

МОСТ ЧЕРЕЗ ПРОЛИВ БОСФОР ВОСТОЧНЫЙ В ЧИСЛЕ КРУПНЕЙШИХ ВАНТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ МИРА



Мост через пролив Босфор Восточный (визуализация)

Считается, что один из первых в истории вантовых мостов был построен в Италии на рубеже XVI — XVII веков. За время своего существования вантово-стержневые конструкции мостового типа пережили разные периоды — от скромного интереса к ним, сопровождавшегося непониманием сути их действительной работы, до успешной реализации смелых решений, и от полного забвения — до строительного бума.

Так, за последние полтора десятилетия в мире появилось не менее десяти вантовых мостовых сооружений, имеющих длину основного пролета от пятисот до тысячи и более метров. Некоторые из них, безусловно, следует относить к разряду уникальных. Таковыми, на наш взгляд, являются мосты Нормандия (Normandie), Татары (Tatara), мост Камнерезов (Stonecutters), Сутонг (Sutong) и мост через пролив Босфор Восточный.

Мост Нормандия через реку Сену во Франции

На этом сооружении был сразу существенно увеличен рекорд по величине перекрываемого пролета, продержавшийся нескольких лет.

Величина основного пролета моста составляет 856 м при общей длине мостового перехода 2141 м.

Проектировался и строился мост с 1988 по 1995 годы.

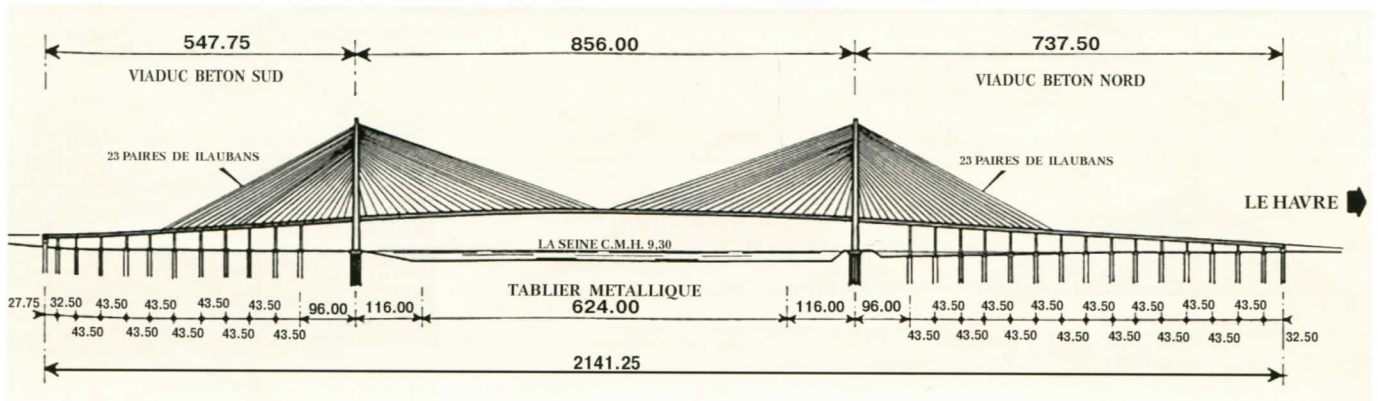
Характерной особенностью сооружения явилось инженерное решение конструкции балки жесткости. Ее припильные участки и боковые пролеты выполнены из предварительно напряженного железобетона, а центральная часть, основной пролет, — из стали. Подходные эстакады из предварительно напряженного железобетона ощутимо повысили стоимость строи-

тельства, однако позволили использовать их в качестве анкерных блоков и повысить аэродинамическую устойчивость сооружения.

Балку жесткости поддерживают две плоскости вант, расположенных по схеме веера и имеющих длину до 450 м. Ширина балки жесткости в уровне проезда — 23 м. Высота А-образных железобетонных предварительно напряженных пилонов составляет 215 м, пилоны моста — обтекаемой формы для эффективной работы по аэродинамическим воздействиям. Фундаменты пилонов на сваях-оболочках длиной до 56 м. Высота подмостового габарита — 56 м.

При строительстве моста было применено несколько оригинальных и нестандартных решений:

— при сооружении одного из пилонов и подходной эстакады из-за плохих грунтов возникла необходимость постройки временного моста, кото-



Мост Нормандия

рый при длине 750 м был сооружен всего за 3 месяца;

— подходные эстакады сооружались с помощью специальной системы горизонтальных и вертикальных

домкратов методом продольной надвижки, осуществлявшейся на уклоне 60%;

— при ведении строительных работ велся постоянный компьютерный

контроль (мониторинг) за положением конструкций.



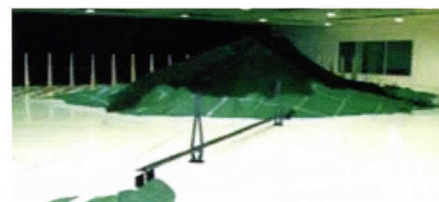
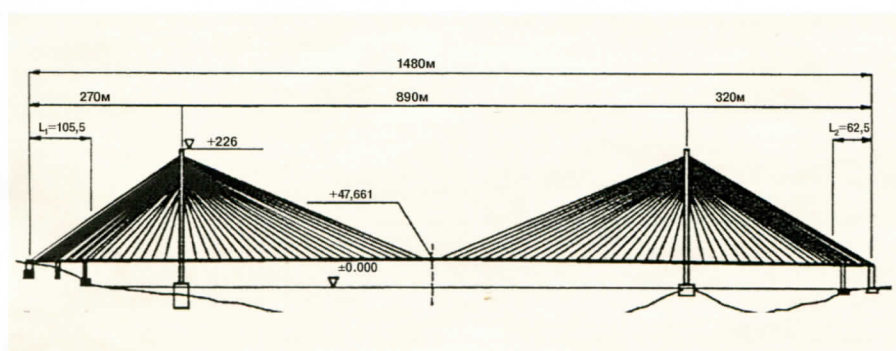
Мост Татара

Мост Татара над проливом Сето в Японии

Величина основного пролета моста составляет 890 м при общей длине мостового перехода 1480 м.

Проектировался и строился мост с 1990 по 1999 годы.

Характерной особенностью сооружения стали его пилоны. В начальном варианте предполагалось строительство А-образного пилон. Однако при такой форме на стадии строительства и эксплуатации могли возникнуть недопустимые колебания пилон из его плоскости. После определения динамических характеристик конструкции и при-



А-форма пилона (первоначальный вариант)

Перевернутая Y-форма пилона (основной вариант)

Перевернутая Y-форма пилона (со щелью)

Перевернутая Y-форма пилона (с широкой щелью)

Мост Татара

роды механизма колебаний выбор был сделан в пользу пилонов в виде перевернутой буквы Y, которые обладают более высокими аэродинамическими свойствами. Принятая

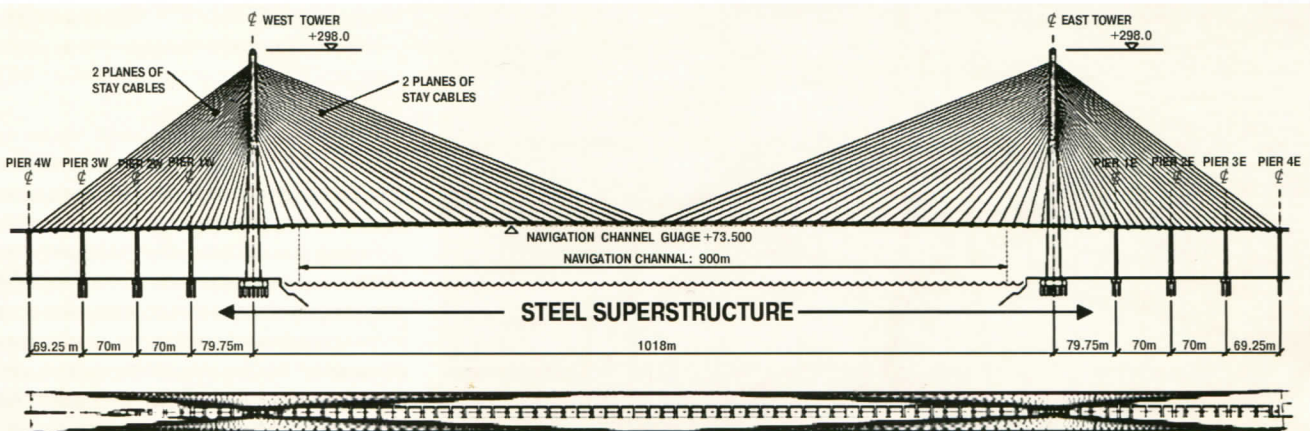
высота стальных пустотелых пилонов моста — 226 м.

Для обеспечения устойчивости сооружения по итогам испытаний в аэродинамической трубе балка

жесткости была принята плоской коробчатого сечения, состоящего из трех секций, с внешними обтекателями. Высота балки жесткости моста — 2,7 м, ширина — 31,8 м (под 4 полосы движения автомобилей, велосипедные и пешеходные дорожки). В боковых пролетах длиной 300 и 350 м балка жесткости железобетонная, в основном пролете — металлическая.

В связи с высокой сейсмической опасностью региона расчетная для моста нагрузка от землетрясения принята в 8,5 баллов по шкале Рихтера, что является самым высоким показателем в Японии.

Интересно, что на стадии проектирования для оценки воздействия ветрового потока, сформированного под влиянием рельефа местности, были проведены испытания модели сооружения, которую установили в модель окружающего ландшафта.



Мост Камнерезов

Мост Камнерезов через реку Хау в Гонконге

Величина основного пролета моста составляет 1018 м при длине мостового перехода 1596 м.

Проектировался и строился с 2002-го по 2009 годы.

Уникальность этого моста — в величине основного пролета и конструкции балки жесткости. В основном пролете она металлическая общей шириной около 53 м, состоящая из двух отдельных коробчатых конструкций, которые связаны между собой распорками. В боковых пролетах балка жесткости — железобетонная, причем опоры боковых пролетов монолитно объединены с балками пролетных строений. Стыки между стальной и железобетонной частями балки жесткости расположены на расстоянии около 50

м в пределах первых боковых пролетов.

Балку жесткости поддерживают две плоскости вант, расположенных по схеме веера и состоящих из канатов, которые собраны в параллельные пряди высокой плотности компоновки. Шаг анкерки вант по фасаду моста в основном пролете — 18 м, в боковых — 10 м.

Пилоны моста — одностоечные, овального сечения — сооружены из железобетона до высоты 175 м и из сталежелезобетона — до высоты 293 м, причем внешняя оболочка верхней части выполнена из нержавеющей стали.

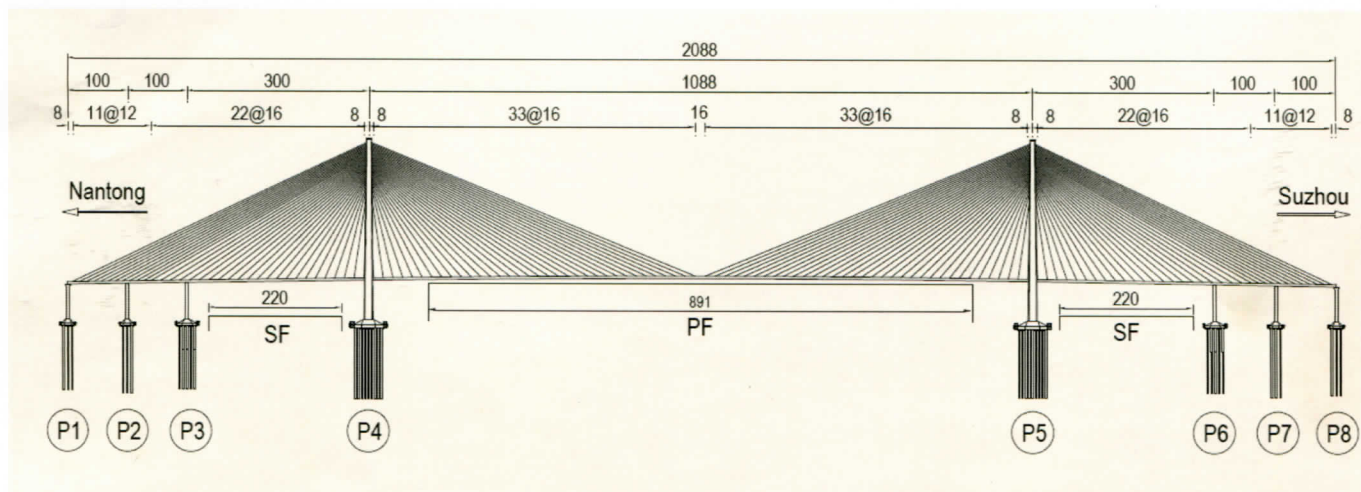
На пилонах установлены специальные опорные части, ограничивающие горизонтальные поперечные перемещения балки жесткости, но не воспринимающие вертикальных опорных реакций. Продольные перемещения в вантовом пролете воспринимают гидравлические буферные устройства, причем они не

ограничивают продольных перемещений балки, вызванных «статическими» нагрузками (изменением температуры и ветром средней интенсивности), а при воздействии кратковременных динамических нагрузок буферные устройства работают как продольно неподвижные опорные части.

Строительству моста предшествовало большое количество наблюдений и экспериментов, проводимых как на месте строительства, так и в лабораторных условиях с использованием модели моста и прилегающих территорий.

Мост Сутонг через реку Янцзы в Китае

Величина основного пролета моста — 1088 м при общей длине вантовой части 2088 м и длине мостового перехода более 7000 м.



Мост Сутонг

Проектировался и строился с июня 2003-го по май 2008 года.

На сегодняшний день Сутонг является крупнейшим в мире вантовым мостом.

Боковые пролеты сооружения, в отличие от предыдущих мостов, выполнены из металла и имеют длину 300 м и 2×100 м. Высота подмостового габарита в основном пролете — 62 м, высота пилонов моста — 308 м. В основании каждого пилона устроен монолитный ростверк длиной более 100 м и шириной около 50 м. Ростверк опирается на буронабивные сваи диаметром до 2,8 м и длиной до 120 м.

Ширина металлической коробчатой балки жесткости, рассчитанной под шесть полос движения, — 41 м, высота — 4 м. На распорки пилонов балка жесткости не опирается.

Две плоскости вант моста расположены по схеме веера и состоят из параллельных проволочных прядей.

Длина самых длинных вант составляет 577 м, что пока является рекордом.

Мост через пролив Босфор Восточный во Владивостоке

Величина основного пролета моста — 1104 м при общей длине мостового перехода 1885 м, а с подходными эстакадами — 3100 м.

Строительство моста осуществляется в рамках программы подготовки к саммиту АТЭС, который пройдет во Владивостоке в 2012 году. Продолжительность сооружения составит 43 месяца.

Уникальность этого моста, конечно, в величине основного пролета — он на сегодня рекордный. Кроме того, соотношение ширины балки жесткости моста к длине ее пролета в мировой практике не имеет аналогов.

Район строительства мостового перехода характеризуется сложными климатическими условиями, среди которых перепады температур, штормовые ветры, высокие волны, образование льда большой толщины и т. п.

Мост запроектирован по схеме разбивки на пролеты длиной от 60 до 1104 м.

Общая ширина проезжей части моста — 23,8 м при 4 полосах движения (по 2 в каждую сторону). Общая ширина пролетного строения — 26 м.

Балка жесткости центрального пролета — цельнометаллическая коробчатого аэродинамического сечения с четырьмя стенками и ортотропной плитой проезжей части. Металлическая часть балки жесткости заходит из центрального пролета в боковые пролеты на глубину 70 м от оси пилонов. Боковые пролеты выполнены из предварительно напряженного железобетона.

Ванты приняты моностренного типа с разрывным напряжением 1860 МПа. Шаг вант центрального пролета принят равным 24 м, на боковых пролетах шаг вант переменный, уменьшающийся в направлении от пилонов к началу и к концу моста. Длина самой короткой ванты около 136 м, самой длинной — 580 м. Защитная оболочка вант обладает стойкостью к воздействию ультрафиолетовых лучей и окружающей среды в климатических условиях Владивостока.

Навигационный подмостовой габарит принят равным 70 м по высоте. Это обстоятельство повлекло за собой дополнительное высотное повышение пилонов, вершина которых находится на отметке 320 м над уровнем воды. Пилоны моста железобетонные.

До начала рабочего проектирования моста были разработаны и утверждены специальные технические условия на выполнение проектных работ. Эти

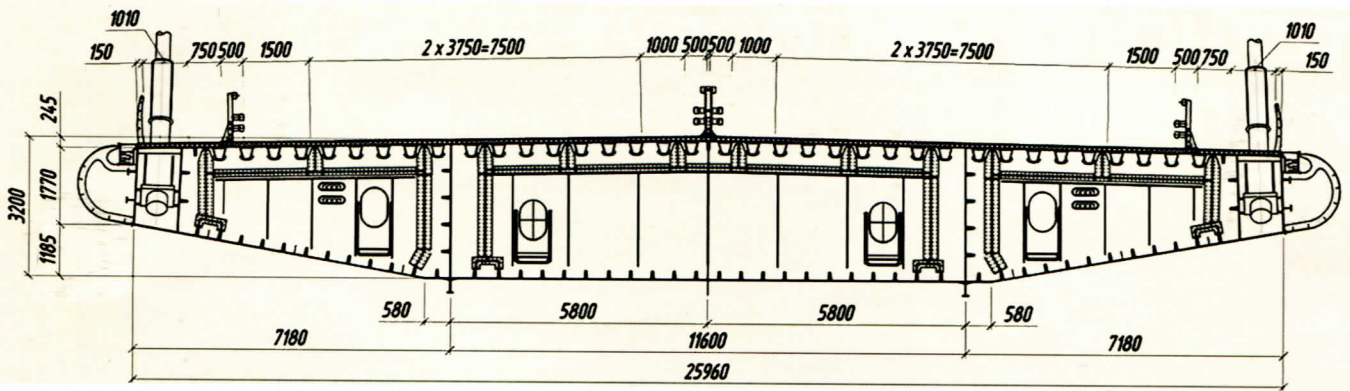
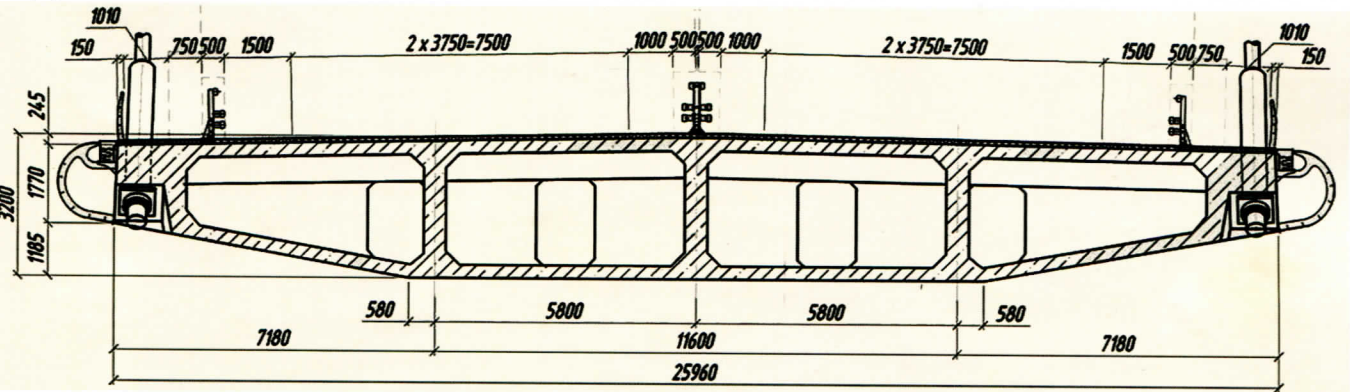


Схема поперечного сечения балки жесткости руслового пролетного строения мостового перехода на остров Русский через пролив Босфор Восточный



условия отражают не только общие требования действующих российских нормативных документов на проектирование мостов, но и включают в себя ряд дополнительных требований, отражающих опыт проектирования и строительства зарубежных аналогов (например, в эти документы вошло требование Еврокода о проведении расчетов на обрыв вант и др.).

В качестве временной нагрузки согласно российским нормам принята автомобильная нагрузка А14. Однако основными внешними воздействиями, определяющими работу конструкции, являются ветровая нагрузка и сейсмическое воздействие. Принятая при проектировании расчетная скорость ветра имеет величину до 38,2 м/с. Аэродинамические исследования проводились в Дании. Они включали работы по продувке полномасштабной модели моста в аэродинамической трубе. Все исследования проводились как для состояния «готовый мост», так и для промежуточных стадий строительства.

Сооружение моста осуществляется в сейсмически активном районе, поэтому, помимо ветрового потока, он рассчитан и на сейсмическое воздействие до 8 баллов.

Все статические и динамические инженерные расчеты моста, как для промежуточных стадий строительства, так и в эксплуатационном со-

Таблица
Сравнительные характеристики пяти уникальных мостов

		Мост Нормандия	Мост Татара	Мост Камнерезов	Мост Сунгн	Мост через Босфор Восточный
1	Длина основного пролета, м	856	890	1018	1088	1104
2	Материал основного пролета	Металл	Металл	Металл	Металл	Металл
3	Материал боковых пролетов	Железобетон	Железобетон	Железобетон	Металл	Железобетон
4	Схема расположения вант	Веер	Веер	Веер	Веер	Веер
5	Количество плоскостей вант	2	2	2	2	2
6	Подмостовой габарит, м	56	47	74	62	70
7	Глубина фундаментов, м	56		110	120	77
8	Максимальная длина вант, м	450	462		577	580
9	Высота пилонов, м	215	226	298	300	320
10	Высота балки жесткости, м (соотношение к длине пролета)	3,05 (1/280)	2,70 (1/330)	4,00 (1/255)	4,00 (1/272)	3,20 (1/345)
11	Ширина балки жесткости, м (соотношение к длине пролета)	23 (1/37)	32 (1/28)	53 (1/19)	41 (1/27)	25 (1/44)

стоянии, осуществлялись с помощью современных программных средств, в том числе самостоятельно разработанных российскими инженерами.

Следует добавить, что во время строительства будут применены новые технические решения в части изготовления конструкций, применения антисейсмических устройств, специальных деформационных швов и опорных частей, а также вант и систем гашения их колебаний.

В заключение вспомню о том, что некоторое время назад, читая лекции студентам факультета «Мосты и тоннели» Петербургского государственного университета путей сообщения, мы говорили: «Отставание нашей страны в области проектирования и

строительства мостов с большими и сверхбольшими пролетами связано со многими причинами ...» Далее шло перечисление этих разного рода причин. Сегодня же мы имеем перед глазами опыт строительства моста через Обь у Сургута с рекордным в мире пролетом для однопилонных вантовых мостов, имеем опыт проектирования и строительства интереснейшего сооружения через Бухту Золотой Рог, а также наблюдаем за созданием уникального моста через Босфор Восточный во Владивостоке. Поэтому ни о каком отставании, конечно, речи уже не идет!

А.А. Барановский, главный инженер ООО «Мостовое бюро»