

Шедевры МОСТОСТРОЕНИЯ

DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.12

Кузнецова А.П., руководитель отдела продаж ООО «ИндорСофт» (г. Томск)



Vance Creek Bridge, США

Соединять пространства над землёй и водой деревянными и каменными материалами, наплавными, балочными, подвесными и арочными конструкциями люди умели с древнейших времён. История мостостроения исчисляется тысячелетиями. С каждым годом она продолжает развиваться и удивлять сложностью конструкций, используемыми материалами, новыми рекордами длины и высоты. Предлагаем вашему вниманию обзор уникальных мостов, который позволит приоткрыть богатейшую историю мостостроения.

Каменные долгожители

В мире есть действующие мосты, построенные до нашей эры. За тысячелетия они пережили не одну реконструкцию, но, несмотря на это, сохранили исторические фрагменты, служащие до сих пор.

Так, **Мульвиев мост** (Мульвийский, Мильвийский, Мульев мост, лат. Pons Mulvius, итал. Ponte Milvio) через реку Тибр в Риме построен в 109 году до н.э., и, если бы не статус исторического памятника, по нему могли бы ездить автомобили и сегодня (рис. 1).

Длиной в 136 м, он состоит из шести арок, величина основных пролётов — 18,5 м. Арки различаются по размеру, т.к. величину пролёта изменяли в зависимости от силы течения реки в разных её полосах [1]. Высота моста над водой — 18,55 м, что позволяло реке оставаться судоходной. Промежуточные арки имеют сразу несколько назначений: увеличивают проток воды во время наводнений, экономят строительный материал, облегчают разрушение

и последующее восстановление моста при обороне.

За время своего существования этот мост неоднократно подвергался разрушениям и перестройкам. Тем не менее конструктивно он не изменился и сохранил многие фрагменты постройки времён Республики. Так что, переходя Тибр в этом месте, мы можем смело утверждать, что идём по следам самого Гая Юлия Цезаря, в своё время вошедшего в Рим со своими войсками именно по Мульвиеву мосту.

Римляне довели до совершенства технику строительства арочных мостов, доставшуюся им от древних народов Месопотамии, Греции и др. До наших времён на территории Европы сохранилось порядка 300 мостов, возведённых римскими строителями. В истории мостостроения римляне, безусловно, играют одну из ключевых ролей.

До римлян арочные каменные мосты строили и персы, и греки. Подобные конструкции можно найти на протяжении всего Великого Шёлкового пути — караванной доро-

ги, связывавшей Средиземноморье с Восточной Азией в древности и Средние века.

Так, в Китае в первозданном виде сохранился **мост Аньцзи** (англ. Anji or Zhaozhou Bridge), построенный в 605 году (рис. 2). Мост перекинут через реку Сяо в провинции Хэбэй. Конструкция этого моста уникальна: центральная арка выложена из известняковых плит, соединённых анкерами. Над сводом возведены боковые арки. Они делают мост более воздушным и лёгким, позволяя экономить материал и уменьшать нагрузку на конструкцию при наводнениях. Аньцзи является рекордсменом среди древних арочных мостов по длине пролёта, которая равна 37 м [2]. Пережив множество наводнений, землетрясений и войн, он по-прежнему исправно служит.

Известно восхищение венецианского путешественника Марко Поло, посетившего Поднебесную в 1271 году, мостами города Кинсай (современного Ханчжоу): «Рассказывают, будто там 12000 мостов, больших

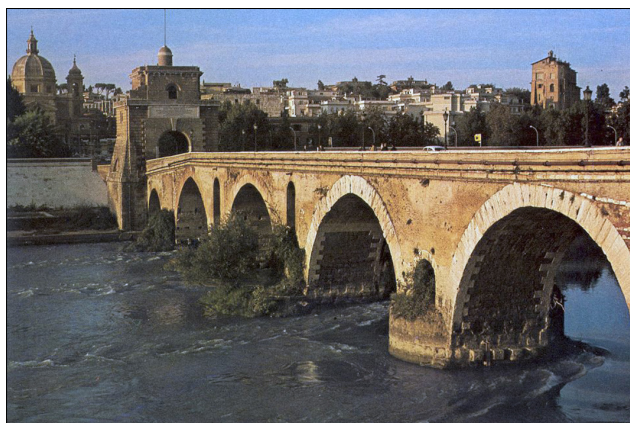


Рис. 1. Мульвиев мост, Рим, Италия. Постройка 109 г. до н.э. Фото XX века

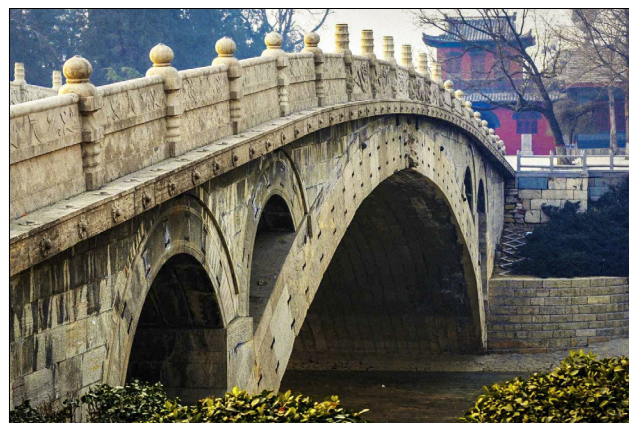


Рис. 2. Мост Аньцзи, Китай. Постройка начала VII века н.э. Современное фото



Рис. 3. Мост Лугоуцяо, Китай. Постройка конца XII века. Современное фото



Рис. 4. Худаферинские мосты, Азербайджан. Постройка XII–XIV вв. Фото XX века

и малых, большей частью каменных, а иные выстроены из дерева. И под каждым из этих мостов или под большей их частью большие корабли легко проходят под арками; а под другими могут пройти малые суда. Но у тех, что построены над главными каналами и на главных улицах, арки так высоки и сделаны с таким искусством, что судно с мачтой может пройти под ними, а между тем по ним проходят повозки и лошади, так хорошо улицы приспособлены к их изгибам» [3].

Мостов в Кинсае было действительно много. Они возводились как правительством, так и народом. По иероглифам на барельефах можно было прочесть этические максимы или узнать расстояния от места до места, а иногда они обозначали имена людей, на чьи деньги строился мост.

Китайские мосты невероятно красивы. Так, на перилах **моста Лугоуцяо** (рис. 3) восседает 485 каменных львов, каждый из которых не похож на другого. Этот гранитный мост был построен в 1192 году. Изначально его длина составляла 260 м. После реконструкции в 1969 году длина уменьшилась до 235 м. Тогда же по мосту закры-

ли автомобильное движение, чтобы сохранить этот памятник культуры.

Сохранившиеся мосты, по которым проходил Великий Шёлковый путь, рассказывают нам о развитии мостостроения Евразии в древности и Средние века. Военно-торговые отношения скреплялись каменными арками мостов, переброшенных через реки и пропасти разных государств и цивилизаций.

По дороге из Азербайджана в Иран над рекой Араз мы видим два рядом стоящих моста, наглядно демонстрирующих влияние разных культур с течением времени. **Худаферинские мосты** были одним из основных узлов Великого Шёлкового пути. По ним прошли огромные массы людей, военной конницы, караванов.

Большой мост построен в VII веке. Он возведён из речного камня и квадратного обожжённого кирпича и имеет 15 пролётов общей длиной 200 м [4]. Заострённые арки стрельчатого очертания выдают влияние востока — персов, транслировавших опыт египтян, вавилонян, ассирийцев, хеттов.

В XI веке примерно на 800 м западнее от Большого был построен второй мост, который

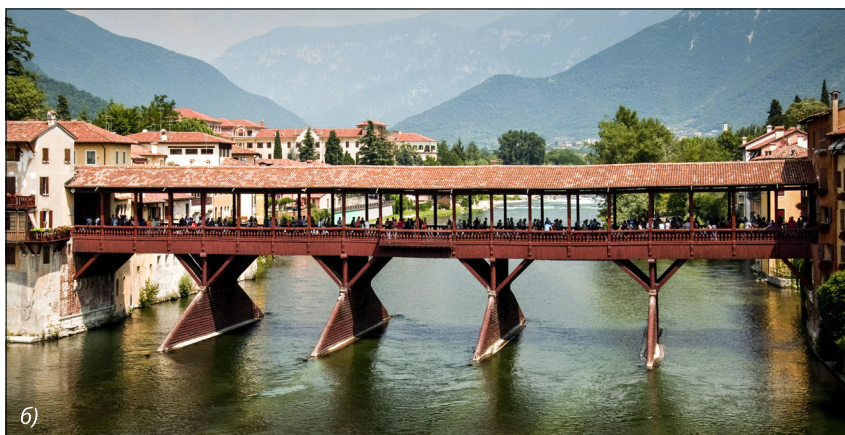
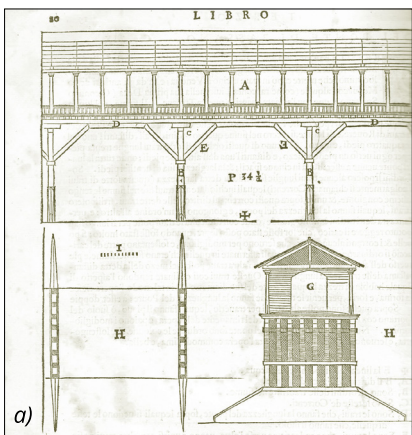


Рис. 5. Деревянный мост архитектора А. Палладио: а) проект моста, принятый в 1569 г.; б) возведённый по проекту мост, Италия. Современное фото

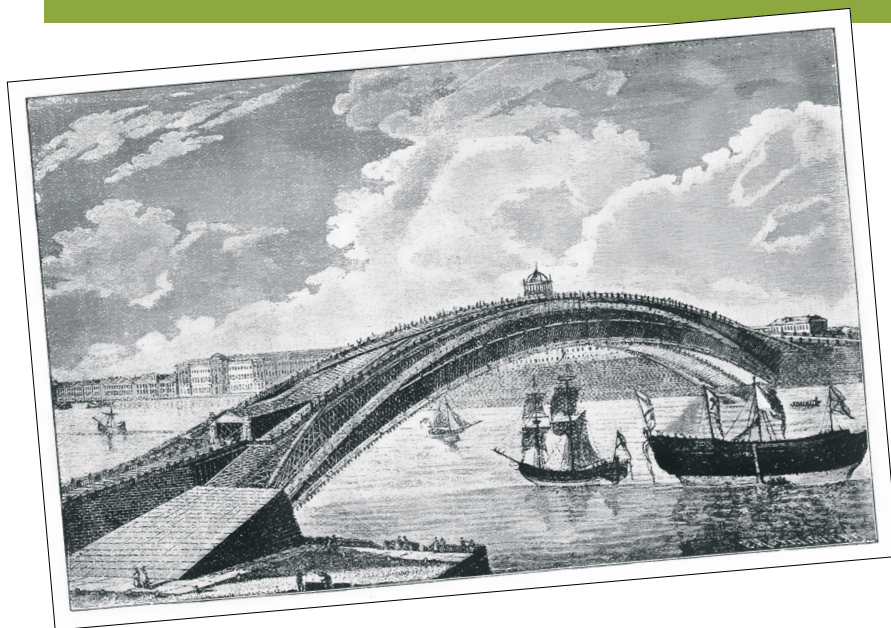


Рис. 6. Проект деревянного моста Кулибина. Копия гравюры 1799 г.

помог справиться с «караванным траффиком». Новый одиннадцатипролётный мост был длиной в 120 м и имел полукруглую форму арок западных — римских — мостов.

Конструкция этих мостов, как и римских, предполагала возможность не только соединять территории, но и в нужный момент разъединять их: незыблемыми должны были быть только устои. Арки строили так, чтобы их можно было в нужный момент разрушить, а потом восстановить.

После очередного оборонительного разрушения Малый мост больше не восстанавливали, до нас дошли только три средних пролёта. Большой же мост функционирует до сих, несмотря на то, что его также неоднократно разрушали.

Деревянные старейшины

Но не каменные арочные долгожители являются старейшими мостами на планете. Литературные и археологические источники дают нам представление о более древних, хоть и не сохранившихся мостах — деревянных.

Дерево — ценный материал, многим народам более доступный, чем камень. С древнейших времён из него создавались консольно-балочные конструкции мостов: береговые части устраивались в форме бревенчатых клеток, продольные брёвна которых последовательно выдвигались над рекой. Сами клетки заполнялись камнями и землёй. Такие мосты строились в Древней Греции и Риме. Высоко развила искус-

ство деревянного мостостроения и богатая лесами Древняя Русь [5].

Именно деревянные мосты послужили полигоном для отработки сложных подкосных конструкций, которые в дальнейшем применялись в железных мостах. В XVI веке знаменитый итальянский архитектор Андреа Палладио систематизировал возможные схемы деревянных конструкций и на практике применил балочные и арочные сквозные фермы в мостостроении.

Подкосно-ригельный **деревянный мост Палладио** (рис. 5) был построен через реку Бренте в городе Бассано (Италия). За свою почти пятисотлетнюю историю мост несколько раз уничтожался пожарами, наводнениями, войнами, но каждый раз его возводили заново по чертежам оригинального проекта [6].

В XVII веке появились арочно-подкосные системы, способные перекрывать пролёты до 20 м. Увеличение размеров ферм продолжилось в XVIII веке, пока пролёты не достигли рекордной длины в 119 м. Дальнейшее удлинение пролётов стало нецелесообразным из-за чрезмерного усложнения схемы.

Истории мостостроения известен проект деревянного моста с пролётом арки длиной в 294 м. На основе решётчатой фермы такую арку сконструировал русский механик-самоучка Иван Петрович Кулибин и представил её в 1776 году (рис. 6) в Петербурге.

К сожалению, проект не был реализован. Построена была только мо-

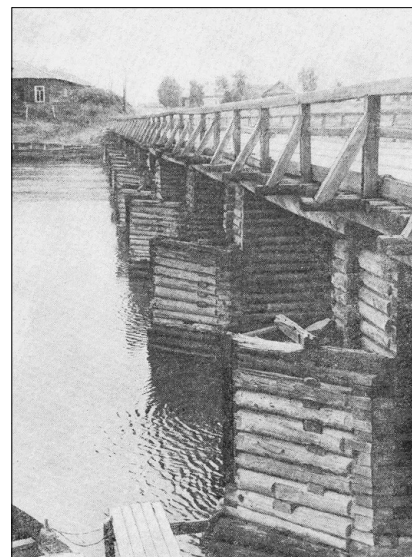


Рис. 7. Самый длинный из сохранившихся деревянных мостов (150 м) в с. Шуерецкое, Республика Карелия, Россия



Рис. 8. Деревянный железнодорожный мост через каньон Гоат, г. Сан-Диего, США. Постройка 1932 г. Современное фото

дель в масштабе 1:10. Эта модель — арка длиной в 30 м — находилась под наблюдением и в опытном использовании 35 лет. Пройдя все испытания, она доказала жизнеспособность проекта Кулибина. Но до строительства моста дело не дошло по экономическим и эстетическим соображениям. Тем не менее в истории мирового мостостроения это грандиозное сооружение осталось непревзойдённым

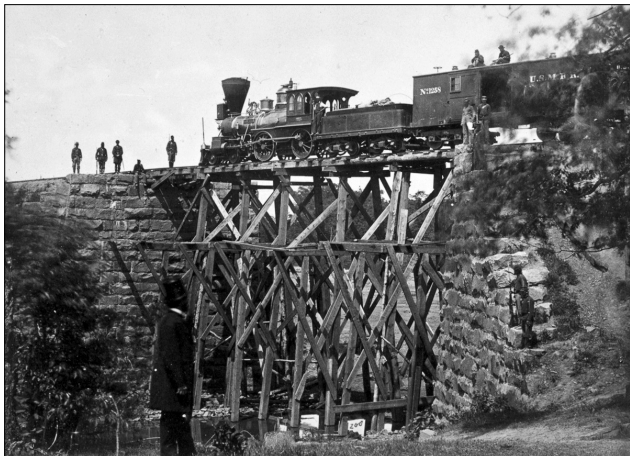


Рис. 9. Деревянный железнодорожный мост, Вирджиния, США. Фото 1863 г.



Рис. 10. Айронбридж, г. Телфорд, Великобритания. Постройка 1779 г. Современное фото

по оригинальности и техническому решению.

В России издревле подавляющая часть мостов строилась из дерева: доступность этого строительного материала и равнинный рельеф позволили мостостроителям развить мастерство до высочайшего уровня (рис. 7). Используемые схемы включали в себя сложные ряжевые, свайные, консольно-балочные и даже подвесные конструкции [7].

Важную роль в выборе конструкции мостов играет рельеф. Например, в Америке из-за обилия каньонов строили высокие мосты [8]. До наших дней сохранилось несколько железнодорожных мостов, построенных в начале прошлого века (рис. 8). Сложно представить, что по этим гигантским балочным паутинам ходили товарные поезда (рис. 9).

Главный минус деревянных мостов — их недолговечность. Гниение

и пожары уничтожали крепчайшие конструкции. В XX веке схемы и конструкции деревянных мостов стали использоваться для возведения мостов из железа и бетона.

Тем не менее деревянные мосты широко используются и сейчас. По данным Росавтодора [9], в начале второго тысячелетия в России каждый четвёртый мост был деревянным. В основном это мосты Читинской и Архангельской областей, Хабаровского края и Республики Саха (Якутия). Большинство из них построены по нормам военного времени и давно выработали свой ресурс. Скорее всего, со временем их заменят на железобетонные. Но есть и другая возможность.

В наши дни в Западной Европе и США наблюдается ренессанс мостов из древесных материалов. Новые технологии обработки позволяют строить мосты, отличающиеся прочностью,

долговечностью, экономичностью и простотой технического обслуживания.

Железные монстры

Первый чугунный мост — **Айронбридж** — воздвигли в конце XVIII века в Великобритании. Он был перекинут через реку Северен и стал одним из символов английской промышленной революции (рис. 10).

Чугун — хрупкий материал. Как и естественный камень, он выдерживает только силу сжатия, что объясняет выбор арочной конструкции для этого моста. Длина основного пролёта первого чугунного моста составляет 30 м — это очень мало, если сравнивать с каменными арками, длина пролётов которых в то время могла достигать 60 м, а деревянных — и того больше.

Уже в начале XIX века мост стал покрываться трещинами. В 1934 году его закрыли для транспортного дви-



Рис. 11. Мосты Навахо, Аризона, США. Постройки 1929 г. и 1995 г. Современное фото



Рис. 12. Мост Нью-Ривер-Гордж, Зап. Вирджиния, США. Постройка 1977 г., 518 м над землёй



Рис. 13. Бруклинский мост, Нью-Йорк, США. Постройка 1883 г. Современное фото.



Рис. 14. Золотые ворота, Сан-Франциско, США. Постройка 1937 г. Современное фото.

жения и внесли в список объектов, охраняемых ЮНЕСКО.

Вскоре не только в Англии, но и по всему миру мосты из железа стали возводить всех форм и типов: и висячие на цепях и стальных тросах, и арочные из клёпанных стальных профилей, и знакомые со времён деревянных мостов каркасные конструкции (рис. 11, 12).

В России строительство железных мостов также бурно развивалось. В 1899 году был открыт железный **мост через Енисей** со 150-метровой длиной ферм. Мост получил золотую медаль на всемирной выставке в Париже в 1900 году и был признан ЮНЕСКО «вершиной человеческой инженерной мысли» — так высоко оценило мировое сообщество новую систему ферм профессора Л.Д. Проскуракова и работу инженера-механика Е.К. Кнорре, выполнившего проект. Мост прослужил целый век. В 2002 году его начали разбирать, а в 2007 году сдали на металлолом.

Применение железа в конструкциях подвесных мостов позволило покорить ранее неподвластные расстояния. Родиной этих «королей мостов» стала Северная Америка. Самый знаменитый из первых висячих на стальных тросах — **Бруклинский мост** — был построен в 1883 году (рис. 13). Он перекинут в Нью-Йорке через Ист-Ривер. Общая длина составляет 1825 м, длина основного пролёта — 486 м. Автомобильные полосы движения разделены возвышающейся по центру пешеходной дорожкой.

Другая знаменитость страны висячих мостов, как часто называли США, — гигант через пролив **Золотые ворота** в Сан-Франциско (рис. 14). Он был построен в 1937 году. Длина основного пролёта составила 1280 м, общая длина — 2737 м. Высота красных рамочных пилонов составляет 410 м.

В 1973 году был открыт **мост через пролив Босфор**. Длиной более полутора километров, он интересен тем, что соединил Европу с Азией. Босфорский мост спроектирован русским ин-

женером Олегом Александровичем Керенским (1905–1984 гг.) — сыном премьер-министра России в 1917 году Александра Фёдоровича Керенского.

В наши дни основной материал мостостроения — это железобетон. Его используют в фундаментах, опорах, пролётных сооружениях. Он прочен и устойчив к атмосферным воздействиям. Открытие в начале XX века свойств преднапряжённого железобетона позволило возводить мосты малых и средних размеров в большом количестве за короткие сроки, существенно экономя на материалах и прочих ресурсах.

В СССР начиная с 1950-х годов практически все мосты строились из железобетона. Эти инженерные сооружения по большей части играли исключительно утилитарную роль, неприметно соединяя российские дороги в непрерывную сеть и не требуя к себе особого внимания.

Кроме таких повсеместно нужных и незаметных мостов, в мире идёт строительство железобетонных гигантов, поражающих своими техническими и порой архитектурными решениями. Устойчивые к ветрам, тайфунам и другим стихиям, они пролегают на многие десятки километров в длину, сотни метров в высоту, позволяя преодолевать реки, озёра, моря и океаны, долины, ущелья и каньоны.

Но далеко не все страницы истории мостостроения повествуют о триумфальном покорении пространства. Есть немало трагических эпизодов, о которых сложно не упомянуть. Крушения мостов случались во все эпохи в силу разных причин. Например, из-за резонанса со строевым шагом. От марша солдат в XVIII веке обрушился цепной мост во Франции, Египетский мост в Петербурге (1905 г.) и др. В Америке в 1878–1895 годах обрушилось 502 моста под поездами и ещё больше сгорело. В 1878 году в заливе Фертоф-Тей (Шотландия) от урагана обрушился самый длинный на тот момент мост в мире — Тэйский. В 1940 году обвалился пятый на тот момент по



Рис. 15. Даньян-Куншаньский виадук, Китай

величине висячий мост — Тэкомский (США). Железные монстры унесли немало жизней, прежде чем достигли небывалых высот в развитии мостостроения.

Рекордсмены XXI века

Если в XX веке бесспорным лидером в строительстве самых впечатляющих мостов были США, то в XXI веке ситуация в корне изменилась. Сегодня Китай — лидер в гигантском мостостроении. Буквально за последнее десятилетие китайцы построили сразу несколько мостов и виадуков, поражающих своими масштабами. Один из них — **Даньян-Куншаньский виадук** (рис. 15) — занесён в книгу рекордов Гиннеса как самый длинный мост на планете. Его длина составляет 164,8 км. Он соединяет города Шанхай и Нанкин. В основном он проходит по суше, возвышаясь над уже сложившейся инфраструктурой. Безусловно, это

не просто мост или виадук. Это мегаструктура, которая включает в себя целый ряд крупных сооружений.

Один из мостов Даньян-Куншаньского виадука — **Циндао** (рис. 16) — на сегодняшний день является длиннейшим из трансокеанских мостов. Он пересекает залив Цзяочжоу в Жёлтом море. Его длина — 42,5 км. Мост соединяет город и порт Циндао с пригородным районом и городом Хуандао. Он находится в очень сложных климатических условиях — тайфуны, землетрясения, замерзание воды — это настоящий вызов, брошенный стихии китайскими инженерами.

Китайские гиганты преодолевают почти все возможные виды рельефа: каналы, реки, озёра, горные участки местности. В их конструкциях есть почти все статические схемы мостов из разных пролётных соединений: ферменные, рамные, вантовые и арочные. Многокилометровые



Рис. 16. Мост Циндао, Китай

участки уходят в подводные тоннели. Высокоскоростные железнодорожные трассы соседствуют с автомагистралями, возвышаясь над землёй многокилометровыми железобетонными полотнами.

Рекордсмен среди арочных мостов по длине пролёта также находится в Китае — **мост Чаотяньмэнь** (рис. 17). Его рекорд длины основного пролёта — 552 м. Общая длина — 1,7 км. Он перекинут через реки Янцзы и Цзялинцзян в городе Чунцин и открыт для пешеходного, автомобильного, железнодорожного движения с 2009 года.

Самый длинный подвесной мост построен в Японии в 1998 году — это **Мост Акаси-Кайкё** (рис. 18), что означает «жемчужный» или «перламутровый». Его полная длина составляет 3911 м, центральный пролёт имеет длину 1991 м, а боковые — по 960 м. Высота пилонов составляет 298 м.

В 2012 году Россия тоже обзавелась рекордсменом — **Русский мост** (рис. 19) через пролив Босфор Восточный во Владивостоке в мировом рейтинге занял первое место по длине пролёта среди вантовых мостов и второе место по высоте пилонов. Вантовые мосты — разновидность висячих. Они отличаются формой основного несущего элемента: у висячих это криволинейная нить, у вантовых — прямолинейная.

Всего пару десятков метров уступил наш Русский мост мировому рекордсмену по высоте пилонов — французскому **виадуку Мийо** (рис. 20). Высота пилонов Мийо составляет 343 м. Транспортное полотно возвышается на 270 м над землёй. Автомобили буквально парят над облаками. Работа над проектом велась с привлечением экологов и архитекторов, которые заботились о сохранности экосистемы долины реки Тарн и даже о виде из окна автомобиля. Виадук соединил Францию с Испанией.

Как и другие мосты-рекордсмены, виадук Мийо демонстрирует высочайший уровень развития современных технологий и небывалые успехи мостостроения современности. ■

Литература:

1. Всеобщая история архитектуры, том. II, книга 2 / Кауфман С.А. [и др.]. М.: Издательство академии архитектуры СССР, 1948. 437 с.



Рис. 17. Арочный мост Чаотяньмэнь, г. Чунцин, Китай



Рис. 18. Висячий мост Аксаи-Кайкэ, Япония



Рис. 19. Русский мост (вантовый), г. Владивосток, Россия



Рис. 20. Виадук Мийо, Франция

2. Dai Wusan. Ancient Roads and Bridges. A History of Chinese Science and Technology. Vol. 3. Springer, 2014. 624 p.
3. Шкловский В.Б. Марко Поло. М., 1973.
4. Мамед-заде К. М. Строительное искусство Азербайджана. М., 1958 г.
5. Гаскин В.В., Иванов И.А. Деревянные мосты. Уч. пособие, ИрГУПС. Иркутск, 2005. 172 с. URL: http://sdo.irgups.ru/modules/works/derev_mosty.pdf (дата обращения 19.05.2016).
6. Щусев П. В. Мосты и их архитектура. М., 1952.
7. Иванова-Веэн Л. И. Русские деревянные мосты // Памятники науки и техники. 1982–1983. М., 1984, с. 53–73. URL: <http://www.russiacity.ru/hbooks/h026.htm> (дата обращения 19.05.2016).
8. Мосты из брёвен в США, Канаде и других местах. URL: <http://www.liveinternet.ru/community/3299606/post299665759/> (дата обращения 19.05.2016).
9. Автомобильные дороги. Деревянные мосты. Тематическая подборка. 2001 г. URL: http://www.infosait.ru/norma_doc/52/52382/ (дата обращения 19.05.2016).

САМЫЕ ДЛИННЫЕ И ВЫСОКИЕ

МОСТЫ

Топ 5

САМЫЕ ДЛИННЫЕ МОСТЫ

(по общей длине, в километрах)

1 **Даньян-Куншаньский виадук** (Danyang-Kunshan Grand Bridge). КНР, 2011 г. 🇨🇳

164,8 км



2 **Тяньцзинский виадук** (Tianjin Grand Bridge). КНР, 2011 г. 🇨🇳

113,7 км



3 **Мост через р. Вэй** (Weinan Weihe Grand Bridge). КНР, 2010 г. 🇨🇳

79,7 км



4 **Магистраль Банг На** (Bang Na Expressway). Таиланд, 2000 г. 🇹🇭

54 км

5 **Пекинский большой мост** (Beijing Grand Bridge). КНР, 2011 г. 🇨🇳

48,2 км

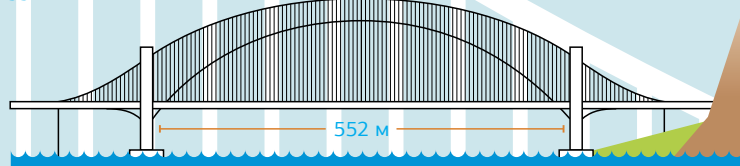
Топ 5

САМЫЕ ДЛИННЫЕ АРОЧНЫЕ МОСТЫ

(по главному пролёту, в метрах)

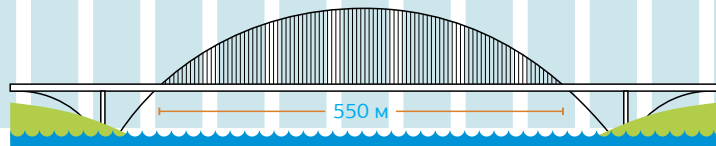
1 **Чаотяньмэнь** (Chaotianmen Bridge). КНР, 2009 г. 🇨🇳

552 м



2 **Мост Лупу** (Lupu Bridge). КНР, 2003 г. 🇨🇳

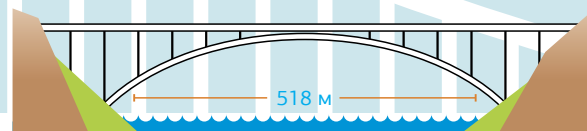
550 м



3 **Мост Нью-Ривер-Гордж**

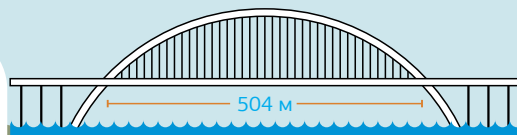
(New River Gorge Bridge). США, 1977 г. 🇺🇸

518 м



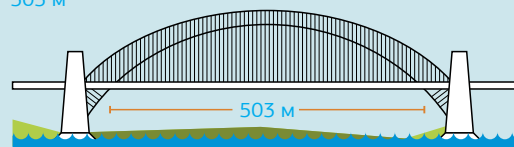
4 **Мост Байон** (Bayonne Bridge). США, 1931 г. 🇺🇸

504 м



5 **Харбор-Бридж** (Sydney Harbour Bridge). Австралия, 1932 г. 🇦🇺

503 м



Топ 5

САМЫЕ ДЛИННЫЕ ПОДВЕСНЫЕ МОСТЫ

(по главному пролёту, в метрах)

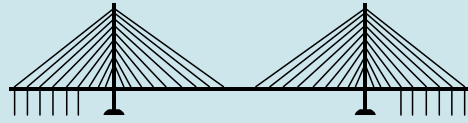


- 1 Мост Акаси-Кайкё (Akashi-Kaikyo Bridge).**  Япония, 1998 г.
1 991 м
- 2 Мост Сихоумэнь (Xihoumen Bridge).**  КНР, 2009 г.
1 650 м
- 3 Мост Большой Бельт (Great Belt Bridge).**  Дания, 1998 г.
1 650 м
- 4 Мост Ли Сунсин (Yi Sun-sin Bridge).**  Южная Корея, 2012 г.
1 545 м
- 5 Жуньянский мост (Runyang Bridge).**  КНР, 2005 г.
1 490 м

Топ 5

САМЫЕ ДЛИННЫЕ ВАНТОВЫЕ МОСТЫ

(по главному пролёту, в метрах)




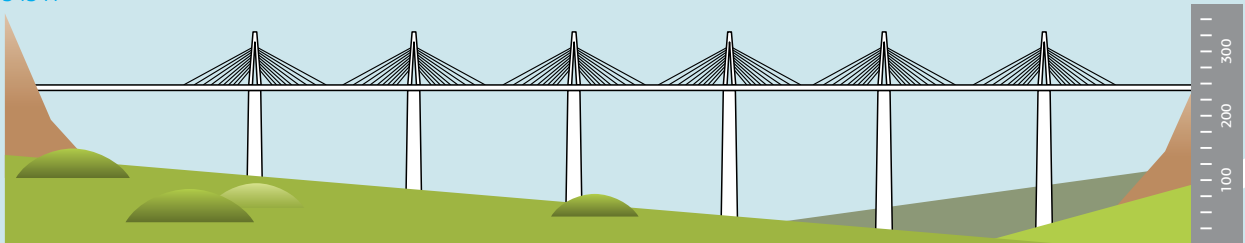
- 1 Русский мост (Rusky Bridge).**  Россия, 2012 г.
1 104 м
- 2 Мост Сутун (Sutong Bridge).**  КНР, 2008 г.
1 088 м
- 3 Мост Стоункаттерс (Stonecutters Bridge).**  КНР (Гонконг), 2009 г.
1 018 м
- 4 Мост Эдун (E'dong Bridge).**  КНР, 2010 г.
926 м
- 5 Мост Татара (Tatara Bridge).**  Япония, 1999 г.
890 м


Топ 3

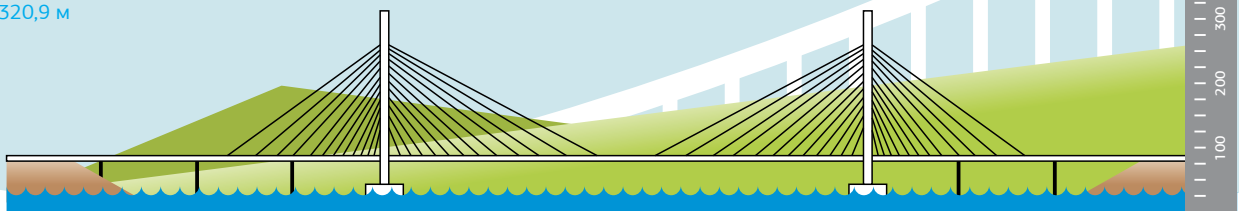
САМЫЕ ВЫСОКИЕ МОСТЫ


(максимальная конструктивная высота включая пилон, в метрах)

- 1 Виадук Мийо (Millau Viaduct Bridge).**  Франция, 2004 г.
343 м



- 2 Русский мост (Rusky Bridge).**  Россия, 2012 г.
320,9 м



- 3 Мост Сутун (Sutong Bridge).**  КНР, 2008 г.
306 м

