



О. В. Алексеева

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПРОГРЕССА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

Екатеринбург
2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный лесотехнический университет»
(УГЛТУ)

Инженерно-технический институт

Кафедра автомобильного транспорта и транспортной инфраструктуры

О. В. Алексеева

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПРОГРЕССА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

Методические указания для проведения занятий семинарского типа, организации самостоятельной работы для обучающихся всех форм обучения по направлениям 08.03.01 и 08.04.01 «Строительство» (направленность (профиль) – «Автомобильные мосты и тоннели»), дисциплины – «История мостостроения», «Научно-технические проблемы и архитектурные решения в строительстве автомобильных мостов и тоннелей», «Архитектурные решения в строительстве автомобильных мостов и тоннелей» и «Исторический опыт прогресса в строительстве и архитектуре мостов в сфере решения проблем мостостроения»

Екатеринбург
2022

Печатаются по рекомендации методической комиссии Инженерно-технического института.

Протокол № 3 от 05 ноября 2021 г.

Автор: старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта и транспортной инфраструктуры О. В. Алексеева

Рецензент – канд. с.-х. наук, доцент кафедры сервиса и эксплуатации наземного транспорта В. А. Сопига

Редактор Н. В. Рощина

Оператор компьютерной верстки Е. Н. Дунаева

Подписано в печать		Поз. 20
Плоская печать	Формат 60×84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ № 228	Печ. л. 1,63	Цена руб. коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Сектор оперативной полиграфии УГЛТУ

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для проведения занятий семинарского типа, организации самостоятельной работы для обучающихся всех форм обучения по направлениям 08.03.01 и 08.04.01 «Строительство» (направленность (профиль) – «Автодорожные мосты и тоннели»).

Изучаемые дисциплины:

– для направления 08.03.01 «Строительство»: «История мостостроения», «Научно-технические проблемы и архитектурные решения в строительстве автодорожных мостов и тоннелей», «Архитектурные решения в строительстве автодорожных мостов и тоннелей»;

– для направления 08.04.01 «Строительство»: «Исторический опыт прогресса в строительстве и архитектуре мостов в сфере решения проблем мостостроения».

Необходимость издания работы вызвана отсутствием систематически подобранного издания по указанным дисциплинам и требованием организации самостоятельной работы обучающихся.

Мосты играют важнейшую роль в развитии современного индустриального мира, являясь частью его транспортной инфраструктуры. Когда-то они соединяли берега рек и имели исключительно местное значение, а сегодня они пересекают моря и связывают страны.

История мостов помогает увидеть эволюцию поселений, городов, мегаполисов и стран с тех самых времен, когда мосты выполняли примитивные потребности наших предков. Территориальные притязания сводились к вопросу о контроле над теми или иными мостами.

Во все времена развитие торговли зависело от существования необходимых речных переправ. В современную эпоху с мостами связаны рост городов и отношения между странами. Невозможно представить крупнейшие города мира, например, Санкт-Петербург, Москва, Нью-Йорк или Лондон, Венеция или Рим, без мостов, формирующих их облик.

За последние десятилетия масштабы проектирования и строительства мостов выросли невероятным образом. Человечество непрерывно испытывает потребность в совершенствовании средств коммуникации, рекорды по сооружению самых длинных, самых высоких, самых оживленных мостов побиты неоднократно. Этому способствовало развитие инженерного знания, материаловедения и технологий строительства. При возведении новых мостов – порой таких больших, что через моря они связывают страны, а порой столь малых, что они служат лишь для прокладки интересных маршрутов по достопримечательностям старинных городов, – в наши дни используются самые последние инновации проектирования и инженерных технологий.

Всю историю строительства мостов и науки мостостроения можно разделить на несколько этапов.

Первый этап с древнейших времен и примерно до XIII века называют условно *эмпирическим*. В этот период строительство мостов развивалось исключительно на базе накапливаемого опыта.

Второй этап считают *инженерным*. Он охватывает период с XIII века (Возрождение) до второй половины XVIII века и характеризуется оживлением экономической деятельности после определенного зстоя, в период, следующий за падением Римской империи. Развивается промышленность, увеличивается товарообмен, что стимулирует создание разветвленной транспортной сети. В ответ на это формируются фундаментальные для строительства науки – строительная механика и сопротивление материалов.

Третий этап называют *временем чугуна* (конец XVIII – первая треть XIX века), так как он совпадает с освоением доменного процесса, что обусловило строительство мостов из чугуна. Это позволило увеличить пролеты мостов, но потребовало новых теоретических и экспериментальных исследований в области строительных наук.

Четвертый этап охватывает XIX век, с полным правом можно назвать *железным веком*. Использование в качестве строительного материала железа стало возможным в результате освоения новых железоделательных технологий. С приходом в строительство железа были обоснованы, рассчитаны и реализованы новые конструктивные схемы мостов, в том числе и больших пролетов. Появился новый вид транспорта – железнодорожный, который очень быстро становится доминирующим. Мостостроение оказывается очень востребованным, а инженеры-мостовики пользуются особым уважением.

Пятый этап (на стыке XIX и XX веков) связан с открытием *железобетона*. Открытие этого материала произвело революцию в строительстве, в том числе и в мостостроении. Железобетон серьезно потеснил металл в мостах с относительно небольшими пролетами, но потребовал новых методов расчета и нового подхода к испытаниям материалов.

Примерно в этот же период мостостроение окончательно превращается в *самостоятельную отрасль строительства* со своими нормами, методиками расчета и проектирования, технологиями строительства (**шестой этап**).

В прошлом столетии начался новый **седьмой** этап в развитии нашей цивилизации – *научно-техническая революция*.

Этот этап (примерно до 90-х годов) характеризуется ускоренным развитием промышленности в Европе, включая Россию (СССР), США, Японию, и столь же быстрым развитием как железнодорожного, так и автомобильного транспорта в этих странах.

Стимулом индустриализации стали две мировые войны, обнажившие все несовершенство эпохи, но одновременно потребовавшие мобилизации

интеллектуального и технического потенциала для создания мощной индустриальной базы, военной промышленности, нового смертоносного вооружения, в том числе авиации, танков, ракет.

В мостостроении этот период связан с новыми подходами к нормированию нагрузок, в том числе автомобильных, внедрением методики расчета по предельным состояниям, дальнейшим развитием экспериментальных исследований.

Следующий этап, начало которого пришлось на конец прошлого века, можно назвать *мосты в постиндустриальную эпоху*. Он ознаменован победным шествием Великой компьютерной революции, которая объединила мир интернетом и позволила решать самые сложные технические проблемы с помощью мощной электронной измерительной и вычислительной техники.

В мостостроении это нашло выражение в использовании в проектных расчетах методов конечных элементов, инструментальном мониторинге состояния мостовых конструкций при строительстве и эксплуатации. И уже в новом тысячелетии высокими темпами происходит внедрение информационных, так называемых BIM-технологий (Building Information Model) на всех стадиях жизненного цикла сооружений.

Настоящие методические указания рассматривают два первых этапа истории мостостроения (эмпирический и инженерный периоды). Остальные этапы истории мостостроения будут рассмотрены в следующем издании.

1. ЭМПИРИЧЕСКИЙ ПЕРИОД

1.1. Первые мосты

Наши далекие предки «подсмотрели» у природы, созданные ею переходы через препятствия в виде стволов деревьев, сваленных ветром или подмытых водой и перекрывших ручей, переплетенных ветвей деревьев, растущих на разных склонах оврага, каменных набросков через горные речки и так далее. Наблюдая природу, учась у нее и подражая ей, люди получали начальные навыки в строительном деле.

Естественно образовавшиеся своды в скалах (рис. 1.1) подвигли на возведение арочных мостов, а также порталов храмов и других зданий. Появились висячие мосты с использованием в качестве канатов лиан или других волокнистых трав и корней растений (рис. 1.2, 1.3), а также бревенчатые мосты, каменные мосты (пример простейшего каменного моста показан на рис. 1.4).



Рис. 1.1. Естественный арочный мост высотой 34 м через реку Ардеш на юге Франции (вероятно, когда-то это был вход в обрушившуюся пещеру)

Во влажных джунглях Северо-Восточной Индии местные жители изобрели уникальный способ строительства мостов из произрастающих здесь каучуконосных фикусов. Не спиливая их, через реку перекидывают наземные части корней, получая таким образом висячий мост, который со временем становится только прочнее. Пешеходное полотно обычно устилают камнями.



Рис. 1.2. Мост из лиан в провинции Ия (Япония)



Рис. 1.3. Мост из корней каучуконосных фикусов

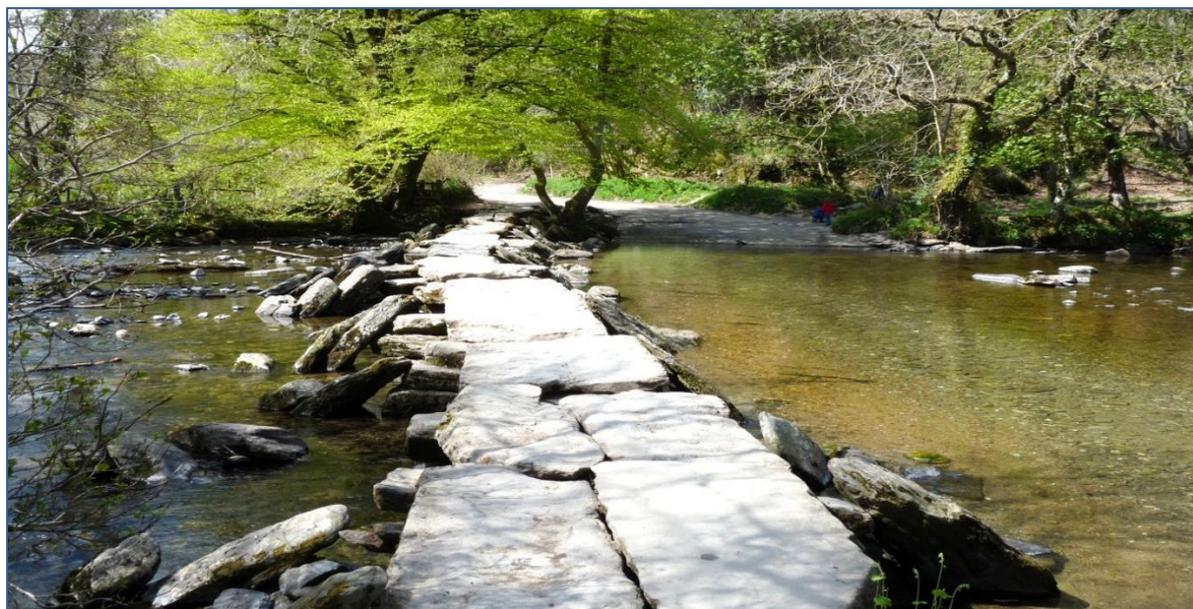


Рис. 1.4. Пример простейшего каменного моста

Развитие цивилизации, образование государств вызвало к жизни новые тенденции – хорошие и, к сожалению, не очень хорошие. С одной стороны, желание лучше познать себя и мир, установление торговых связей, а с другой – стремление расширять свои владения, отнимать, поработать, которое породило такое варварское явление, как война.

Торговля и войны требовали перемещения тяжелых грузов и многочисленных войск на значительные расстояния. При этом возникала необходимость пересечения широких рек и проливов большими мостами.

Одним из первых таких мостов был, по-видимому, наплавной мост через пролив Босфор, возведенный греческим строителем Мандроком в 512 году до н.э. (дата приблизительная) для войска персидского царя Дария, идущего походом на родину строителя. Его длина составила около 1300 м, и для его устройства были заякорены специально изготовленные лодки, поставленные вдоль течения вплотную одна к другой. На лодках был уложен деревянный настил (рис. 1.5).

Впоследствии было возведено еще несколько больших наплавных мостов в военных целях. Со временем, кроме наплавных мостов, появились и мосты на свайных опорах.



Рис. 1.5. Примерный вид наплавного моста Мандрокла (по мосту, положенному на заякоренные лодки, составленные борт к борту, войско персидского царя Дария пересекло Босфор) [1]

1.2. Мосты Древнего Рима

Подражание природе в строительстве вылилось в заимствование у нее некоторых пропорций, например таких, как соотношение между размерами частей человеческого тела или сбег стволов деревьев от комля к вершине.

В энциклопедическом труде «Десять книг об архитектуре» [2], который оставил нам древнеримский архитектор Витрувий (80–15 гг. до н.э.), современник Юлия Цезаря, указывается: «Верхние колонны следует де-

лать на четвертую часть меньше нижних, потому что для поддержания тяжести то, что находится внизу, должно быть прочнее находящегося наверху, а также и потому, что следует подражать природе растений, из которых нет ни одного, которое не было бы толще у корней и которое затем постепенно не убывало бы в высоту, путем естественного и равномерного сужения вырастая до вершины. Итак, раз того требует природа растений, то правильно установлено, что верхнее должно быть и в высоту, и в толщину сокращеннее нижнего» (книга 5, глава 1).

Через полторы тысячи лет Леонардо да Винчи как бы проиллюстрировал в одном из своих дневников увлечение древних архитекторов пропорциями человеческого тела своим графическим рисунком, известным под названием «Витрувианский человек» (рис. 1.6 [3]).

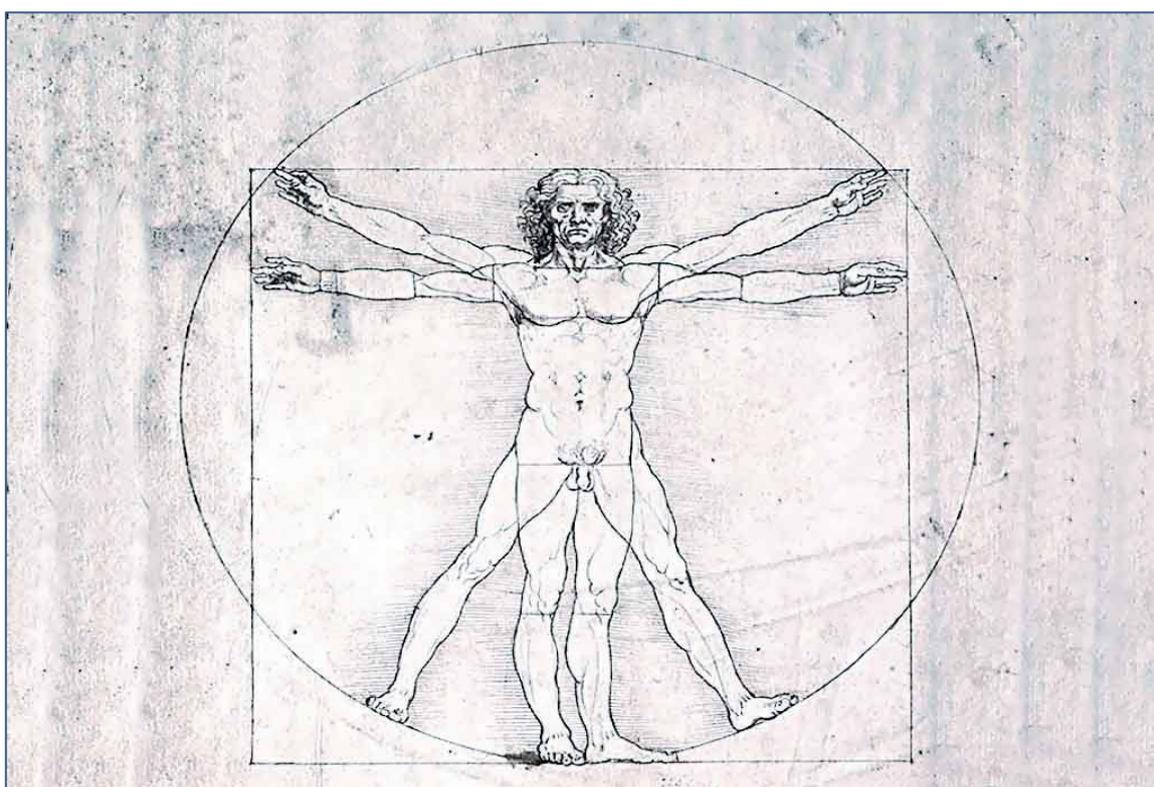


Рис. 1.6. «Витрувианский человек» (Леонардо да Винчи, 1490 год)

На рисунке запечатлены два наложенных друг на друга изображения обнаженной мужской фигуры, но в разных позах. Вокруг фигуры описаны окружность и квадрат. Рукопись, содержащую этот рисунок, иногда называют «Канонем пропорций» или «Витрувианским человеком».

На основе принципа подражания природе была создана довольно стройная геометрическая теория строительства. Она оказалась ошибочной, но, чтобы ее опровергнуть, понадобилось семнадцать столетий.

В этом труде приведены обширные сведения о строительстве и строительной технике того времени. Уже тогда строительство предваряло до-

вольно точное планирование, включавшее обмеры местности, а также размеры, форму и количество клинчатых камней, необходимых для возведения моста. На каждый камень наносились маркировка и метка, указывающая точное место его установки в будущем сооружении.

В книге также описываются существовавшая тогда единая система мер и на удивление качественные измерительные приборы и грузоподъемное оборудование. Так, например, тяжелые камни поднимали на высоту до 50 м и устанавливали на нужное место с помощью деревянных лебедок, оснащенных полиспастами. Некоторое время назад инженеры построили такую римскую лебедку по древним описаниям и изображениям, чтобы проверить ее грузоподъемность, и оказалось, что лебедка могла поднимать до 7 т. Причем она приводилась в движение только рабами, ходившими по кругу и вращавшими ступенчатое колесо.

Устройство фундаментов и опор

На месте будущей опоры насыпали искусственный остров. Для этого на дно опускали сколоченные из досок, максимально водонепроницаемые цилиндры или ряжи. Обычно два таких цилиндра вставляли один в другой и пространство между ними плотно заполняли глиной, которая не пропускает воду. После этого из внутреннего цилиндра выкачивали воду с помощью черпалки, приводившейся в движение самим течением, или насоса (описание механизмов, используемых римлянами в строительстве, подробно приводится у того же Витрувия [2]).

Затем в песчаное дно забивали заостренные снизу дубовые бревна длиной в несколько метров и толщиной до 40 см и скрепляли их прочными деревянными брусьями. Вся эта конструкция и образовывала фундамент опоры.

Скальное дно просто расчищалось, и на него с помощью раствора укладывали тесаные камни. Раствор готовился из смеси обожженной извести и вулканического пепла, добывавшегося неподалеку от Везувия. Такой строительный раствор затвердевал даже под водой и позволял так закреплять опоры моста, что они длительное время могли противостоять напору воды.

После возведения опор плотники строили для каждого запланированного арочного свода деревянные кружала. Они опирались на выступы каменных опор. Кружала держали на себе клинчатые камни до тех пор, пока свод арки не был полностью выложен и мог уже держаться самостоятельно; после этого кружала разбирали.

Замечательным образцом, памятником той эпохи является трехъярусный акведук Пон-дю-Гар для снабжения водой римского города Немаус (современный Ним на юге Франции), построенный в 19 году до н. э. (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Трехъярусный акведук вблизи города Ним (Франция)

Не стояло на месте и деревянное мостостроение. Блестящим примером явился военный деревянный мост через реку Рейн длиной 400 м, построенный римлянами по приказу Гая Юлия Цезаря (100–44 гг. до н. э.) в 55 году до н. э. всего за 10 дней (рис. 1.8).

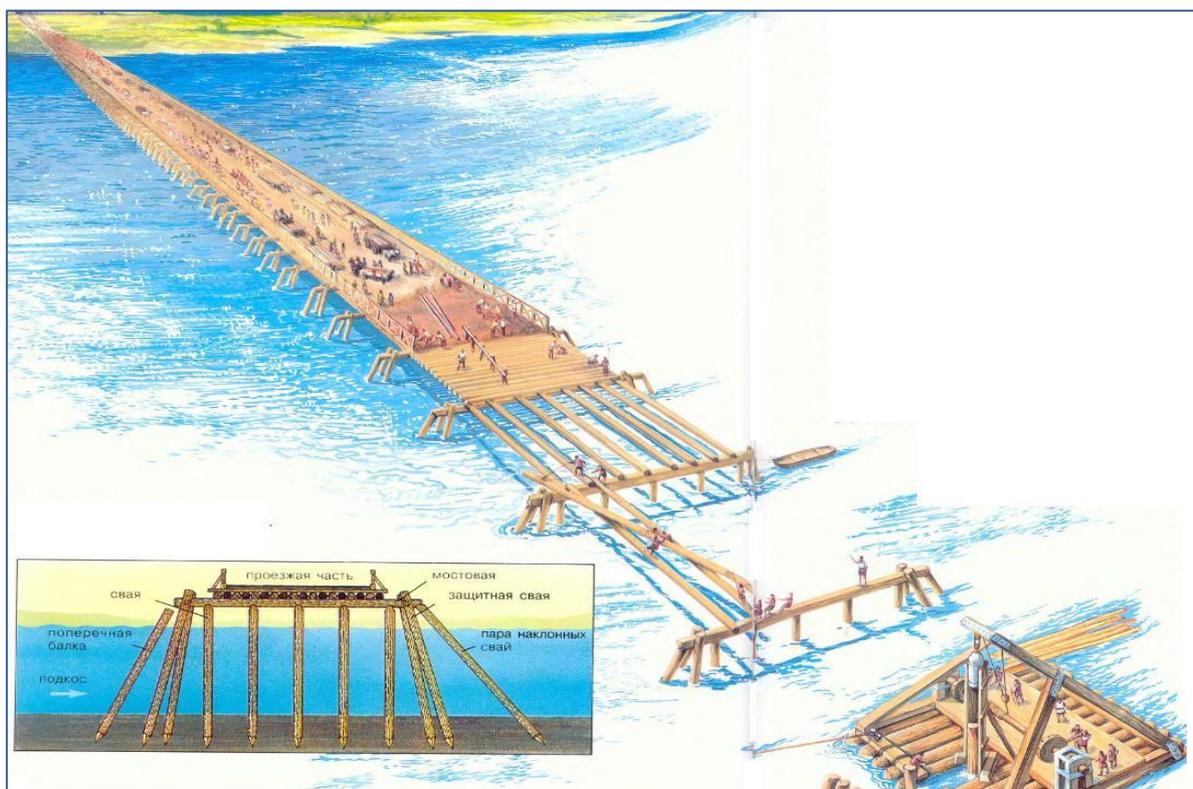


Рис. 1.8. Мост Юлия Цезаря через Рейн. Вверху – строительство проезжей части. Внизу – устойчивая конструкция моста с проезжей частью показана в разрезе

Вообще в период расцвета Римской республики, а затем империи, просуществовавшей до 476 года, мостостроение получило мощный импульс. По удачному выражению немецкого писателя и журналиста Кете Райнера (род. в 1948 г.), Рим был «империей дорог». Управление огромными территориями и многочисленным населением требовало развитой транспортной сети. Было построено порядка 300 000 км дорог и множество мостов разной длины, причем некоторые сохранились и находятся в эксплуатационном состоянии до наших дней.

Образно и точно сказал об этом замечательный английский поэт Редьярд Киплинг (1865–1936) в поэме «Рассказ реки»:

*Рим пришел, построил дороги, навел мосты
И твердой рукой стал править страной.*

Римлянами была создана высокая культура мостового строительства, прежде всего каменных мостов, разработаны типовые конструкции и технологии устройства арочных сводов и опор с фундаментами на скальном основании или из деревянных свай. Так что современное типовое строительство уходит корнями в то далекое время.

Этот период накопления опыта, его первых осмыслений и обобщений очень точно охарактеризовал блестящий древнеримский философ и оратор Марк Туллий Цицерон (106–43 гг. до н.э.): «*studiis et observatione natura reperit scientia*» («изучение и наблюдение природы породило науку»).

Однако, как говорили сами римляне, «*nihil durat in aeternum*» («ничто не вечно»). После гибели в V веке Римской империи в Европе наступил демографический, миграционный и экономический кризис, который длился несколько веков.

2. ИНЖЕНЕРНЫЙ ПЕРИОД

2.1. Мостостроение в Средние века

2.1.1. Европейские мосты

Лишь к XII веку, когда междоусобицы в Европе пошли на убыль, возобновилось серьезное дорожное и мостовое строительство. В этот период был построен ряд больших многопролетных арочных каменных мостов: в 1146 г. – мосты в Вюрцбурге через Майн и в Регенсбурге через Дунай, в 1185 г. – в Авиньоне через Рону, в 1209 г. – в Лондоне через Темзу, в 1260 г. – в Дрездене через Эльбу.

Во все времена мосты почитались как весьма значимые сооружения. В средние века, когда влияние христианской церкви в Европе необычайно возросло, мосты пользовались ее покровительством.

В этой связи уместно сказать несколько слов о двух мостах. Первый из них – мост через реку Рону в Авиньоне. Этот 22-пролетный каменный

арочный мост протяженностью 900 м с пролетами 33 м прослужил более 400 лет и обрушился почти полностью в XVII веке из-за наводнений. Оставшиеся целыми 4 пролета моста существуют, и сегодня используются как музей (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Старый мост через реку Рону в Авиньоне (Франция)

Интересна история, связанная со строительством этого моста. По легенде мальчик-пастух по имени Бенуа будто бы получил в 1177 году знак свыше построить мост в Авиньоне. В процессе строительства сложилась религиозная община – «Мостовое братство», которое было официально утверждено в 1189 году папой Римским Климентом III.

Кстати, пап Римских называют понтификами, от слова «Pont» (франц., итал.), что означает «мост», т. е. Папа представляется мостом между Богом и людьми. Вот какой всеобщий, мирозданный смысл несет в себе понятие моста!

Второй пример – Карлов мост через реку Влтаву в Праге, возведенный в 1357 году (рис. 2.2) после того, как первый каменный мост, построенный еще в 1172 году, обрушился.



Рис. 2.2. Карлов мост в Праге через р. Влтаву, 1357 год

История этого моста связана с именем святого Непомука. Иоганн фон Непомук был в XIV веке каноником в Праге и духовником королевы Иоанны Богемской. Ее ревнивый супруг, король Венцель IV, хотел узнать, что говорила на исповеди его жена. Однако Непомук, несмотря на угрозы, сохранил тайну исповеди. Тогда король приказал сбросить его во Влтаву с моста. В 1721 году Непомук был причислен к лику святых, и с тех пор он один из самых почитаемых святых – покровителей мостов.

Следует отметить также достаточно высокую культуру строительства каменных мостов в Азии. Примером может служить Санаинский мост на территории Армении, построенный в 1234 году.



Рис. 2.3. Санаинский каменный мост в Армении пролетом 26 м, 1234 год

Наряду с каменными мостами в средние века возводили и деревянные мосты, которые позволяли перекрывать более длинные пролеты (до 25–30 м), обеспечивали более пологие уклоны подходов, были экономичнее и возводились быстрее.

Особенно охотно дерево использовалось в Швейцарии. До настоящего времени сохранился самый старый в Европе деревянный мост Капелль-брюкке через реку Ройс в г. Люцерне («Часовенный мост») длиной 204 м постройки 1365 года (рис. 2.4). Первоначально этот мост являлся частью городских укреплений Люцерна и связывал две части города. Мост имеет ломаное по длине очертание. В настоящее время он выступает в роли картинной галереи и сам является историческим и архитектурным памятником.

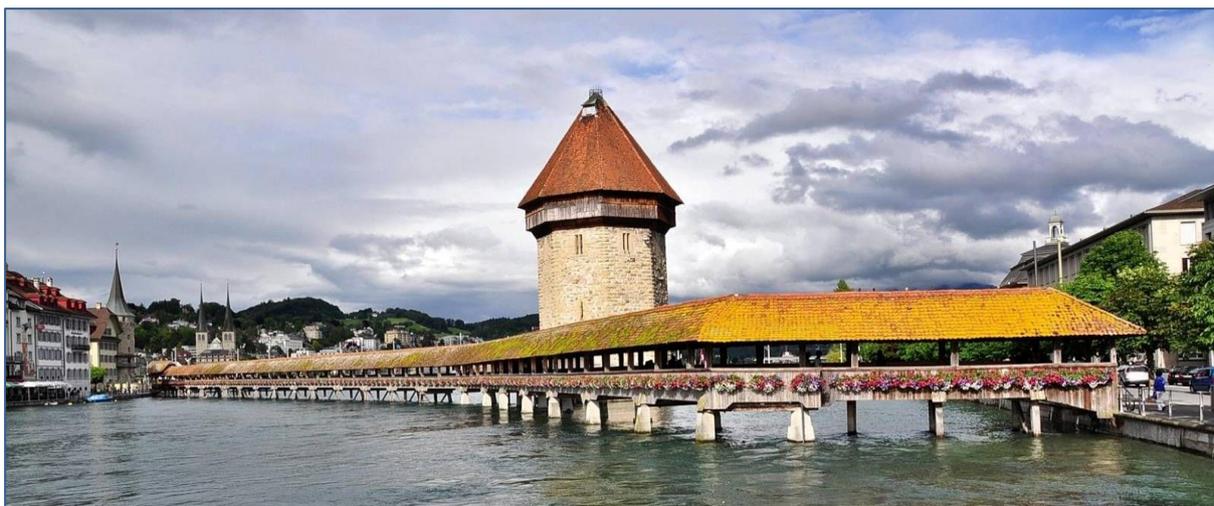


Рис. 2.4. Деревянный мост Капелльбрюкке через реку Ройс в г. Люцерне («Часовенный мост»)

Следует также упомянуть деревянные мосты Андреа Палладио (1518–1580) – великого итальянского архитектора позднего Возрождения, основоположника архитектурных стилей: палладианства и классицизма.

Палладианство – ранняя форма классицизма. В основе стиля лежат строгое следование симметрии, учет перспективы и заимствование принципов классической храмовой архитектуры Древней Греции и Рима.

Также он разработал сложные подкосные системы (рис. 2.5), которые в разных вариантах использовались вплоть до XIX века.



Рис. 2.5. Мост Палладио Альпини (Ponte degli Alpini), 1569 год

2.1.2. Мосты на Руси

В нашей стране первое упоминание о мостах встречается в Сборнике узаконений Киевской Руси «Русская правда» в 1020-х годах.

Обилие рек, множество оврагов, огромные лесные территории обусловили характер отечественного мостостроения в тот период – деревянные мосты. Строились как наплавные мосты из толстых бревен, связанных в плоты, с настилом на них (рис. 2.6), так и постоянные балочные мосты.

Постоянные деревянные мосты имели опоры в виде мощных ряжей с переходной частью в виде треугольника (ледорезы) для более успешной борьбы со льдом. Они заполнялись камнем. Пролеты перекрывались бревнами, как балками. Доски не применялись, так как были слишком дороги.

Наплавной мост через Днепр в Киеве, построенный при Владимире Мономахе, упоминается в летописи под 1115 годом. Дмитрий Донской строил мосты через Волгу в Твери при осаде этого города, а в 1380 году – через Дон, на Куликовом поле.

В Великом Новгороде исстари существовал постоянный мост через реку Волхов. О разрушении этого моста ледоходом упоминается в Новгородской летописи под 1335 годом. Его остатки археологи обнаружили в 2018 году; вероятно, строительство моста относится к X веку (рис. 2.7).

В отличие от зарубежных балочных и подкосных мостов, все русские деревянные мосты построены из круглого леса, что требует особого искусства при устройстве врубок и сопряжений, но зато придает сооружению более красивый вид и значительно увеличивает его прочность.

Каменные мосты на Руси стали возводить позднее, когда оформилось и окрепло государство. Наиболее заметным был Большой каменный мост на Москве-реке, построенный неизвестным русским мастером в 1687 году (рис. 2.8).

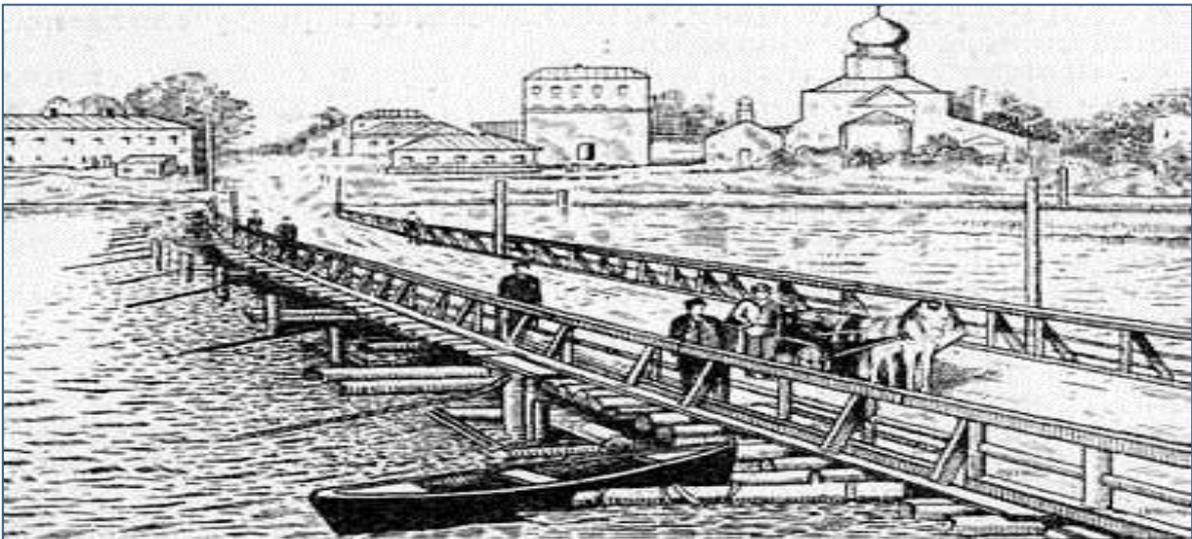


Рис. 2.6. Наплавной мост в Пскове

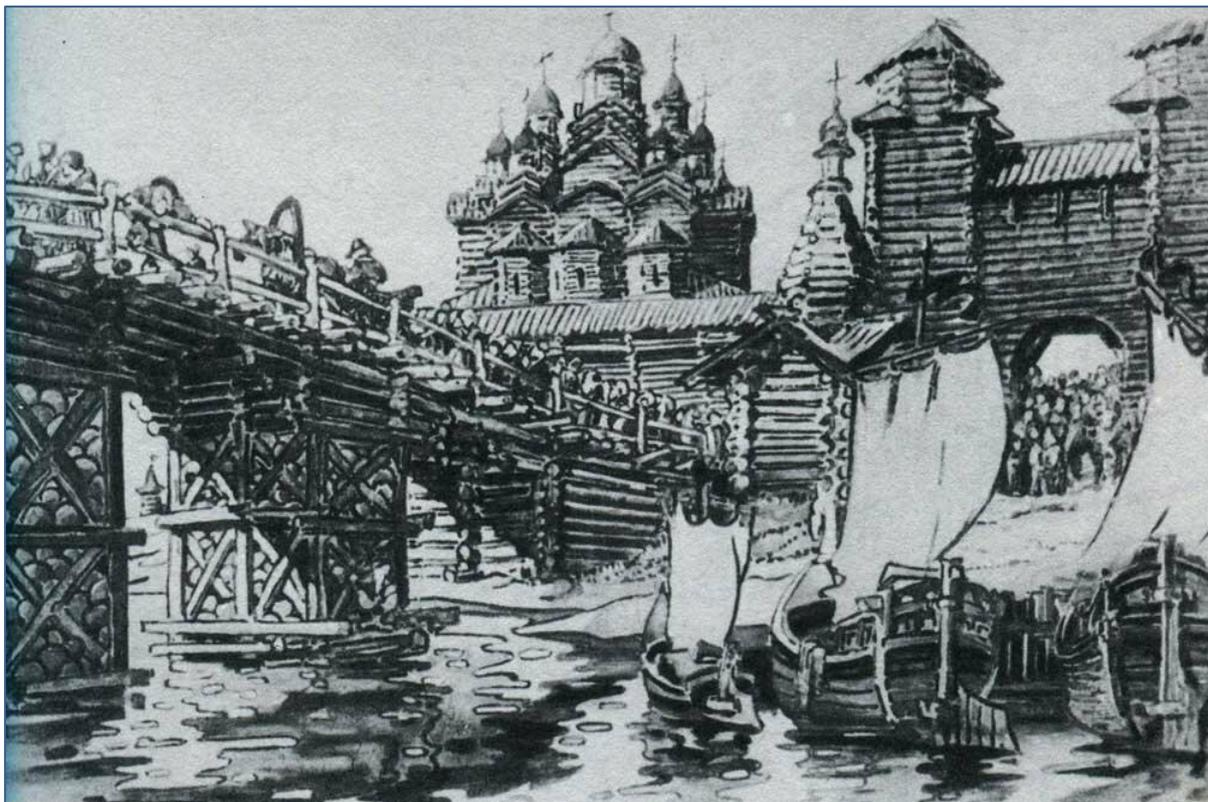


Рис. 2.7. Возможный вид старинного деревянного моста через р. Волхов в Великом Новгороде (по материалам археологических изысканий 2018 года)



Рис. 2.8. Большой каменный мост на Москве-реке, построенный неизвестным русским мастером в 1687 году

2.2. Начало строительной науки

Обобщением опыта эмпирического периода можно считать фундаментальный труд итальянского архитектора Леона Баттисты Альберти (1404–1472) «Десять книг о зодчестве» [4]. В этой книге он основательно проанализировал весь предшествующий опыт. Взяв за основу трактат древнеримского зодчего и инженера Витрувия, собрал и опубликовал описания архитектурных сооружений своего времени, сформулировав основные правила строительства, в том числе устройства мостовых опор, свойства строительных материалов, геометрические соотношения между элементами моста.

Он считал, что должна соблюдаться преемственность между опытом древнего мира и достижениями его современников: «Я одобряю, когда в сооружениях с новыми изобретениями будут сочетаться превосходнейшие правила древних и, наоборот, с древними правилами – новые достижения ума... Таким образом, зодчий будет изоощрять силы своего ума практикой и трудом, постигая и изучая, насколько это необходимо, все свободное искусство, так что он не будет лишен в этом деле разнообразной и великой помощи наук...» [3].

Для развития транспортной сети стало необходимым устройство мостов с большими пролетами, что было невозможно без изучения работы мостовых конструкций и свойств строительных материалов. Наступило время науки.

При самой высокой оценке эмпирического периода в развитии строительной культуры все-таки по-настоящему теория расчета и проектирования строительных конструкций берет свое начало в эпохе Позднего Возрождения (XVI–XVII вв.). Именно в этот период складывается инженерный, научный подход к строительству мостов.

В связи с этим, прежде всего, следует вспомнить Леонардо да Винчи (1452–1519), величайшего гения, художника, создавшего «Тайную вечерю» (1498) и «Мону Лизу» (1503), ученого-энциклопедиста, инженера, изобретателя, на столетия опередившего свое время.

Есть сведения, что Леонардо изучал строительные конструкции. В частности, он проверял прочность проволоки при растяжении, испытывал балки на прочность и жесткость при изгибе.

Не обошел Леонардо да Винчи своим вниманием и мосты. Он исследовал при помощи деревянных желобков со стеклянными стенками образование водоворотов и их воздействие на мостовые опоры. Леонардо проявил себя так же, как инженер-мостовик, разработав конструкции военных разборных и поворотных мостов.

Его разборные мосты представляют собой конструкцию из связанных между собой в определенном порядке стволов деревьев (рис. 2.9). Леонардо объясняет, как именно стволы должны быть размещены и как они должны быть связаны друг с другом.

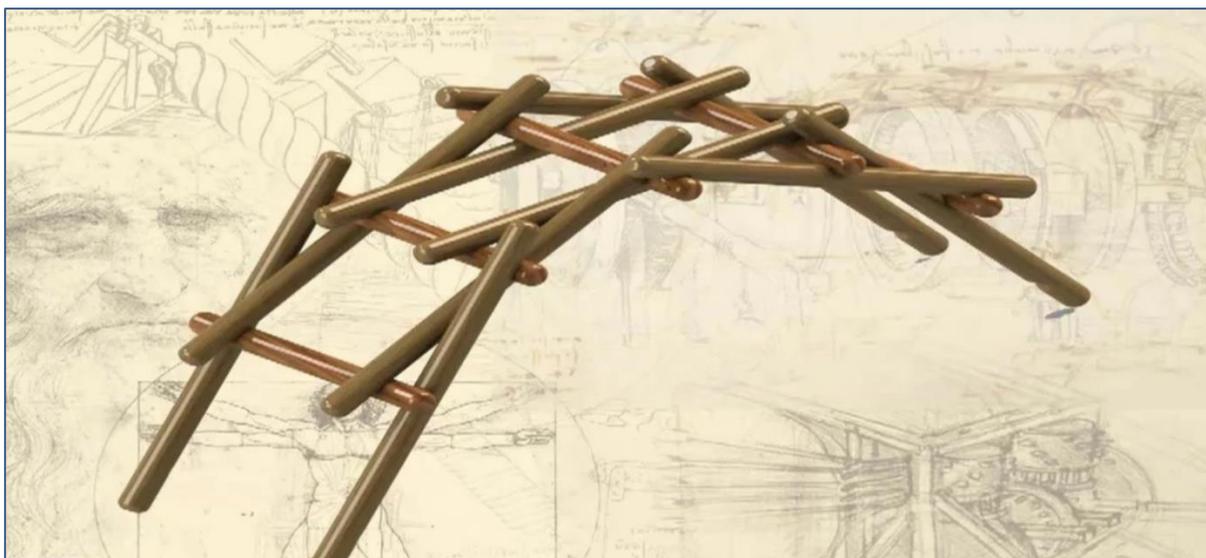


Рис. 2.9. Леонардо да Винчи. Разборный мост

Он также рекомендует материалы, которые должны использоваться, и технические приемы по сборке. Эти мосты можно перемещать с помощью канатов.

Конструкция поворотного моста (рис. 2.10) описана в [3]: «По замыслу Леонардо, подвижная часть моста крепилась канатами к вертикальному пилону. В основании моста находилась опора, вокруг которой мост вращался. С двух сторон от моста помещались лебедки в виде барабана, насаженного на деревянный вал. При вращении лебедки на нее наматывается канат, соединенный через блок с мостом. Одна лебедка поворачивала мост так, что переправа прекращалась, вторая приводила его в рабочее состояние, и мост соединял берега.

В обычном положении мост стоит на берегу. Для того чтобы обеспечить переправу, его вращают с помощью канатов и лебедки вокруг опоры. Внизу, под мостом, на коротком «плече» моста располагалась клеть, набитая камнями. Она служила противовесом при балансировке и опускании моста на противоположный берег. Такой мост прост в управлении и легко перемещается с одного места на другое».

Кроме того, Леонардо сделал расчеты и эскизы большого арочного моста через бухту Золотой Рог на Босфоре пролетом 250 м и шириной 23 м, который смог бы соединить Константинополь с городом Пера на другом берегу бухты (сегодня оба эти города являются районами Стамбула). Проект был для того времени очень смелым, и современники просто испугались его реализовать, хотя расчеты показывают, что Леонардо вполне мог бы осуществить свой проект с помощью тогдашних технических средств.

Уже в наше время, в 2001 году, по его чертежам в уменьшенном варианте был построен пешеходный мост в г. Арсе (Норвегия) (рис. 2.11).

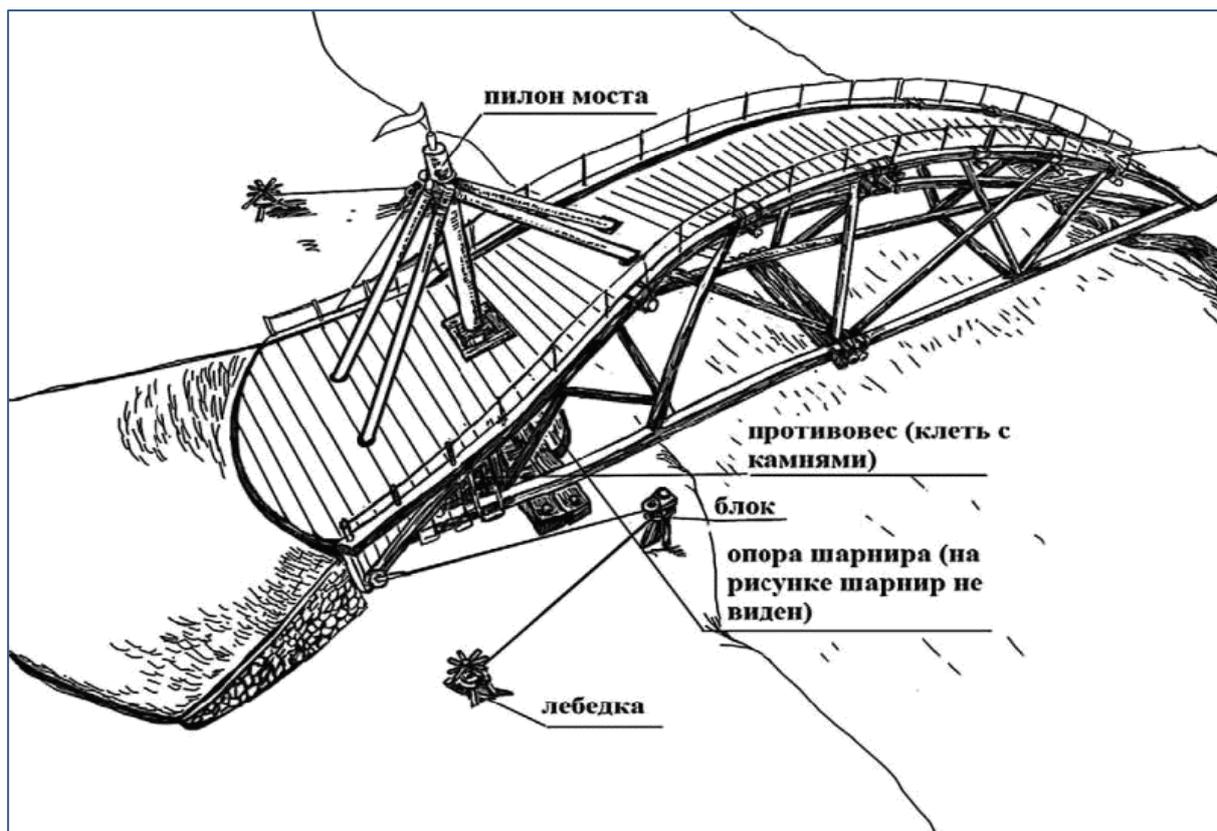


Рис. 2.10. Леонардо да Винчи. Поворотный мост



Рис. 2.11. Пешеходный мост в г. Арсе (Норвегия), 2001 год
(по чертежам Леонардо да Винчи)

К сожалению, после смерти Леонардо да Винчи его научные исследования в области мостостроения не сохранились. По некоторым версиям наследники сожгли часть его бумаг.

Следующей вехой в строительной науке, и особенно в мостостроении, явились труды Галилео Галилея (1564–1642). Галилея можно смело считать основоположником главных инженерных наук в строительстве – сопротивления материалов и строительной механики.

Он подробно исследовал работу на изгиб консольных балок и балок, лежащих на двух опорах, т. е. практически вывел правила построения эпюры изгибающих моментов для этих случаев. Далее он доказал, что прочность сечения стержня на растяжение не зависит от его длины, а прочность сечения на изгиб нелинейно зависит от его высоты.

Кроме того, Галилей исследовал особенности работы на изгиб полых труб и решил ряд других актуальных для того времени задач. Своими исследованиями он создал базу для дальнейшего развития упомянутых выше наук.

В своей книге «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей наук», вышедшей в 1638 году [5], Галилей нанес смертельный удар по модели геометрического подобия при расчете строительных конструкций и очень убедительно и образно это прокомментировал: «Вы теперь ясно видите невозможность как для искусства, так и для природы увеличивать размеры своих произведений до чрезмерно огромных; равным образом невозможно и сооружение кораблей, дворцов или храмов колоссальных размеров, если мы хотим, чтобы их весла, реи, балки, скрепы, короче, все вообще их части держались бы как одно целое; сама природа не производит деревьев необычайной величины, иначе ветви их поломались бы от собственной тяжести; невозможно было бы также создать и скелет человека, лошади или какого-либо другого животного так, чтобы он сопротивлялся и выполнял бы свои нормальные функции, если бы размеры этих живых существ были бы непомерно увеличены в высоту...».

И результаты появились почти мгновенно. В 1678 году вышла книга английского ученого Роберта Гука (1635–1703) «О восстановительной способности или об упругости» [6] – первая печатная работа по исследованию упругих свойств материалов. В ней был сформулирован закон пропорциональности упругих деформаций и напряжений – знаменитый закон Гука.

Закон Гука является основополагающим и в современных методах расчета строительных конструкций, поскольку они практически всю свою жизнь работают в упругой стадии и выходят за ее пределы крайне редко.

Строительная наука привлекла внимание целой плеяды ученых в разных странах. Французский ученый Эдм Мариотт (1620–1684) уточнил формулу Галилея для расчета балок на изгиб и показал, что балка, нагруженная сосредоточенной силой посередине и жестко закрепленная на концах, выдерживает нагрузку в два раза большую, чем такая же шарнирно опертая балка.

Уже в следующем столетии современник М.В. Ломоносова – выдающийся математик, основоположник высшей математики Леонард Эйлер (1707–1783), швейцарец по происхождению, который творил и умер в России, впервые вывел формулу критического значения сжимающей продольной силы, приложенной к прямолинейному стержню (1744 г.), которая сегодня известна под названием «сила Эйлера». В современных расчетах на устойчивость формы используют понижающие коэффициенты к расчетным сопротивлениям, определяемые по формуле Эйлера [7].

Научные исследования и практика строительства мостов в этот период шли параллельно, взаимно влияя друг на друга. В каменных арочных мостах все большее распространение получали пологие очертания арок, что сопровождалось увеличением распора. Поэтому очень кстати оказались конструктивные решения ученика Микеланджело инженера и художника Бартоломео Амманати (1511–1592), который на мосту Санта Тринити, одном из красивейших мостов Флоренции, воспринял распор от пологих арок за счет массивных устоев (рис. 2.12).



Рис. 2.12. Мост Санта Тринити во Флоренции, 1557 год

2.3. Последние «дожелезные» мосты (XVIII век)

Пологие арки были популярны и в XVIII веке. Одним из идеологов и практиков пологих арочных конструкций был французский инженер Жан-Родольф Перроне (1708–1794).

Он построил ряд каменных многопролетных мостов с пологими арками. При этом за счет одновременного раскружаливания арок он получил эффект уравновешенного распора и значительно облегчил промежуточные опоры. Характерным примером является пятипролетный мост Согласия через реку Сену в Париже, построенный в 1791 году. Интересен тот факт, что этот мост был построен из камней печально знаменитой тюрьмы Бастилии, разрушенной 14 июля 1789 года, что ознаменовало начало Великой французской революции (рис. 2.13).

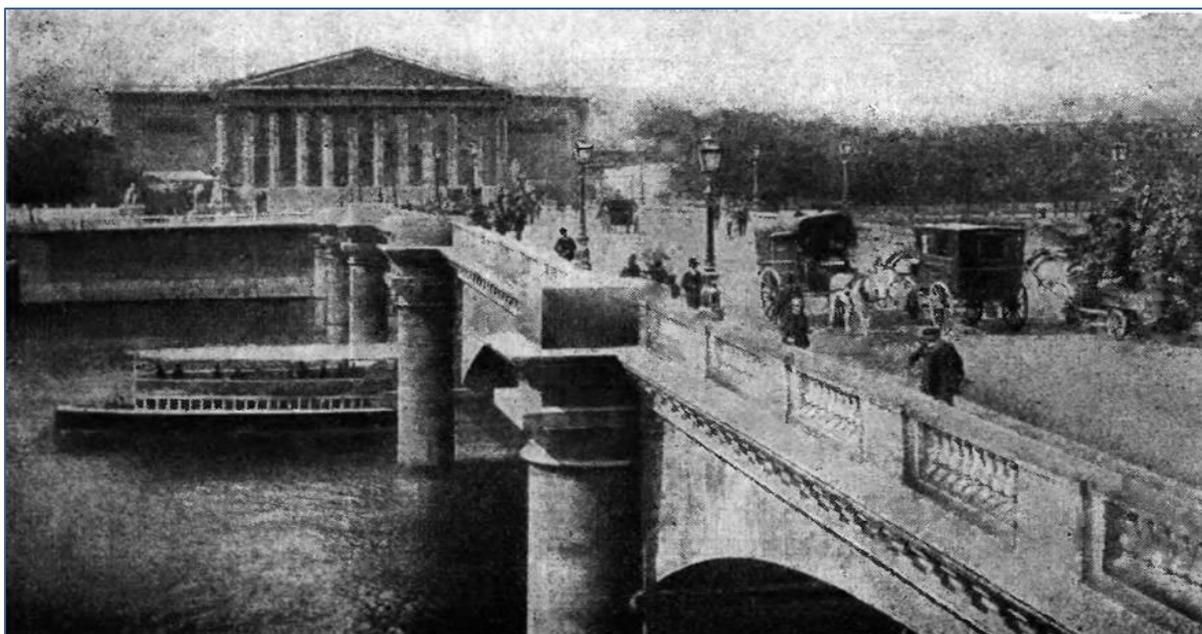


Рис. 2.13. Мост Согласия через реку Сену в Париже, 1791 год

В России также по проекту Перроне в 1784 году был построен кирпичный Симеоновский мост через реку Фонтанку в Санкт-Петербурге. Длина моста 56,6 м, схема (21,3 + 14,0 + 21,3) м (рис. 2.14). В последующие годы мост претерпел несколько реконструкций, в настоящее время носит название моста Белинского и имеет вполне современный облик.

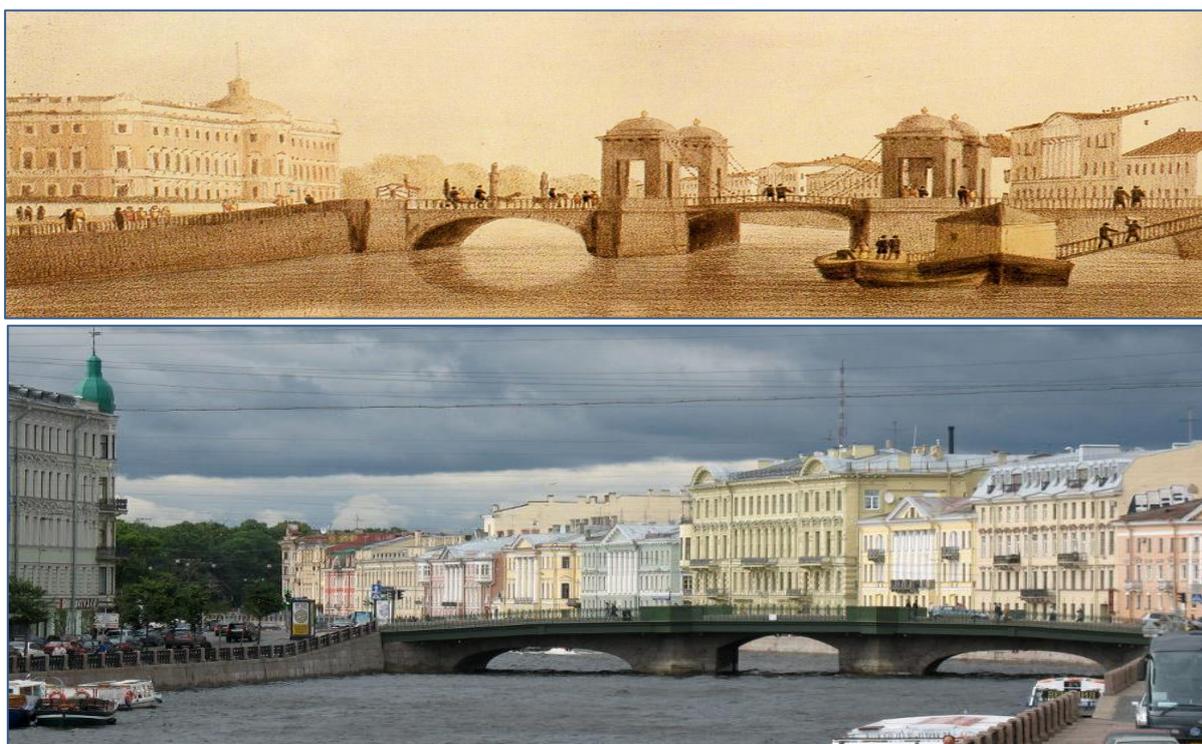


Рис. 2.14. Симеоновский мост (в настоящее время – мост Белинского) через р. Фонтанку в Санкт-Петербурге: внизу – современный вид

Жан-Родольф Перроне с 1747 года в течение многих лет руководил Национальной школой мостов и дорог – первым учебным заведением, готовившим инженеров-мостовиков.

Практически до конца XVIII века с каменными мостами, особенно арочными, соперничали деревянные мосты.

Самая большая величина пролета деревянного моста (119 м) была достигнута в 1788 году на мосту через реку Лиммат в Швейцарии, построенном братьями Грубеман.

В 1772 году замечательный русский механик Иван Петрович Кулибин разработал проект 298-метрового однопролетного арочного моста через Неву с деревянными решетчатыми фермами. Он построил и испытал большую модель такого моста, выполненную в масштабе 1:10, впервые в практике мостостроения показав возможность моделирования мостовых конструкций. В 1777 году состоялась защита проекта в Академии наук, признанная блестящей. К сожалению, проект этого моста не был реализован.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кете, Райнер. Мосты и тоннели / Иллюстр. Петера Клауке и Франка Климта ; пер. с нем. Т. М. Котельниковой. – Москва : Мир книги, 2010. – 47 с.
2. Витрувий Поллион, Марк. Десять книг об архитектуре / Пер. Ф. А. Петровского. Сер. : Классики теории архитектуры – Москва : Архитектура-С, 2006. – 327 с.
3. Алфорова, М. В. Леонардо да Винчи : настоящая история гения. – Москва : Изд-во АСТ, 2015. – 286 с.
4. Альберти, Леон Баттиста. Десять книг о зодчестве : В 2 т. / Пер. В. П. Зубова. Сер. : Классики теории архитектуры – Москва : Всесоюз. акад. архит., 1935. – Т. 1. – 391 с.
5. Галилей, Галилео. Сочинения пер. С. Н. Долгова; под общ. ред. И. И. Агола, С. И. Вавилова, М. Я. Выгодского и др.). Сер. : Классики естествознания – Москва ; Ленинград : Гос. техн.-теоретич. изд-во, 1934. – Т. 1. 699 с.
6. Боголюбов, А. Н. Роберт Гук, 1635–1703 / Отв. ред. С. Н. Кожевников. Сер. : Науч.-биограф. – Москва : Наука, 1984. – 239 с.
7. Александров, А. В., Потапов В. Д., Державин Б. П. Сопротивление материалов : учебник для студентов вузов; под ред. А. В. Александрова. – 7-е изд., стер. – Москва : Высшая школа, 2009. – 559 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ЭМПИРИЧЕСКИЙ ПЕРИОД.....	5
1.1. Первые мосты.....	5
1.2. Мосты Древнего Рима.....	8
2. ИНЖЕНЕРНЫЙ ПЕРИОД.....	12
2.1. Мостостроение в Средние века.....	12
2.1.1. Европейские мосты.....	12
2.1.2. Мосты на Руси.....	16
2.2. Начало строительной науки.....	18
2.3. Последние «дожелезные» мосты (XVIII век).....	22
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	24