

ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В МОСТОСТРОЕНИИ

Отечественное мостостроение, пережив разные эпохи, пройдя многие этапы и впитав в себя самое лучшее, имеющееся в международной практике, показало миру прекрасные образцы инженерного искусства. В данной статье рассмотрены некоторые исторические аспекты, определившие развитие мостового дела в нашей стране.

Зарубежные истоки

По свидетельству древнегреческого историка Геродота, первые капитальные мосты были построены через реку Евфрат в Вавилоне еще за 2000 лет до н. э. Они сооружались на кирпичных опорах, по которым были уложены балки из кипарисовых бревен. Для возможности возведения опор река временно отводилась в другое русло.

Этот прием был использован и в более поздние времена при строительстве мостов в древнем Риме. Строительство каменных и деревянных мостов там начали с VII века до н. э. Первый мост (мост Сибелиус) через Тибр в Риме был построен в 630 году до н. э. Он был на деревянных сваях и с деревянными прогонами. В дальнейшем в древнем Риме и его провинциях достаточно широкое распространение получили деревянные мосты на свайных или каменных опорах. При сравнительно больших про-

летах прибегали к деревянным аркам, а при небольших – сооружали балочные деревянные мосты. Примером деревянного свайного моста может служить мост через Рейн, сооруженный в 59 году до н. э. как 56-пролетное сооружение.

От этрусков, заселявших Италию до эпохи Рима, к римлянам перешли знания о постройке полуциркульных арочных сводов с изготовлением их на кружалах. Этрусские своды получили у римлян распространение при сооружении каменных мостов и акведуков как в самом Риме, так и в его провинциях. Основная опора устраивали или свайным, или из бетона, укладываемого в понтонном ящике, или в виде каменной наброски выше межени. Тело опор делали из камней на растворе. В особо важных сооружениях опоры сооружали из отесанных больших камней, укладываемых насухо, без раствора. Толщина промежуточных опор (быков) в древнеримских мостах

достигала величины в половину пролета. Позднее над толстыми опорами устраивались проемы для уменьшения давления на грунт и для пропуска высокой воды.

В Риме строились каменные мосты арочной системы, некоторые из них сохранились до сих пор. В эпоху расцвета Вечного города было построено восемь мостов через Тибр. Например, в 109 году до н. э. сооружен каменный арочный мост Милвиус, с пролетами арки до 23,7 м при толщине опор до половины пролета. Похож на него и построенный в 138 году н. э. мост Ангела.

На территории современной Франции, входившей тогда в состав Римской империи, в те годы построен великолепный Гардский арочный каменный акведук (рис. 1). Трехъярусное сооружение имело высоту около 48 м и общую длину 275 м. Максимальная ширина пролета арки по нижнему ярусу достигала 25 м, а наибольшая толщина промежуточных опор – 4,8 м. Очертания арок полуциркульные. Характерной особенностью каменной кладки опор является то, что каменные блоки плотно подогнаны друг к другу, кладка велась без раствора. Много древнеримских мостов имеется в Испании, например, каменный арочный, с пролетом около 30 м и высотой до 60 м, мост Алькантра через реку Таро (98 год н. э.). Его своды выложены из тесаных камней без раствора.

В рабовладельческую эпоху мостовые сооружения строились в основном для решения военных задач (наплавной мост Дария через Босфор, мост Ксеркса через Геллеспонт, мосты Александра Македонского через Евфрат и Инд). В Римской империи было построено около 80 тыс. км гужевых дорог с деревянными и каменными мостами, что обеспечивало быстрое продвижение римских легионов к месту назначения и позволяло достаточно эффективно управлять действиями войск.



Рис. 1. Гардский мост (Пон-дю-Гар, Pont du Gard): римский акведук



Рис. 2. Мост Траяна через Дунай

Характерным примером успешности инженерной мысли той эпохи может служить мост через Дунай (рис. 2), построенный в период правления римского императора Траяна в 103 году н. э. под руководством Аполлодора из Дамаска. Мост был необходим империи для похода в Дакию против взбунтовавшихся местных племен. Он представлял собой многопролетное сооружение с каменными опорами на естественном основании.

Переход протяженностью около 1 км имел в своем составе 21 арочный пролет длиной 36 м каждый. Опорами для них служили каменные быки толщиной 18 м. Высота моста составляла 20–25 м над уровнем воды, а глубина воды в месте перехода доходила до 6 м. Пролеты перекрыты деревянными арками из трех брусев по высоте с радиальными схватками. На время строительства вода реки была полностью отведена в параллельный Дунаю канал, чтобы обеспечить возможность сооружения опор. К образовавшемуся острову был устроен деревянный мост. Современники называли это сооружение чудо-мостом. Сегодня видны лишь части устоев с румынской и югославской сторон Дуная.

После падения Рима под натиском варваров в Западной Европе на протяжении 600 лет мосты практически не строились. В Византии же в период раннего средневековья по римскому типу были построены несколько мостов. Один из таких, 7-пролетный арочный каменный мост с пролетами по 23 м, возведен в Азии возле города Бусы. Главной особенностью моста является форма быков: с верхней стороны бык имеет треугольный выступ, а с нижней – полуциркулярное очертание. Такая форма поперечного сечения послужила образцом для многих будущих мостовых сооружений.

Мостостроение в Западной Европе начало возрождаться с X века н. э.,

когда в связи с развитием товарно-денежных отношений возникла необходимость в постоянных путях сообщения и, следовательно, в мостах. При этом сначала в основном использовался древнеримский опыт проектирования и строительства. Характерным примером средневекового моста можно считать арочный каменный мост через Рону в Авиньоне (рис. 3.), построенный в XII веке орденом монахов-бenedиктинцев, которые называли себя «мостовыми братьями». Длина моста около 600 м, наибольший пролет арки – 33 м. До сих пор сохранилось четыре пролета моста как исторический памятник.

Средневековые каменные мосты более разнообразны по форме и приемам кладки, чем древнеримские. Быки имеют меньшую толщину, составляя 1/3 – 1/4 пролета арки, своды заменяются отдельными арками, которые устраиваются более пологими (не полуциркулярное очертание, пологость доходит до 1/6 от пролета). Уменьшается также толщина свода, увеличивается длина арочного пролета, доходя до 72 м, и т. д. Деревянные мосты, ввиду их дешевизны и быстроты возведения, в эти



Рис. 3. Каменный мост через Рону в Авиньоне

годы также строятся. Чаще возводятся балочные мосты на свайных или на каменных опорах.

Эволюция отечественных мостов

На Руси долгое время строили преимущественно деревянные наплавные (так называемые «живые») мосты. При Ярославе Мудром был разработан мостовой устав, в котором затрагивались вопросы допускаемых нагрузок на мосты, вопросы конструкции, стоимости. В войске были специальные подразделения «мостников», обеспечивающих переправу через многочисленные реки.

В 1115 году при Владимире Мономахе был возведен первый наплавной мост через Днепр в Киеве. Строились и мосты, рассчитанные на длительный срок службы. Их опоры чаще возводились на так называемых «срубках», представляющих собой конструкции в виде заполненных камнями ряжей, между рядами бревен у которых были зазоры. Такой мост через реку Волхов упоминается в новгородской летописи за 1335 год (рис. 4).

Первый каменный мост на Руси был построен в 1368 году через реку Неглинку во времена Дмитрия Донского. А в 1643–1682 годах был возведен первый капитальный каменный мост арочной системы через Москву-реку. Мост включал семь речных пролетов по 28,4 м и два береговых при общей длине около 240 м.

Накопленный за столетия опыт мостостроения, потребности общества в путях сообщения потребовали систематизации знаний, что привело к необходимости



Рис. 4. Деревянный мост через Волхов в Великом Новгороде

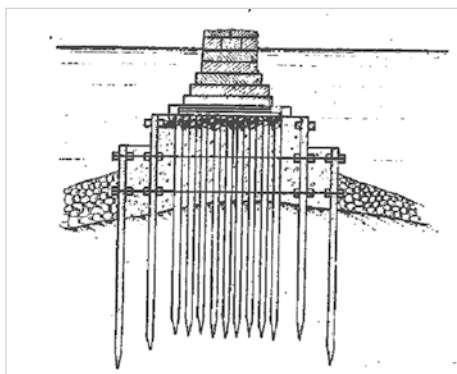


Рис. 5. Опора Благовещенского моста через Неву в Петербурге



Рис. 6. Мстинский мост



Рис. 7. Большой Обуховский мост через Неву

создания соответствующих учебных заведений. В 1747 году во Франции была создана Школа мостов и дорог. В 1809 году манифестом российского императора Александра I объявлено об образовании

Корпуса инженеров путей сообщения и Института при нем, что способствовало развитию отечественного мостостроения. Выпускниками Института был запроектирован и построен ряд мостов в России.

Наиболее значимым было строительство в 1850 году первого капитального моста через Большую Неву в Петербурге. Было принято решение пролеты моста перекрывать чугунными арками. Автор проекта и руководитель строительства С.В. Кербедз, воспитанник и впоследствии профессор Института Корпуса инженеров путей сообщения, предложил проект, по которому чугунный мост из решетчатых арок (названный Благовещенским) имел восемь пролетов, из которых крайний (правобережный) был разводной. Центральный неразводной пролет, перекрытый аркой, имел длину 47,5 м.

Сооружение опор моста представляло собой сложнейшую задачу, учитывая слабые грунты в виде иловатых наносных отложений, толщи ленточных текучих и текучепластичных суглинков и значительную (до 12 м) глубину воды в реке. Устройство речных оснований было выполнено на деревянных сваях длиной до 20 м (рис. 5).

При этом сначала место для опоры ограждалось двумя сплошными рядами свай, причем внешний ряд отстоял от внутреннего на 1,5 м. В грунт внутри ограждения забивались сваи в количестве 540 штук и устраивалась отсыпка из булыжного камня для предотвращения размыва грунта вокруг опоры. Тело опоры сооружалось под защитой деревянного бездонного ящика, изготовленного на берегу и доставленного на плаву к месту установки на бетонное основание опоры. Сверху на него укладывались два ряда толстых досок, после чего производилась кладка опор. При этом нижние девять рядов кладки были устроены сплошными из финского и сердобольского гранита, остальные ряды только облицовывались гранитом, внутреннее заполнение выполнялось путиловским камнем. На строительстве моста в 1847 году работало 1477 человек, из них 795 каменотесов.

Деревянные сваи опоры представляли собой элементы уплотнения грунтового массива, ограниченного двумя рядами шпунтовых свай.

Одновременно со строительством Благовещенского моста строилась железная дорога Санкт-Петербург – Москва, введенная в эксплуатацию в 1851 году, с многочисленными деревянными моста-



Рис. 8. Лазаревский мост

ми. Общий вид одного из них – моста через реку Мсту – приведен на рис. 6. Видно, что тело опор имеет ледорезы. Пролетные строения с деревянными фермами Гау-Журавского.

В 1875–79 годах был построен второй капитальный мост через Большую Неву – Литейный. Там был использован другой метод устройства фундаментов опор – на кессонах. В то время этот тип фундаментов только внедрялся в мостостроение, он не был освоен в должной мере, потому строительство сопровождалось аварией: взрыв в кессоне привел к гибели рабочих, находящихся внутри кессона. Следует отметить, что в мостостроении, к сожалению, в то время достаточно часто случались аварии. Так, в США с 1878 по 1888 год при строительстве мостовых сооружений произошло несколько десятков катастроф. Тем не менее, многие мосты на железных и автомобильных дорогах до сере-

дины XX века строились на кессонах и опускных колодцах, учитывая высокую несущую способность и надежность при эксплуатации. Конкуренцию им составляли опоры на высоких и низких свайных ростверках, поскольку вместо деревянных свай с начала XX века стали применяться железобетонные сваи, которые, будучи жестко объединены с фундаментной плитой (т. е. являясь не только элементами уплотнения грунта основания), позволяли также создать высокоэффективную конструкцию фундамента.

В 1950-х годах были предложены вибрационные методы погружения свай, обуславливающие возможность погружения в грунт линейных элементов (свай, свай-оболочек) большого диаметра, обладающих высокой несущей способностью. С 1970-х годов получили распространение более универсальные, используемые при любых грунтах буро-

вые технологии. Несущая способность бурового столба длиной до 40–70 м может составлять тысячи тонн.

Надфундаментная часть опор также совершенствовалась: на смену каменным и бутобетонным массивам пришли сборные и монолитные железобетонные и сборно-монолитные бетонные конструкции. В последние годы в отечественное мостостроение пришли вантовые технологии, позволяющие перекрывать большие пролеты и обеспечивать пропуск судов без устройства разводного пролета. Первый неразводной мост через Неву – двухпилонный Большой Обуховский мост – был построен в 2007 году (рис. 7). Пролет моста – 382 м, высота подмостового габарита – 30 м, металлический пилон имеет высоту 126 м.

Вантовые мосты, помимо конструктивных, имеют и архитектурные достоинства. Например, приведенный Лазаревский мост (рис. 8) через Малую Невку, соединяющий Крестовский и Петроградский острова в Петербурге, производит весьма благоприятное впечатление. Пролет моста невелик и составляет всего 115,5 м. Пилон – металлический, выполненный из двух наклонных арок коробчатого сечения. Фундаменты опор моста устроены из буронабивных свай диаметром 1,2–2,0 м и длиной до 40 м.

Примером большепролетного вантового моста может служить мост во Владивостоке через бухту Золотой Рог (рис. 9).

Пилон высотой 225 м моста через бухту Золотой Рог во Владивостоке с длиной главного пролета 732 м состоит из двух отдельных стоек, не объединенных сверху, наклоненных наружу от оси моста.

Отечественное мостостроение прошло значительный путь развития. Последние конструктивные решения мостовых сооружений убедительно демонстрируют возросшие возможности мостостроителей, позволяющие решать сложнейшие технические задачи.

В.Н. Смирнов,
заведующий кафедрой «Мосты»
ПГУПС,
д-р техн. наук, проф.



Рис. 9. Вантовый мост через бухту Золотой Рог во Владивостоке