарит проезда по ширине принят 9,0 м, по высоте – 5,7 м.

Длина тоннеля – около 250 м.

Сметная стоимость – 16,1 млрд рублей.

Последнее обстоятельство было решающим в желании изменить конструкцию распорки; вдобавок ко всему при сооружении распорки на достаточной высоте хотелось бы отказаться от подмостей вовсе. В итоге было предложено следующее решение: выполнить распорку сталежелезобетонной – при этом поперечную силу будет воспринимать легкая металлическая ферма, а момент будет восприниматься парой нормальных сил, сосредоточенных в железобетонных поясах – плитах. При этом для обеспечения необходимых темпов строительства предполагалось в первую очередь разработать и изготовить блоки распорки, которые являлись бы закладными в ноги пилона, а сборку металлической фермы производить внавес независимо от бетонирования последующих секций бетонирования стоек пилона.

Хотелось бы обратить особое внимание на восприятие растягивающих усилий, возникающих в поясах-плитах сталежелезобетонной распорки. Для того, чтобы воспринять растягивающее усилие, возникающее в плите распорки, мы должны прижать реактивным усилием данную плиту к стойке пилона.

Однако стоит помнить о том, что мы не можем просто взять и стянуть ноги пилона необходимым усилием с помощью, допустим, гибкой затяжки. Если мы так поступим – мы приложим на конце консоли (стойки пилона) большое горизонтальное усилие, и, как следствие, получим дополнительный огромный момент в корне стойки пилона. Поэтому было предложено следующее решение:

1. Бетонирование плит без объединения между собой, металлоконструкции распорки разомкнуты;

2. Преднапряжение плит;

3. Бетонирование участка омоноличивания плит металлоконструкции распорки объединены.

Преднапряжение плит выполняется с помощью натяжения высокопрочных жестких стержней Diwidag d36 из стали класса 950/1050, заделанных с одной стороны в тело пилона (в опорную диафрагму), с другой – опирающихся на забетонированную плиту сталежелезобетонной распорки.

Так как мост через бухту Золотой Рог возводится в районе с расчетной сейсмичностью 8 баллов, проектом предусмотрены меры по защите конструкций моста от землетрясений. В уровне балки жесткости между пролетным строением и ногами пилона будут установлены так называемые шок-трансммитеры – устройства, позволяющие взаимные перемещения балки жесткости и ног пилона при условии длительного воздействия нагрузки (климатические воздействия). В случае нагрузки, имеющей кратковременный характер (колебания балки при землетрясении), шок-трансммитер обеспечивает жесткую связь между балкой и ногой пилона, тем самым ограничивая горизонтальные перемещения балки жесткости.

При бетонировании наклонных расходящихся ног пилонов, для компенсации изгибающих моментов от собственного веса ног, будут применяться временные затяжки, которые будут представлять собой либо жесткие фермы либо гибкие пучки; на данный момент ведется проектирование данных монтажных элементов.

В настоящее время работы ведутся на высоте 110–120 м.

О. В. Абрамов,  
А. Г. Зюзьков  
(Институт Гипростроймост – Санкт-Петербург)



**ЗАО «НП ЦМИД»**  
НАДЕЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ и ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ  
СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА и РЕМОНТА

**ЗАО «НП ЦМИД» РАЗРАБАТЫВАЕТ и ПРОИЗВОДИТ:**

1. Модифицирующие добавки группы ЦМИД и ГПМ в бетоны и растворы, в т.ч. специального назначения
2. Системы сухих строительных смесей для:
  - восстановления, защиты, гидроизоляции; ремонта бетонных и ж/б конструкций;
  - возмещения, защиты, гидроизоляции; ремонта бетонных и ж/б конструкций;
3. Комбинированное асфальтоцементобетонное покрытие для создания верхнего слоя дорожного покрытия, на высоконагруженных участках и промышленных площадках.

**КОМПАНИЯ ЗАО «НП ЦМИД» ПРЕДЛАГАЕТ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ, в т.ч.:**

- Разработку технологий производства бетонных работ; технологических регламентов, карт подбора составов бетона, в т.ч. при температурах воздуха до -25°C; для подводного бетонирования; производства ЖБИ;
- Обследование и оценку состояния бетонных и ж/б сооружений;
- Проектные решения в области ремонта и гидроизоляции бетонных конструкций и сооружений

Санкт-Петербург, ул. Гжатская, 21, оф. 139  
тел./факс: (812)535-4721; 535-6478; 535-2102;  
e-mail: mail@np-cmid.ru, sergey@np-cmid.ru

**www.np-cmid.ru**



Строительство взлетно-посадочной полосы



Строительство мостового перехода через пролив Босфор Восточный на остров Русский