Г.К. Евграфов

Проектирование мостов

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 528
ББК 38.2
Г11

Г.К. Евграфов
Г11 Проектирование мостов / Г.К. Евграфов – М.: Книга по Требованию, 2024. – 661 с.

ISBN 978-5-458-34544-6

В книге описываются конструкции мостов под железные, автомобильные и городские дороги, применяемые в практике отечественного и зарубежного мостостроения. Даются рекомендации по проектированию мостов из различных материалов, по составлению и сравнению вариантов моста в целом и его деталей; освещаются современные методы расчёта мостовых конструкций на основе действующих технических условий проектирования. Особое внимание уделено вопросам применения сборного и предварительно напряжённого железобетона в мостостроении.Книга допущена Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебника для студентов вузов железнодорожного транспорта и может служить пособием для инженерно-технических работников, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией мостов, а также других транспортных институтов.

ISBN 978-5-458-34544-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Серия Книжный Ренессанс
www.samizday.ru/reprint

ВВЕДЕНИЕ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ МОСТОВ

На пересечениях дорогой постоянных или периодических водотоков (рек ручьев, суходолов) устраивают сооружения, предназначенные для пропуска воды. К ним относятся мосты, трубы, фильтрующие насыпи, дюкеры, лотки.

Мост (рис. 1) — сооружение, заменяющее насыпь в пределах пересекаемого дорогой водотока; он состоит из опор и пролетных строений, перекрывающих свободное пространство между опорами.

Труба (рис. 2) представляет собой сооружение для пропуска воды, находящееся в теле насыпи.

Фильтрующие насыпи в отличие от обычного полотна имеют каменную наброску, пропускающую воду. Они применяются при незначительных количествах протекающей воды и отсутствии наносов, вызывающих опасность заполнения пустот в каменной наброске.

Дюкеры служат для пропуска воды с одной стороны выемки на другую и представляют собой два колодца, соединенных трубами с горизонтальными участками, пропущенными под полотном дороги. Дюкеры применяются обычно для пропуска воды оросительных систем (арыков).

Лотки — это небольшие водопропускные сооружения, устроенные между шпалами железнодорожного пути. Они применяются при небольших расходах воды в тех случаях, когда из-за небольшой высоты насыпи нельзя построить трубу или мост (например, на станциях).

Иногда мосты строятся и при пересечении дорогой глубоких оврагов, горных ущелий и не только для пропуска воды, но и вместо насыпи, если возведение последней оказывается невозможным или вследствие большой ее высоты обходится дороже постройки моста. Такого рода мосты называются виадуками (рис. 3).

Мост, по которому одна дорога пропускается над другой, называется путепроводом (рис. 4).

Сооружения значительной длины, предназначенные для поднятия дороги над окружающей территорией с оставлением свободных пространств под дорогой, называются эстакадами (рис. 5). Эстакады сооружают для надземных дорог в городах, для заводского транспорта в пределах заводской территории, на подходах к большим мостам.

Водоток, глубокий овраг, существующие дороги и т. п. являются препятствиями для нормального продолжения сооружаемой дороги непосредственно по поверхности земли, с устройством насыпей или выемок. Таким образом, мост есть сооружение, прокладывающее путь через препятствие.

По характеру преодолеваемого препятствия мосты, как указывалось выше, разделяются на мосты через водотоки, на виадуки, путепроводы, эстакады.

По роду прокладываемой дороги мосты бывают железнодорожные, автодорожные, городские, пешеходные. В некоторых случаях сооружают мосты для

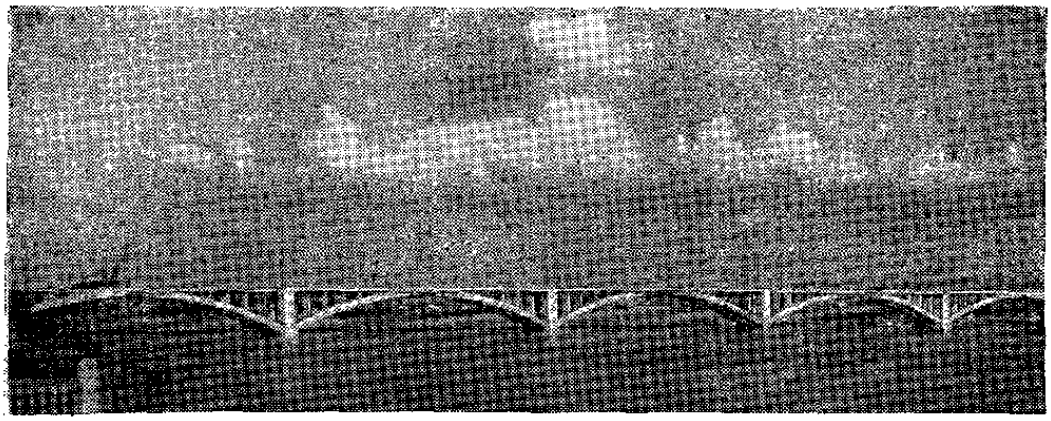

Рис. 1. Мост через реку

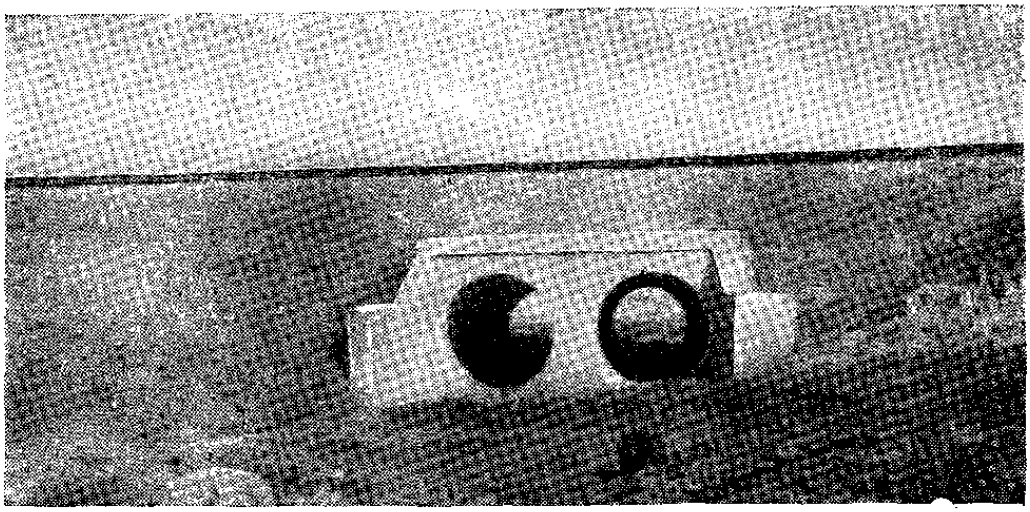

Рис. 2. Водопропускная труба

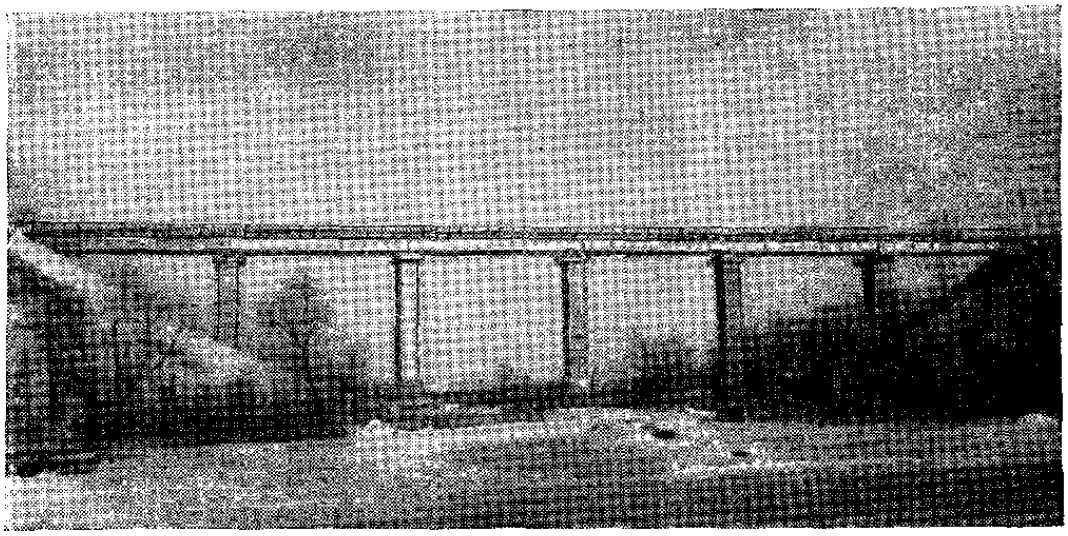

Рис. 3. Виадук

пропуска водных путей (мосты-каналы) и для целей водоснабжения — акведуки. Строят мосты и для одновременного пропуска по ним различных видов дорог, например, железной и автомобильной. Такие мосты называются мостами для совмещенной езды (в одном или в разных уровнях).

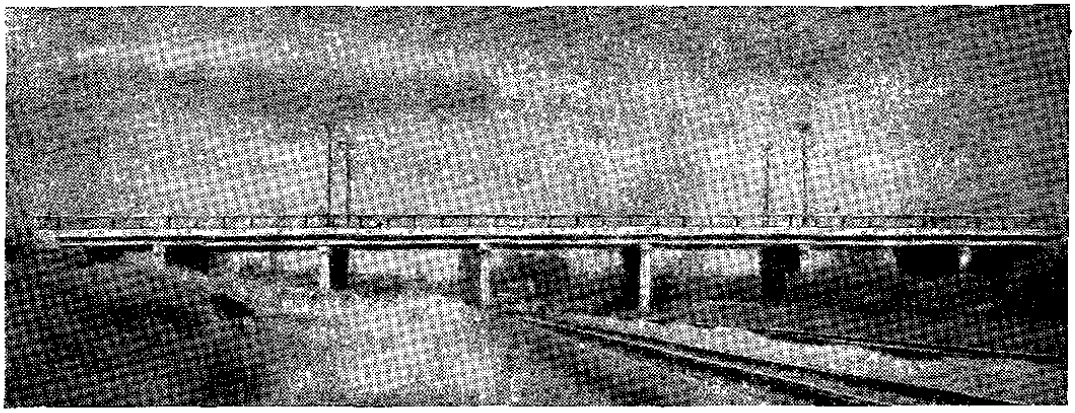

Рис. 4. Путепровод

По роду материала, из которого строят мосты, последние разделяются на каменные, бетонные, железобетонные, металлические и деревянные.

Далеко не всегда все части моста строят из одного и того же материала. Поэтому классификация мостов по материалу является условной и обычно характеризует собой основную, перекрывающую часть моста — пролетные строения. Так, например, металлические и железобетонные мосты в большинстве случаев имеют бетонные опоры. Деревянный мост обычно состоит из деревянных

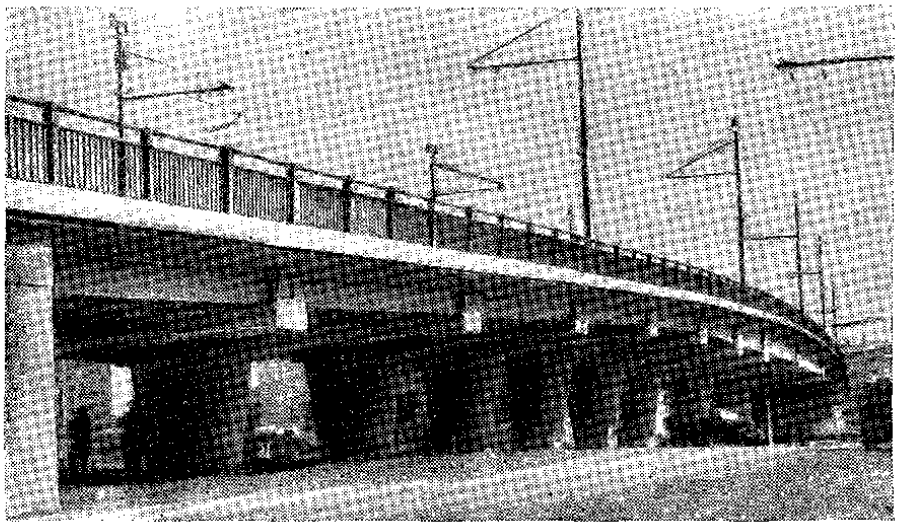

Рис. 5. Эстакада

балок и деревянных (свайных) опор. Однако могут быть мосты, состоящие из деревянных пролетных строений на каменных или бетонных опорах. Их также относят обычно к деревянным мостам.

Не все указанные выше материалы отвечают современным условиям строительства мостов. Каменные мосты, занимавшие в определенные исторические периоды ведущее положение, потеряли его вследствие несоответствия требо-

ваниям механизации и индустриализации строительства и в настоящее время почти не сооружаются. Деревянные мосты по причине относительно небольшого срока службы имеют ограниченное применение.

С другой стороны, некоторые материалы, не известные ранее в мостостроении, начинают приобретать все большее и большее значение. Таковы, например, легкие сплавы, в частности сплавы алюминия с некоторыми другими металлами, высокопрочные стали, синтетические материалы.

Мосты различают также по характеру работы пролетных строений под нагрузкой, т. е. по их статическим свойствам. По этому признаку мосты разделяются на балочные, арочные, рамные, висячие и комбинированные.

Рис. 6. Схема балочного моста

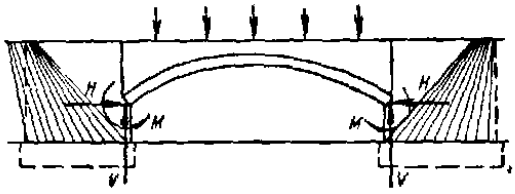

Рис. 7. Схема арочного моста

Основными несущими нагрузку частями пролетных строений балочных мостов (рис. 6) являются балки или балочные фермы, работающие преимущественно на изгиб. В отличие от сплошных балок балочные фермы имеют решетчатую конструкцию, состоящую из соединенных между собой стержней. Давление от балок и балочных ферм на опоры при вертикальной нагрузке направлено вертикально. Опорные реакции V направлены вертикально вверх.

В арочных мостах (рис. 7) основными несущими нагрузку частями пролетных строений являются арки, своды или арочные фермы. Аркой называют криволинейный брус плавного очертания, работающий преимущественно на сжатие, а также на изгиб. Теми же статическими свойствами, что и арки, обладают своды, отличающиеся от арок лишь развитием в ширину, достаточным для обеспечения самостоятельной поперечной устойчивости.

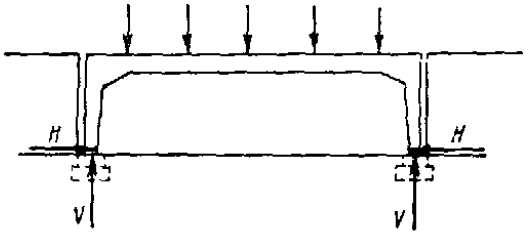

Рис. 8. Схема рамного моста

Арочные фермы имеют решетчатую конструкцию, а в целом также работают под нагрузкой на сжимающие силы и на изгиб. В опорах арок и арочных ферм от вертикальной нагрузки может возникать не только вертикальная V, но и горизонтальная H реакция (распор), а также опорный изгибающий момент M. Исключение составляют арки и арочные фермы с затяжками, в которых распор воспринимается специальным элементом — затяжкой. Вследствие этого опорные реакции оказываются вертикальными, так же как и в балочных мостах.

В рамных мостах (рис. 8) опоры в виде колонн или стоек составляют одно целое с балками (ригелями), перекрывающими пролеты. В качестве материала для таких мостов особенно часто применяют железобетон.

Висячие мосты (рис. 9) состоят из гибких элементов — цепей или кабелей, представляющих собой основную несущую часть конструкции моста, к которой подвешивается проезжая часть, предназначенная для пропуска нагрузки. Для того чтобы висячий мост меньше прогибался под нагрузкой, устраивают специальную ферму или балку жесткости. С точки зрения статических свойств такая система является, вообще говоря, комбинированной. В месте закрепле-

ния кабеля висячих мостов, так же как и в опорах арочных мостов, от вертикальной нагрузки возникают не только вертикальные, но и горизонтальные опорные реакции (распор), направленные наружу пролета, а не внутрь, как в арочных мостах. Другое различие заключается в том, что арка работает преимущественно на сжатие, а цепь (кабель) висячего моста — исключительно на растяжение. К висячим мостам близки по свойствам вантовые мосты, составленные также из гибких частей (стальных канатов), образующих вантовые

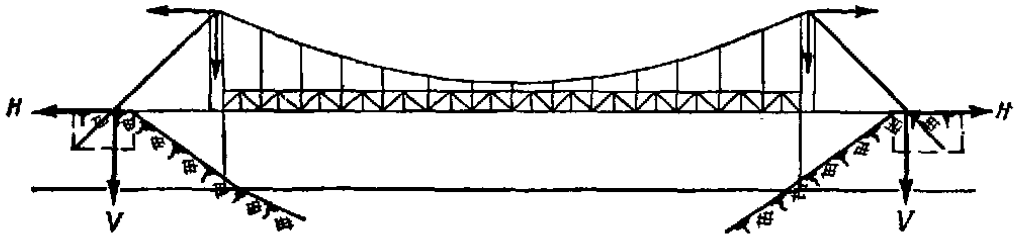

Рис. 9. Схема висячего моста

фермы, к которым подвешивается проезжая часть. Наличие балки жесткости в вантовых мостах необязательно.

Висячие и вантовые мосты вследствие сравнительно небольшой их жесткости применяют почти исключительно под автомобильное, городское и пешеходное движение, включая городские железные дороги с электрической тягой, в редких случаях для узкоколейных железных дорог с движением грузовых поездов.

В мостах комбинированных систем одновременно используются характерные основные части нескольких рассмотренных выше систем во взаимной связи, например: балки, усиленные арками (рис. 10), гибкие арки с балками жесткости и т. д.

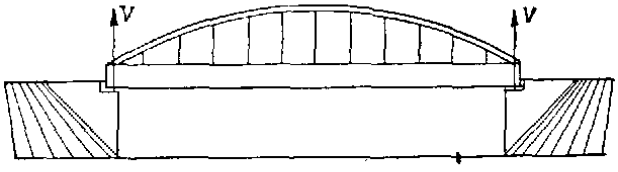

Рис. 10. Схема моста комбинированной системы

Необходимо еще отметить некоторые особые виды мостов: наплавные— понтонные или плашкоутные, в которых пролетные строения опираются на плавучие понтоны или плашкоуты (рис. 11); разводные (рис. 12), в которых пролетные строения могут быть приведены посредством особых механизмов в движение с целью освобождения места для пропуска судов; сборно-разборные, приспособленные для быстрой сборки и разборки.

По расположению езды мосты могут быть с ездой поверху, с ездой понизу и со смешанным расположением езды. Если уровень езды располагается выше несущей части конструкции (ферм, балок, арок), то такие мосты называются мостами с ездой поверху (см. рис. 3—8); если же проезд находится между фермами или арками и расположен в нижней части пролетного строения, то это будут мосты с ездой понизу (см. рис. 9, 10 и 12). В мостах со смешанным расположением езды (рис. 13) на части длины пролетного строения езда осуществляется поверху, на остальном протяжении — понизу. Такие мосты часто условно называют мостами с ездой посередине.

Приведенное разделение мостов весьма удобно для их изучения. В действительности же в состав одного и того же моста могут входить различные виды и системы.

Так, например, одна часть пролетных строений может быть с ездой поверху, другая — с ездой понизу, часть — металлическими, часть — железобетонными; один из пролетов может быть разводным и т. д.

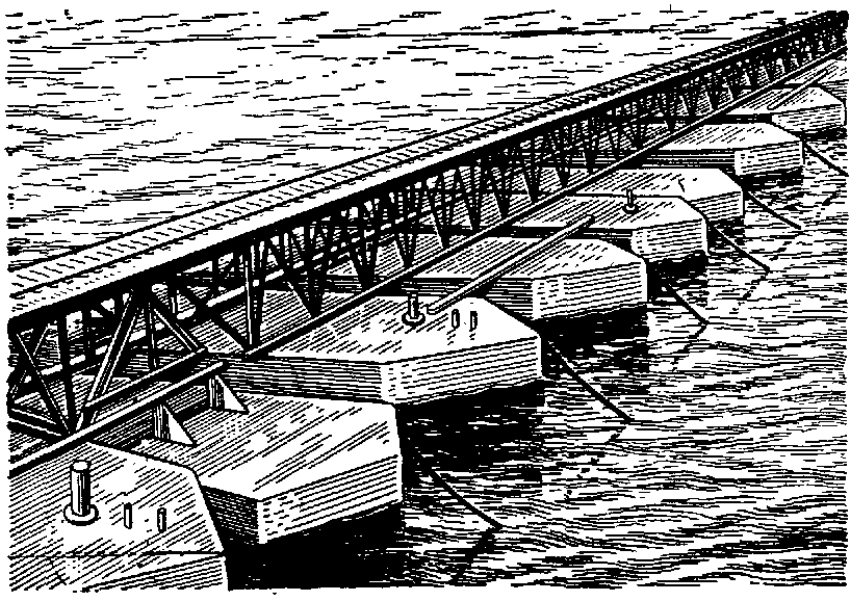

Рис. 11. Наплавной мост

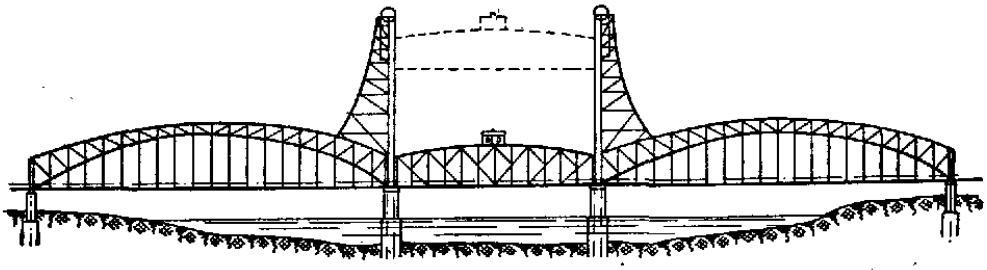

Рис. 12. Мост с разводным пролетным строением

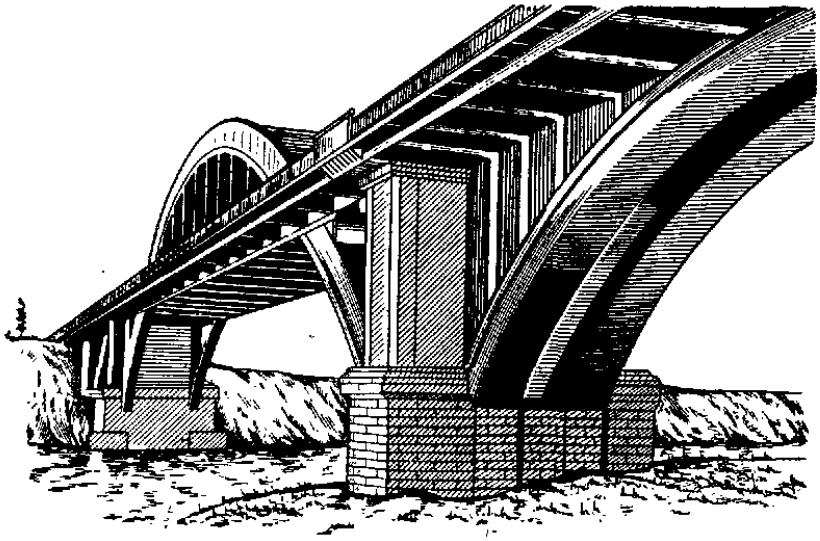

Рис. 13. Мост со смешанным расположением езды («с ездой посередине»)

§ 2. КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК РАЗВИТИЯ МОСТОСТРОЕНИЯ

Основные направления развития строительства мостов были связаны с уровнем развития производительных сил в различные исторические периоды, с характером производственных отношений, свойственным различным социально-экономическим формациям.

Еще в первобытные времена поваленные через ручей деревья, вероятно, натолкнули людей на мысль об устройстве подобного рода переходов через различные препятствия. С древнейших же времен осуществлялись примитивные висячие мосты, сделанные из гибких растений, сплетенных в виде канатов и перекинутых от одного дерева к другому, с подвешенным к ним легким настилом из прутьев.

По мере развития производительных сил, возникновения обмена продуктов между отдельными людьми, родами и общинами постройка дорог становится жизненной необходимостью. Дороги прокладывают и через реки, перекрывая их мостами.

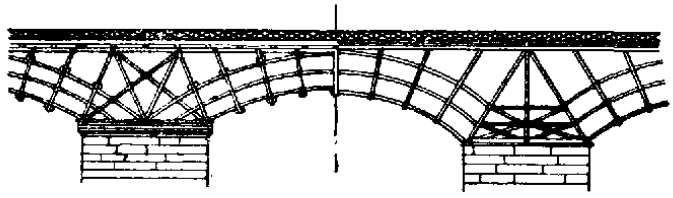

Рис. 14. Мост Траяна через Дунай

В древневосточных и античных рабовладельческих государствах часто строили деревянные мосты, к числу которых относится, например, мост Сублициус в Риме (630 г. до нашей эры), наплавной мост через Босфор (515 г. до нашей эры), арочный мост через р. Дунай, состоящий из 21 пролета по 36 *м* (мост Траяна, 103 г. нашей эры, рис. 14) и другие. Но особенное распространение в эту эпоху получили каменные мосты. Возможность использовать труд большого количества рабов обусловила, несмотря на низкий уровень техники, осуществление грандиозных сооружений из камня — храмов, пирамид и т. п. Каменные мосты этого периода были массивными, тяжелыми. Толщина опор равнялась обычно половине пролета.

В пришедшую на смену рабовладельческим обществам эпоху феодализма сколько-нибудь заметного движения вперед в области мостостроения не произошло. Продолжали строить массивные каменные мосты и частично деревянные на сваях.

Лишь в середине XIV в. в Италии, на юге Франции и в других южных областях Европы появляются единичные, выдающиеся по своим размерам и смелости замысла каменные мосты, как, например, мост Треццо через р. Адду с пролетом 72,25 *м* (построен в 1377 г., разрушен в 1415 г.).

Каменные мосты с древнейших времен строили и на территории Грузии, Аджарии, Абхазии, Армении. Многие из них отличаются смелостью и целесообразностью своих форм.

В древней Руси, богатой лесами, до конца XV столетия строили исключительно деревянные мосты. Первыми каменными мостами, построенными в России, были, по-видимому, мосты в Москве. Старейшим из них является Троицкий каменный мост у Троицких ворот Кремля, построенный в конце XV в. или в начале XVI в., а наиболее крупным — первый постоянный мост через р. Москву, получивший название Большого каменного моста. Его постройка была задумана в 1643 г., но началась только в 1682 г. Работы вчерне были закончены в 1689 г.

Большой каменный мост имел 7 пролетов, общую длину 149 *м* и ширину 23,4 *м*. Предполагаемый вид Большого каменного моста показан на рис. 15.

В 1859 г. мост был заменен новым с металлическими арками. В 1938 г. на том же месте построен мост со стальными арками, перекрывающими р. Москву одним пролетом. Однако за мостом до сих пор сохранилось его историческое название «Большой каменный мост».

Приблизительно с середины XVI в. и до последней трети XVIII в. в странах Западной Европы при сохранении феодального строя развивается мануфактурное производство. В России с начала XVIII столетия также начинается усиленный рост мануфактурного и заводского производства. Изменение способа производства, общий рост производительных сил в рассматриваемый период вызвали развитие сухопутных и водных путей сообщения. В области

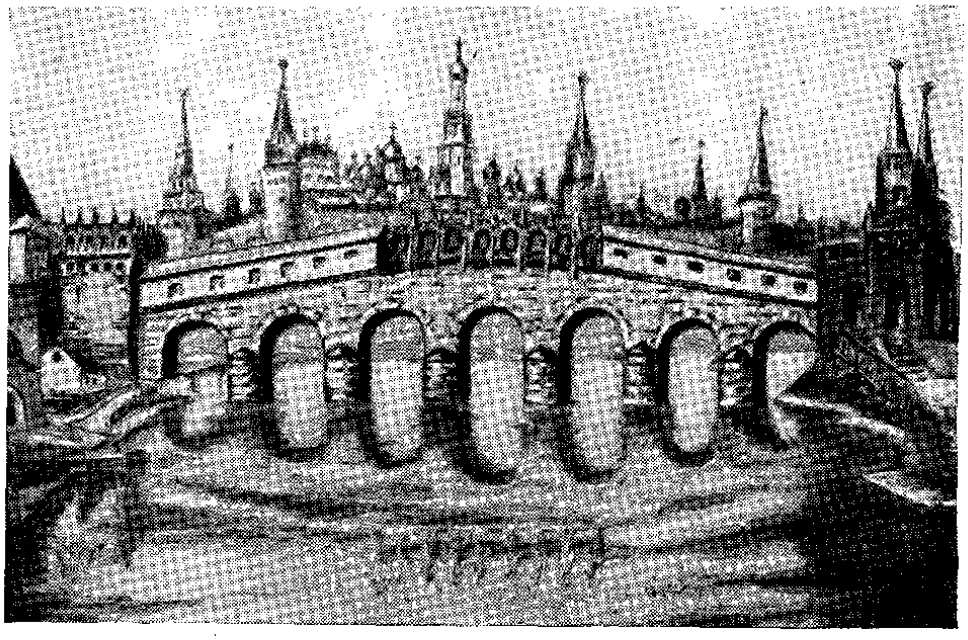

Рис. 15. Большой каменный мост в Москве (XVII в.)

мостостроения этот период характерен поисками новых конструктивных форм мостов, позволяющих перекрывать достаточно большие пролеты для пропуска судов. Эту задачу строители пытаются разрешить прежде всего применением дерева.

Наиболее замечательным явлением в области деревянных мостов больших пролетов можно считать проект арочного деревянного моста через р. Неву с решетчатыми фермами пролетом около 300 *м* (рис. 16), составленный русским механиком И. П. Кулибиным (1735—1818 гг.). Чтобы убедиться в достаточности размеров частей моста столь большого пролета, Кулибин произвел испытание под нагрузкой модели моста в $^1/_{10}$ натуральной величины. Испытание показало большую прочность новой конструкции. Мост, однако, не был построен.

Строительство мостов до XVIII столетия имело исключительно эмпирический характер. Размеры элементов моста назначали ощупью, по образцу ранее построенных мостов.

Талантливый русский механик И. П. Кулибин был одним из первых зачинателей экспериментального метода в мостостроении, получившего в дальнейшем большое развитие.

Кроме создания новых конструктивных форм деревянных мостов больших пролетов, рассматриваемый период характеризуется заметными успехами в строительстве каменных мостов, выразившимися в применении пологих сводов, более тонких опор, больших пролетов.

С конца XVIII в. и в особенности с начала XIX в. начинается интенсивное развитие мостостроения, сопровождающееся появлением новых систем мостов, новых материалов, новых способов постройки и методов проектирования. Это движение вперед в области строительства мостов было непосредственно связано с ускорением развития производительных сил и новыми капиталистическими производственными отношениями.

Строительство дорог и расширение судоходства по водным путям предъявили новые требования к сооружению мостов: стало необходимым перекрывать все большие и большие пролеты; ширина мостов увеличивается; нагрузка на мосты, в особенности с появлением железных дорог, неуклонно возрастает.

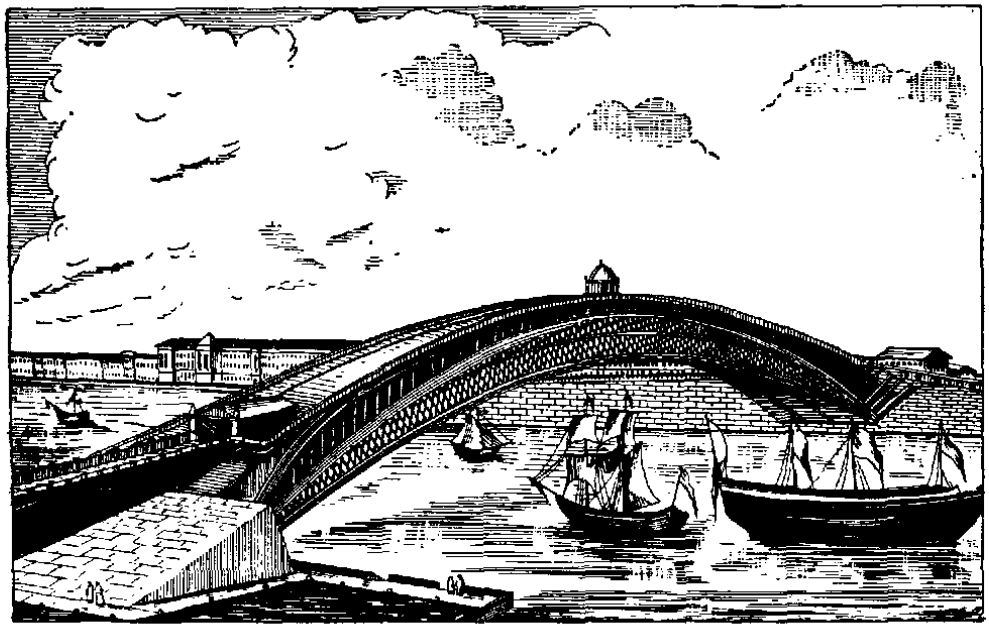

Рис. 16. Проект деревянного арочного моста, составленный Кулибиным

Плодотворное влияние на мостостроение оказало также создание способов расчета мостовых конструкций, чему способствовало общее развитие науки, особенно во второй половине XIX в.

В России начало XIX столетия характеризуется сильным ростом путей сообщения, а следовательно, и ускоренным развитием мостостроения.

Большое влияние на успехи строительства путей сообщения и мостов в России оказало учреждение в 1809 г. Корпуса инженеров путей сообщения и института при нем для подготовки инженеров. В 1810 г. состоялось открытие Института инженеров путей сообщения, который существует до настоящего времени (ныне Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта).

Отличительной особенностью мостостроения в XIX в. является широкое применение в мостах металла. Мысли о возможности применения чугуна для сооружения мостов высказывались еще в середине XVIII в. Первым осуществленным мостом с чугунными арками был мост через р. Севери в Колбрукделе (Англия), построенный в 1776—1779 гг. (рис. 17).

В 1799 г. И. П. Кулибин выдвинул предложение о постройке железных мостов с решетчатыми арками. В 1818 г. им же был разработан проект моста через р. Неву длиной 130 саженей (277 *м*) с тремя пролетами, перекрытыми железными арками. Предлагавшаяся И. П. Кулибиным конструкция металлических мостов была значительно более совершенной, чем примененная в упомянутом выше мосте, построенном в Англии. Свои мосты Кулибин пред-

полагал изготовлять не из чугуна, а из железа, что представляло собой более прогрессивную для того времени идею, нашедшую действительно реализацию, но позднее. Однако консерватизм чиновников царской России был причиной, вследствие которой проекты Кулибина и других русских новаторов оказались неосуществленными.

В течение первой половины XIX в. арочные чугунные мосты строят как под обыкновенную, так и под железную дорогу. Выдающимся мостом этого рода является мост через р. Неву, построенный известным русским инженером С. В. Кербедзом в 1842—1850 гг. Этот мост состоял из семи пролетов по 45—47 *м*, перекрытых чугунными арками, и разводного пролета поворотной системы (рис. 18). Вследствие значительной глубины реки, достигающей 10—15 *м*, особенно сложными были работы по устройству опор этого моста[1].

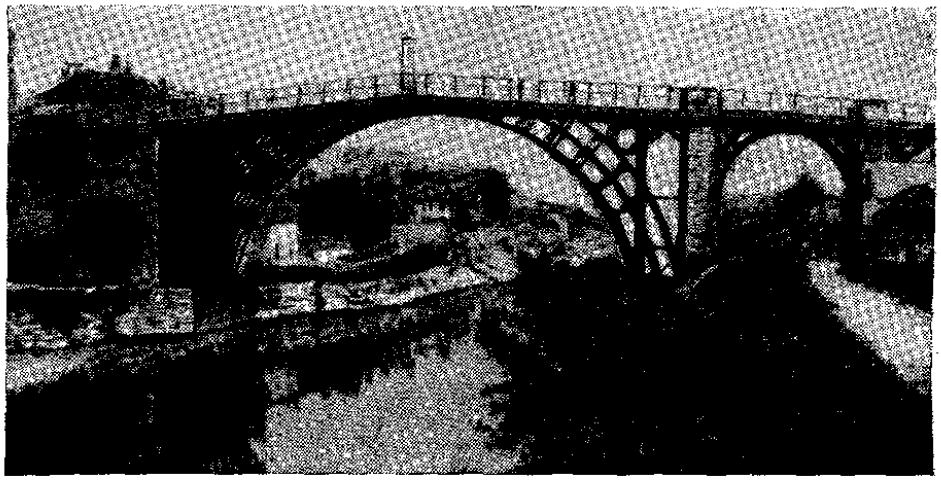

Рис. 17. Мост через р. Северн

Почти одновременно с появлением чугунных арочных мостов началось строительство железных висячих мостов, а в начале XIX в. были предприняты первые попытки применения чугуна и железа для балочных мостов.

Первым висячим мостом, приближающимся к современным типам, был мост, построенный в Пенсильвании в 1796 г.

Висячие мосты, допускавшие легкую и скорую сборку и позволяющие устраивать переходы через широкие реки без сооружения промежуточных опор в глубокой воде, стали быстро распространяться, а пролеты их увеличиваться.

Пролеты висячих мостов, построенных в первой половине XIX в., доходили до 265 *м* (мост в Фрейбурге, 1834 г.).

Первые висячие мосты в России построены в Петербурге: Пантелеймоновский у Летнего сада (1824 г.), пешеходный мост через Мойку, Египетский мост через Фонтанку (1827 г.) и др.

К крупным висячим мостам, построенным в XIX в. в России, относятся многопролетный городской цепной мост через р. Днепр в Киеве общей длиной 710 *м* с пролетами по 134,1 *м*, построенный в 1847—1853 гг., и шоссейные мосты через р. Великую в г. Острове с пролетами по 100 *м*, сооруженные в 1851—1853 гг.

Однако висячие мосты первой половины XIX в. вследствие недостаточного понимания инженерами того времени роли и значения отдельных элементов сооружения не обладали необходимой жесткостью ни в вертикальном, ни в

[1] В 1938 г. мост, построенный Кербедзом и носящий ныне название моста лейтенанта Шмидта, реконструирован по проекту акад. Г. П. Передерия. Опоры моста продолжают служить и в настоящее время.