

ПРОФ. Г. К. ЕВГРАФОВ



**КУРС
РАЗВОДНЫХ
МОСТОВ**

**НТБ
ДНУЖТ**

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ
НКПС МОСКВА 1933

СССР Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

1934

125

проф. Г. К. ЕВГРАФОВ

624.202.22

E-14

1/13

КУРС РАЗВОДНЫХ МОСТОВ

ОДОБРЕНО ЦОПКАДРОМ НКПС
В КАЧЕСТВЕ УЧЕБНИКА ДЛЯ
ВТУЗОВ Ж.-Д. ТРАНСПОРТА



МИТ
САБГЧО ЗНА
10704

1933

НКПС ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ
МОСКВА

НТБ
ДНУЖТ

Книга по объему и содержанию соответствует программе курса разводных мостов на мостовом факультете транспортных вузов и одобрена Цопкадром НКПС в качестве учебника для вузов.

Книга состоит из трех частей: первая обнимает поворотные мосты (конструкцию поворотных мостов, расчет поворотных мостов и данные для составления эскизного проекта); вторая часть относится к мостам раскрывающимся (мосты с неподвижной осью вращения и жестко-прикрепленным противовесом, с шарнирно-прикрепленным противовесом, параллелограмные мосты с передачей давления на отдельные оси, мосты системы Шерцера, Ралля, замковые и подклинивающие механизмы); третья часть рассматривает вертикально-подъемные мосты (вертикально-подъемные мосты, данные для их проектирования и особенности расчета, предпосылки выбора системы разводного моста)

Редактор А. Н. Фомин.	Техредактор В. Н. Чернякова	
Уполн. Главлита В-68883.	ЖДИЗ 311 Ж-1	Заказ тип 8150
Тираж 51 0.	Разм. бум. 72 × 105 ¹ / ₁₆ 17 /, п. л. + 2 л. вклейки	75392 экз. в п. л.
Сдано в набор 20/VII—33 г.	Подписано к печати 19/XI—33 г.	
5-я тип. «Пролетарское слово» треста «Полиграфкнига». Москва, Каланчевский тупик, д. 3/5.		

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Предисловие	5
Введение. Краткий исторический очерк сооружения разводных мостов	6
Часть I. ПОВОРОТНЫЕ МОСТЫ	
Глава I. Конструкция поворотных мостов	37
§ 1. Общие замечания	37
§ 2. Фермы поворотных мостов	40
§ 3. Конструктивные особенности поворотных мостов с центральным барабаном	41
§ 4. Конструктивные особенности поворотных мостов с центральной пятой .	48
§ 5. Опорные части поворотных мостов	59
§ 6. Схемы механизмов вращения поворотных мостов	66
§ 7. Примеры конструкции поворотных мостов	68
Глава II. Расчет поворотных мостов. Данные для составления эскизного проекта	80
§ 8. Основные размеры ферм	80
§ 9. Вес пролетных строений поворотных мостов	81
§ 10. Определение размеров пяты и числа катков	84
§ 11. Определение диаметра круга катания	85
§ 12. Некоторые особенности расчета центрального барабана	86
§ 13. Определение мощности двигателей для вращения поворотных мостов	88
§ 14. Определение работы в опорных механизмах	92
Часть II. РАСКРЫВАЮЩИЕСЯ МОСТЫ	
Глава III. Раскрывающиеся мосты с неподвижной осью вращения и жестко прикрепленным противовесом	96
§ 15. Общие замечания	96
§ 16. Конструктивные особенности раскрывающихся мостов с жестко прикрепленным противовесом	98
§ 17. Схемы механизмов вращения раскрывающихся мостов	108
§ 18. Примеры конструкции раскрывающихся мостов с жестко прикрепленным противовесом с ездой поверху: мост в Гамбурге в гавани Reihers leg, мост через канал Lake Washington в Seattle на Montlake Avenue, Охтенский мост через р. Б. Неву в Ленинграде	111
§ 19. Примеры конструкции раскрывающихся мостов с жестко прикрепленным противовесом с ездой понизу. Мост через р. Schuilkill в Филадельфии. Конкурсный проект моста в Роттердаме	121
Глава IV. Раскрывающиеся мосты с шарнирно-прикрепленным противовесом (система Штрауса)	124
§ 20. Общие замечания	124
§ 21. Примеры конструкции раскрывающихся мостов с шарнирно-прикрепленным противовесом, расположенным под проезжей частью. Республиканский мост через р. Неву в Ленинграде. Проект разводной части моста через р. Неву у Кузьминки	128
§ 22. Примеры конструкции раскрывающихся мостов с шарнирно-прикрепленным противовесом, расположенным над проезжей частью. Мост через Van Creek в Толедо. Мост через Vidine Creek. Мост Liding в Стокгольме. Мост Киншельбро в Копенгагене. Мост в Camden	132
Глава V. Параллелограмные мосты с передачей давления противовеса на отдельные оси	150
§ 23. Параллелограмные мосты простейшего типа (журавлевые)	150
§ 24. Коромысловые мосты системы Штрауса	152
Глава VI. Мосты системы Шерцера	158
§ 25. Общие замечания	158
§ 26. Конструктивные особенности мостов системы Шерцера с ездой поверху	158
§ 27. Конструктивные особенности мостов системы Шерцера с ездой понизу	163
§ 28. Детали прикрепления ступицы откатывающей к нижнему поясу фермы в мостах системы Шерцера	167

НТБ
ДНУЖТ

	<i>Стр.</i>
§ 29. Механизмы движения мостов системы Шерцера	168
§ 30. Примеры конструкции разводных мостов системы Шерцера. Ганзейский мост в Штетте. Конкурсный проект моста между Zealand и Amager в Копенгагене под девизом. «Den lige Flugt». Мост через док Buccleuch в Barrow-in-Furness	171
Глава VII. Раскрывающиеся мосты системы Ралля	180
§ 31. Общие замечания	180
§ 32. Примеры конструкции мостов системы Ралля. Проект разводной части системы Ралля пролетом 42,7 м. Группа мостов через East Chicago Canal в Indiana Harbor.	180
Глава VIII. Детали, общие для всех систем раскрывающихся мостов	190
§ 33. Запковые и подклянивающие механизмы раскрывающихся мостов	190
Глава IX. Данные для проектирования разводных мостов раскрывающихся систем и особенности их расчета	194
§ 34. Основные геометрические размеры пролетных строений	194
§ 35. Определение веса пролетных строений раскрывающейся системы	193
§ 36. Некоторые замечания о расчете ферм разводных мостов раскрывающейся системы	201
§ 37. Построение траекторий движения пролетных строений раскрывающихся мостов	207
§ 38. Сопротивления движению в раскрывающихся мостах и определение мощности двигателя	209
Часть III. ВЕРТИКАЛЬНО-ПОДЪЕМНЫЕ МОСТЫ	
Глава X. Конструкция вертикально-подъемных мостов	221
§ 39. Конструктивные особенности вертикально-подъемных мостов с гибкой связью между противовесом и пролетным строением	221
§ 40. Вертикально-подъемные мосты с стержневой связью между противовесами и пролетным строением	225
§ 41. Примеры конструкции вертикально-подъемных мостов. Мост через р. Иллинойс. Мост через Königshafen в Роттердаме. Мост через залив Newark. Мост через White River.	227
Глава XI. Данные для проектирования вертикально-подъемных мостов. Особенности расчета	248
§ 42. Вес пролетных строений и башен	248
§ 43. Определение усилий в подв. сных и рабочих канатах	250
§ 44. Определение диаметра канатов и размеров захватов для них	254
§ 45. Некоторые данные из американской практики	256
§ 46. Расчет шкивов	259
§ 47. Определение мощности двигателей	260
§ 48. Единичные цены на машинное оборудование, канаты и пр.	260
Глава XII. Предпосылки выбора системы разводного моста	261
Приложение I. Таблицы основных данных по разводным мостам	264
Приложение II. Данные о канатах для подъемных мостов	276
Основная литература	276

НТБ
ДНУЖТ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Область применения разводных мостов ограничивалась у нас до сих пор почти исключительно устьями больших судоходных рек (Нева, Дон, Волга). Между тем и в целом ряде других случаев снижение уровня пути на мосту с устройством разводного пролета для пропуска судов высокого габарита является выгодным и технически целесообразным. Освоение проектирования и изготовления разводных мостов и более широкое их использование является одним из элементов реконструкции мостостроения во втором пятилетии. Вполне естественно, что для успешного внедрения разводных мостов необходимо поднять преподавание курса разводных мостов в высшей школе на должную высоту. Последнее затрудняется почти полным отсутствием литературы по разводным мостам на русском языке.

Предлагаемая вниманию читателя книга по объему и содержанию соответствует утвержденной программе курса разводных мостов на мостовом факультете транспортных высших технических учебных заведений.

Особенное внимание обращено мною на конструкцию разводных мостов, так как именно эта область почти совершенно не освещена в имеющейся на русском языке литературе. Вместе с тем я счел полезным привести основные положения по определению траекторий движения различных систем, по особенностям их расчета и по определению сопротивлений движению, стараясь ограничить изложение наиболее простыми и практически наиболее удобными методами расчета.

Первая часть охватывает поворотные мосты, вторая—относится к мостам раскрывающимся и, наконец, третья дает материал по подъемным мостам.

Что касается остальных, крайне редко применяющихся в современной практике систем, то о них даны лишь общие сведения в историческом очерке.

Цель книги—дать необходимые сведения для составления общего эскизного проекта разводного моста и для разработки конструктивной части проекта. Проектирование механизмов представляет собой отдельную задачу и в настоящей книге затронуто лишь в той мере, какая необходима для уяснения всей системы в целом и для подсчета мощности двигателей.

Автор надеется, что его скромный труд, несмотря на неизбежные, ввиду новизны дисциплины, недостатки, окажется полезным пособием для учащихся и инженеров мостовой специальности.

Автор считает своим приятным долгом принести благодарность инж. Крыжановскому и Дулееву, составившим прилагаемые к книге сводные таблицы основных данных по разводным мостам.

Профессор *Евграфов*

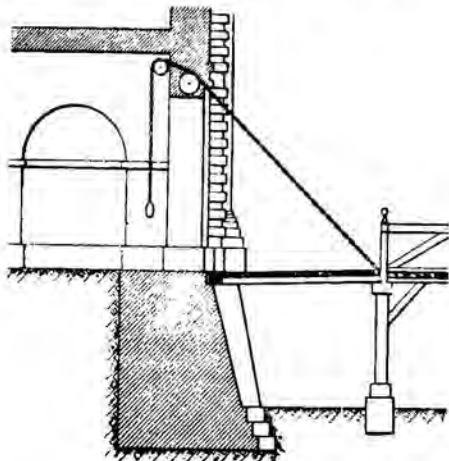
НТБ
ДНУЖТ

ВВЕДЕНИЕ

Краткий исторический очерк сооружения разводных мостов

1. Начало постройки разводных мостов теряется в глубине веков. Уже в памятниках египетского творчества, относящихся к царствованию Рамзеса II (XIV в. до нашей эры) имеются рисунки разводных мостов через рвы, окружавшие крепости и города. Мосты, перекинутые египтянами через Нил, также имели разводные части на понтонах.

По свидетельству Геродота, один из пролетов моста, построенного в 460 г. до нашей эры вавилонским царем Нитокрисом через р. Евфрат, был сделан в виде деревянной платформы, которая могла быть отодвинута на ночь, чтобы воспрепятствовать незаметному приближению врага. Вообще первые разводные мосты строились преимущественно для того, чтобы иметь возможность в любой момент легко прервать сообщение по мосту, т. е. по соображениям военного характера.



Фиг. 1.

Однако, не чужды были древним народам и те причины, которые заставляют в настоящее время прибегать к устройству одного или нескольких пролетов моста разводными. Дело в том, что многие мосты через большие реки устраивались на пловучих опорах, имели очень низко расположенные пролетные строения и тем самым препятствовали плаванию судов по реке. Чтобы выйти из этого неудобного положения, стали часть моста делать подвижной. Появились разводные пролеты, как одно из решений задачи о пересечении сухопутного и водного путей.

Из числа мостов, относящихся к этой категории, назовем разводной пролет понтонового моста через р. Тибр, одного из первых римских мостов, о которых до нас дошли сведения, построенного в 621 г. до нашей эры Анкусом Мартиусом.

Постройка разводных мостов по фортификационным соображениям, о которых упоминалось выше, получила большое развитие в средние века, в эпоху феодализма. Замки, крепости, многие города, населенные пункты, относящиеся к этой эпохе, окружались рвами, через которые перебрасывались т. н. *подъемные мосты* (ponts levis).

Конструкция последних была весьма примитивна. Деревянное полотно вращалось вокруг неподвижной оси. К концу пролетного строения были приделаны цепи, перекинутые через блоки. Этими цепями полотно приводилось в движение. Фиг. 1, заимствованная из сочинения французского инженера и ученого Белидора «La science des ingénieurs» (1739 г.), дает представление о господствующем типе средневековых разводных мостов.

Но не только в крепостях и замках, через рвы, искусственно вырытые, строились в средние века разводные мосты: они строились также и на торговых путях сообщения, хотя и в значительно меньшем количестве.

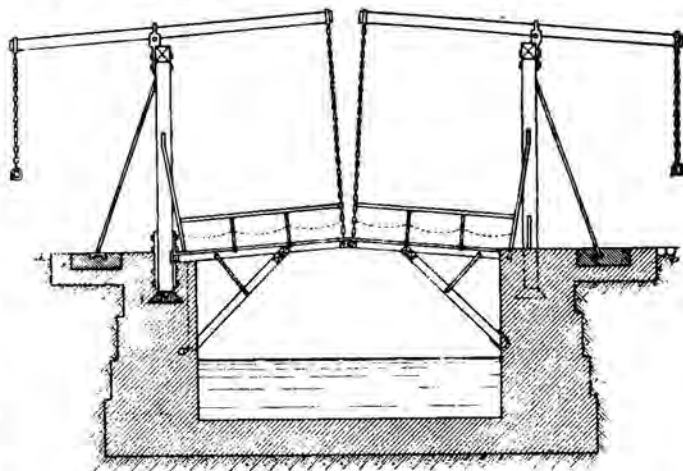
В 1176 г. в Англии при Генрихе III был начат постройкой постоянный каменный мост через р. Темзу, в торговой части города Лондона. Мост строился 33 года (окончен в 1209 г.) и представлял собой монументальное сооружение, просуществовавшее до 1831 г. Как можно судить по старинной картине, один из средних пролетов Тем-

инского моста был разводным. На картине видны цепи, идущие от конца пролета вверх к зданию, стоящему на постоянных соседних пролетах. Более подробных сведений о разводной части этого моста не сохранилось, но, по видимому, она была той же примитивной системы, как и показанная на фиг. 1.

Главным недостатком такой системы является ее неуравновешенность. Чтобы открыть мост, надо было затратить силу не только на преодоление трения, ветра и других вредных сопротивлений, но и на подъем неуравновешенного груза.

Конечно, пока пролеты подъемных мостов были невелики, мосты—неширокими, легкими, этот недостаток не давал себя сильно чувствовать. Но под влиянием растущего веса пролетных строений, их неуравновешенность становилась все более и более обременительной, и была выдвинута задача об уравновешивании движущихся масс в разводных мостах.

Простейшим способом уравновесить пролетное строение является устройство коромысла или журавля (фиг. 2)—прием, издавна известный в применении к подъему



Фиг. 2.

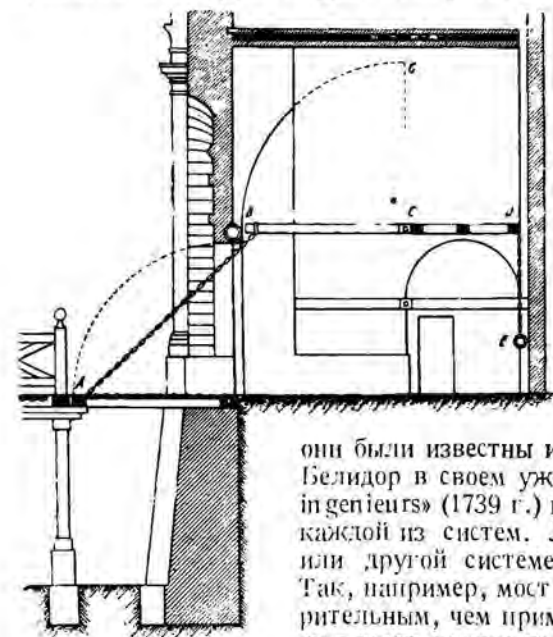
воды из колодцев. Та же идея, в несколько измененном виде, осуществлена была в системе, показанной на фиг. 3. Более сложное использование коромысла (рычага) дает система по фиг. 4.

Затем естественно должна была явиться мысль, вместо того чтобы ставить коромысло, продолжить пролетное строение за ось вращения и снабдить продолженную часть противовесом (фиг. 5).

Не представляется возможным установить, когда и где впервые появились указанные выше системы. Во всяком случае к началу XVIII в. все

они были известны и многие из них широко применялись. Белидор в своем уже упоминавшемся труде «La science des ingenieurs» (1739 г.) подробно останавливается на недостатках каждой из систем. Любопытно отношение Белидора к той или другой системе: преобладает точка зрения военного.

Так, например, мост по фиг. 2 он считает менее удовлетворительным, чем примитивный тип по фиг. 1, т. к. выступающая часть коромысла представляет заметную цель и легко может быть разрушена. Система, изображенная на фиг. 5, ему не нравится, т. к. углубление для движения хвостовой



Фиг. 3.

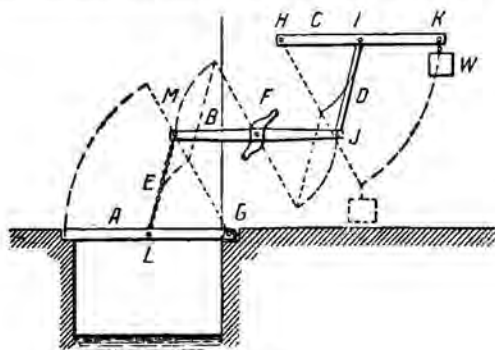
части крыла ослабляет прочность стоек и т. д. В результате ни одна из существовавших в то время систем разводных мостов его не удовлетворяет, и он предлагает свою, к которой мы еще вернемся.

Несомненно, что влияние эпохи возрождения, оставившей яркий след во всех областях искусства и науки, отразилось и на улучшении системы разводных мостов. Гениальный художник и ученый того времени Леонардо да-Винчи предлагает (1500 г.), как об этом свидетельствуют оставшиеся после него рисунки, поворотную систему,

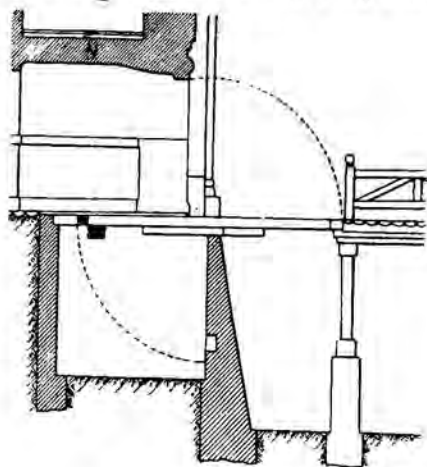
7. е. такую, в которой вращение пролетного строения совершается вокруг вертикальной оси.

Описания поворотных мостов встречаются в сочинениях Белидора: «La science des ingénieurs» и «Architecture Hydraulique». Особенно он отмечает мост в Шербурге, построенный архитектором Salomon de Saussure в 1736 г. На фиг. 6 дана половина этого моста. Мост имел пролет в свету 13 м, ширину полотна 3,8 м, длина рукавов была: 8,4 и 4,69 м. Во время вращения пролетное строение опиралось на чугунную ось: шаровые катки служили для удержания системы в устойчивом равновесии.

Другой, деревянный, поворотный мост, описанный Белидором, показан на фиг. 7



Фиг. 4.

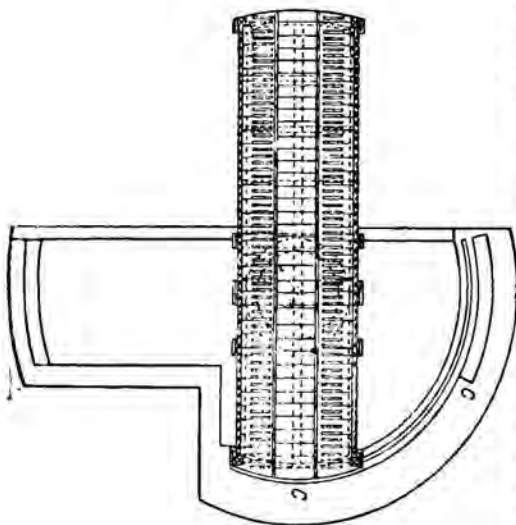


Фиг. 5.

Кроме систем с вращением вокруг горизонтальной оси (т. н. «подъемные» мосты, которые в дальнейшем мы будем называть *раскрывающимися*) и вокруг вертикальной оси (*поворотные мосты*), в древние и средние века были известны системы с поступательным движением полотна в горизонтальной плоскости—*откатные мосты*.

Разводная часть моста через р. Евфрат, о которой мы уже говорили, построенная в 460 г. до нашей эры, и была, по видимому, откатной. Таким образом эта система—

весьма древняя. В средневековых фортификационных мостах откатная система также находит применение. Есть указание, что начиная с XIII века откатные мосты по типу фиг. 8 строятся в Италии и на юге Франции.



Фиг. 6.

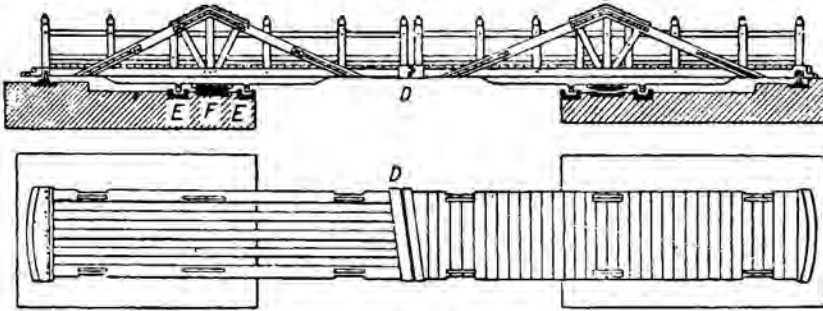
2. Таково было положение с разводными мостами к началу XVIII века. Мы уже имели случай отметить, что это положение не удовлетворяло наиболее выдающихся инженеров того времени, в особенности по отношению к разводным мостам, предназначенным для крепостей. Между тем надобность в постройке таких мостов продолжала ощущаться не только в XVIII, но и в начале XIX века. К этому периоду относится создание новых систем, в основе которых остается пролетное строение, вращающееся вокруг одного из своих концов, только способы уравнивания веса пролетного строения в разных системах предлагаются различные. Характерная

особенность всех этих систем заключается в том, что, в отличие от ранее существовавших разводных мостов, для создания которых было достаточно одного здравого смысла, простой смекалки, разработка новых систем была сделана с применением к ним математического анализа.

Такова, по видимому первая из этой группы,—система Белидора (1740 г., фиг. 9). Противовес W, связанный цепью с концом пролетного строения, движется по направ-

вляющей C . Уравнение для кривой C было составлено Белидором, исходя из условия уравнивания системы; кривая C оказалась синусоидой.

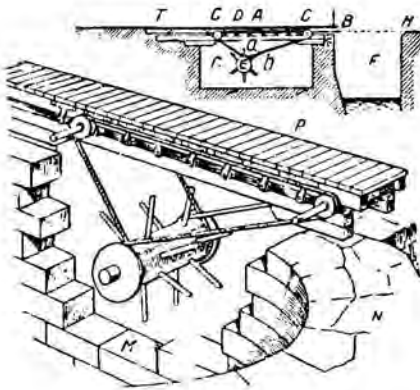
Видоизменением системы Белидора является система Делиля (фиг. 10), в которой цепь заменена стержнем O . В движение система приводится бесконечной цепью g .



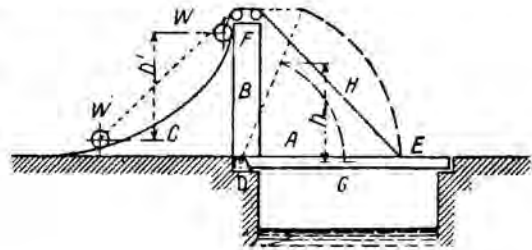
Фиг. 7

К той же группе разводящих мостов относятся системы Бержера (фиг. 11), Дерше (фиг. 12, 1810 г.), Понселе (фиг. 13 и 14) и другие.

В системе Бержера противовес посажен на конце стержня, связанного с пролетным строением. Стержень имеет продольный вырез, в который входит ось катка, опирающегося на горизонтальную плоскость.



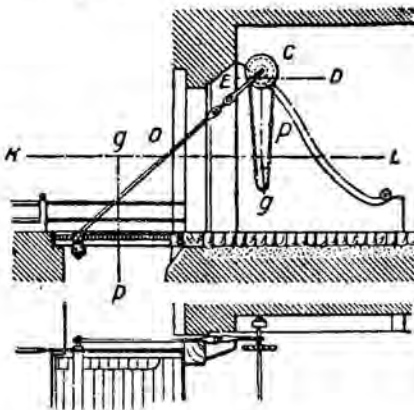
Фиг. 8.



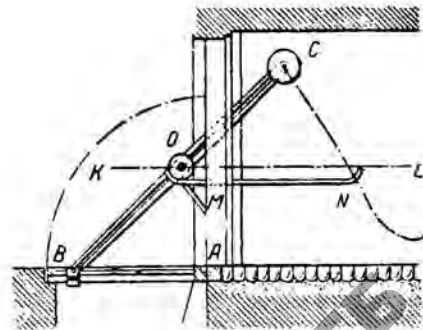
Фиг. 9.

В системе Дерше уравнивание достигается тем, что противовес подвешен на цепи, сматывающейся с улиткообразного колеса.

Понселе в одной из своих систем (фиг. 13) применил направляющие для цепей желоба, прикрепленные к пролетному строению, а в другой (фиг. 14) — в качестве противовеса тяжелые цепи $O'gHH_0$, закрепленные в неподвижных точках L .



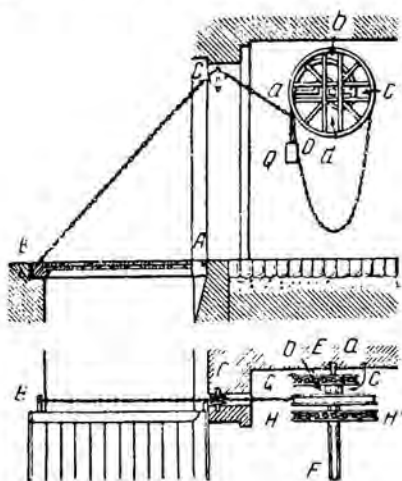
Фиг. 10.



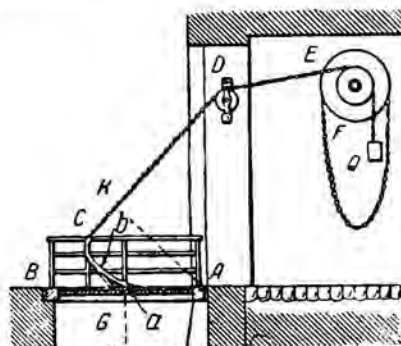
Фиг. 11.

По последней системе были построены разводящие мосты в целом ряде крепостей — в Меце (1821 г.), Вердене, Страсбурге, Бельфоре и т. д. Пролетное строение моста в Вердене, несмотря на трехтонный вес, приводилось в движение одним человеком.

К началу XIX в. относится появление еще одной новой системы разводных мостов—откатно-раскрывающейся, т. е. такой, в которой пролетное строение вращается вокруг центра, перемещающегося в горизонтальной плоскости. Мост этой системы был построен в 1824 г. в Гавре по проекту французского инженера Lamblardie (фиг. 15). Пролет в свету 13,2 м, ширина полотна 5 м. Пролетное строение откатывается при посредстве зубчатого сектора. В этом сооружении отчетливо проведена идея устройства хвостовых замков. Способ приложения движущей силы—к концу хвостовой части—также заслуживает внимания; он в несколько ином виде применяется и в современных мостах.



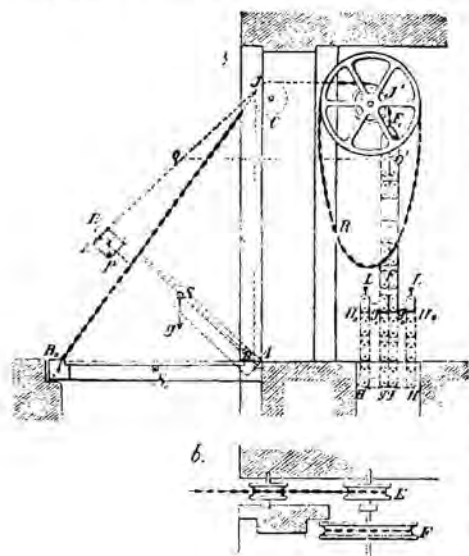
Фиг. 12.



Фиг. 13.

Система Lamblardie не получила в свое время распространения; возрождение его идеи мы видим лишь в конце XIX в. в мостах Шердера.

3. В России начало строительства разводных мостов можно считать с конца XVI в., когда при царе Алексее Михайловиче было построено по типу (фиг. 2) несколько коромысловых мостов на гидротехнических сооружениях, отделявших Кремль от Красной площади. Существовали и раньше разводные мосты, например, мост у Троицких ворот в Москве, но их было немного, и были они примитивного устройства.



Фиг. 14.

Затем разводные мосты коромыслового типа применяются при планировке Петербурга архитектором Леблонем. Несколько позднее к нам переходят некоторые системы французских инженеров конца XVIII и начала XIX вв., как например система Понселе, которая была осуществлена, между прочим, в старых мостах через Фонтанку. Применяются также деревянные раскрывающиеся мосты с хвостовой частью на рукавах р. Невы.

4. Французские инженеры конца XVIII и начала XIX вв. вложили много творческой инициативы, много изобретательности в дело усовершенствования разводных мостов. Их усилия не остались бесплодными. Созданные ими системы, из коих многие отличаются изяществом и остроумием, давали хорошее решение в тех случаях, для которых они предназначались,—для перекрытия небольших пролетов перед воротами в крепостях. Между тем развитие в XIX в. путей сообщения, особенно после начала постройки в 1825 г. железных дорог, предъявило к разводным мостам более строгие требования. Надо было перекрывать пролеты солидной массой, пропускать по ним значительные нагрузки.

Системы французских инженеров были мало пригодны для этой цели. Наиболее подходящим типом оказались мосты поворотные. Пролетные строения этих мостов

в закрытом их состоянии являются обычными балками, опирающимися на несколько опор, что позволяет легко придать им необходимую прочность и жесткость. Уравновешивания движущих масс также нетрудно достигнуть противовесом, а системы двухрукавные, т. е. перекрывающие два одинаковых пролета, даже не нуждаются в противовесе. Вот почему поворотные мосты получили такое сильное распространение в XIX в.

В области постройки разводных мостов XIX в., в особенности во второй его половине, по справедливости может быть назван эпохой поворотных мостов.

До начала XIX в. поворотные мосты строились из дерева. Одни из первых сооружений этого рода приведены были на фиг. 6 и 7. В этих мостах вес пролетного строения, во время его вращения, передавался почти исключительно на центральную ось; катки служили лишь для удержания поворотной части в равновесии при случайных перекосах. Это были т. н. поворотные мосты с центральной пяткой.

Зародившись на континенте, преимущественно на юге Франции, деревянные поворотные мосты перешли затем в Англию и Америку. Для перекрытия разводных пролетов стали применять деревянные решетчатые фермы. Был создан тип двухрукавного поворотного моста с вращением на быке.

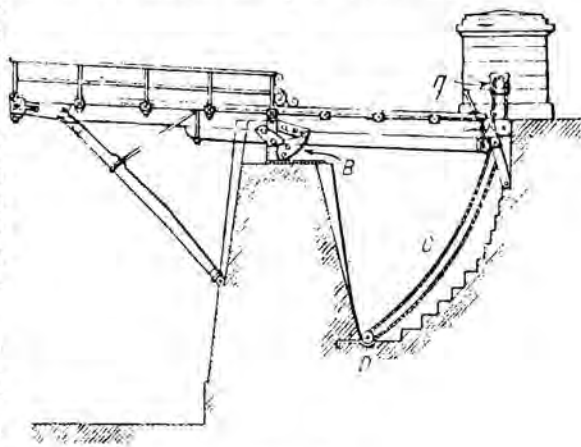
Вес пролетного строения в английских и американских мостах зачастую стали передавать во время поворота исключительно на катки; ось вращения служила лишь для центрирования вращения. Примером английских поворотных мостов из дерева может служить мост в гавани Folkestone (фиг. 16).

Особенно сильного развития достигла постройка деревянных поворотных мостов в Америке, где, благодаря наличию большого количества прекрасного леса, этот тип мостов применялся с успехом даже во второй половине XIX в. Американские поворотные мосты — преимущественно двухрукавные, с передачей всего давления на катки. Использованы были для этих мостов фермы Фипка, Ленвилля и особенно часто — Гау.

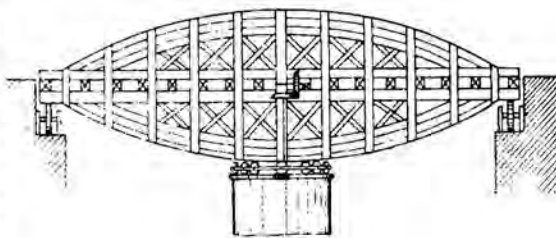
На фиг. 17 показан американский деревянный поворотный мост середины XIX в. Мосты в Чикаго, в Давенпорте через р. Миссисипи и др. именно такого типа. Из них мост через р. Миссисипи, построенный в 1853 г., имел 2 пролета по 35,35 м и являлся одним из наибольших этого рода.

В конце XVIII в. для постройки мостов начали применять чугун. Вполне естественно, что это течение распространяется и на поворотные мосты, и в 1804 г., по предложению Walter'a, строится первый чугунный поворотный мост через канал Регента в Англии. Значительное число чугунных поворотных мостов было применено затем при сооружении Лондонских доков (с 1805 г.).

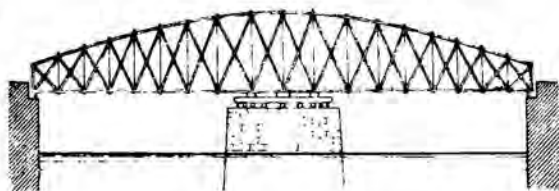
Чугунные фермы поворотных мостов англичане старались делать как арочные фермы в подражание чугунным аркам постоянных мостов и в соответствии с тем, что



Фиг. 15.

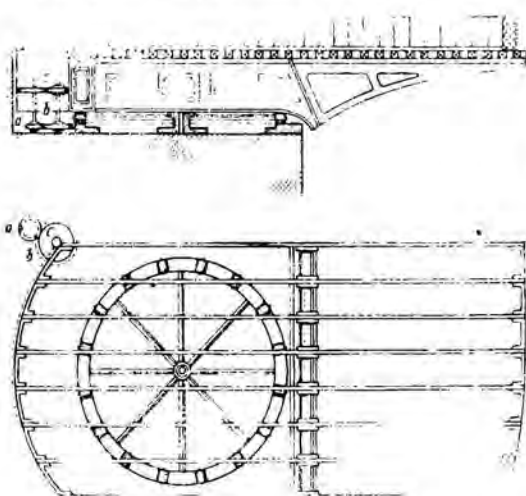


Фиг. 16.



Фиг. 17.

такая система лучше всего отвечает механическим свойствам чугуна. Поэтому особенно распространены были двойные однорукавные мосты, по типу, изображенному на фиг. 18, однако встречались и двухрукавные мосты. Передача давления в английских поворотных мостах производилась или исключительно на катки, или чаще и на катки и на ось вращения одновременно.

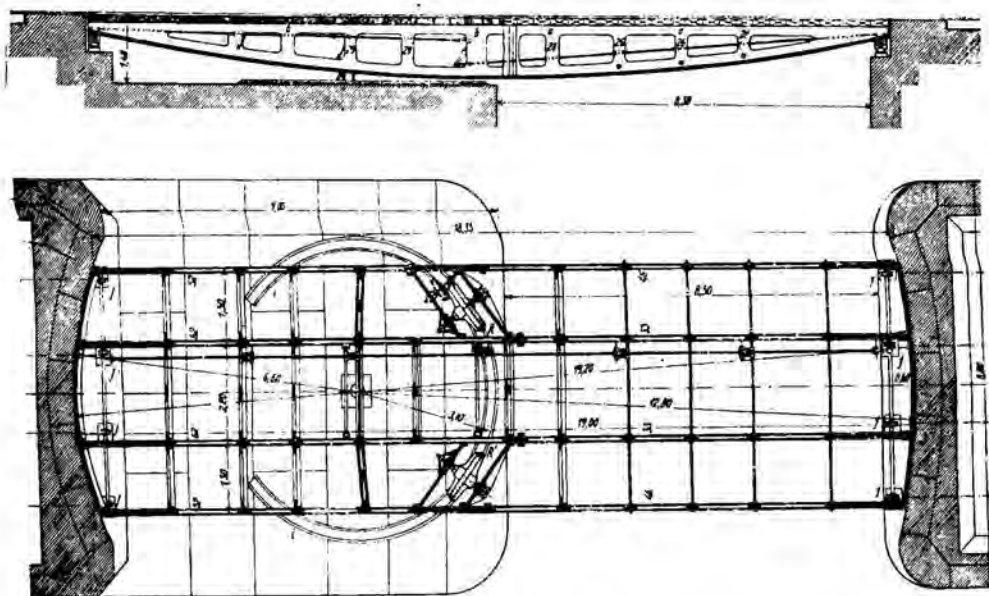


Фиг. 18.

На континенте первым чугунным поворотным мостом был мост в Антверпене, построенный бельгийцем Тейкманом в 1812 г. по английским образцам. Затем довольно большое количество чугунных поворотных мостов было построено на бельгийских и голландских железных дорогах. Один из них — мост в Mecheln на ж. д. Брюссель — Антверпен, осуществленный в 1835 г. показан на фиг. 19.

Начиная с 40-х годов прошлого века, чугун в области мостостроения вытесняется сварочным железом, и поворотные мосты повсеместно строятся с железными фермами. Растут величины перекрываемых поворотными мостами пролетов. Построенный в 1862 г. мост Pefelnd в Бресте перекрывает пролет уже в 106,75 м в свету (фиг. 20).

Передача веса пролетного строения при вращении на целый ряд расположенных по окружности катков, практиковавшаяся в поворотных мостах первой половины

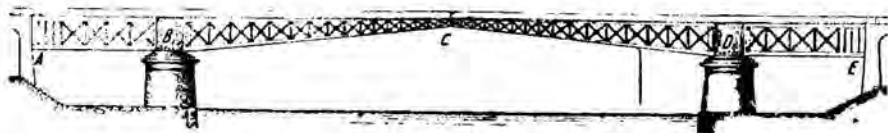


Фиг. 19.

XIX в., имела свои отрицательные стороны. Трудно было обеспечить равномерное распределение нагрузки между большим числом катков, катки подвергались действию временной нагрузки, что вызывало неравномерный их износ, затруднялось поворачивание пролетного строения; размещение катков требовало значительных размеров быка.

Учитывая указанные недостатки, строители стремились по возможности уменьшить давление на катки, для чего часть веса пролетного строения передавали на ось враще-

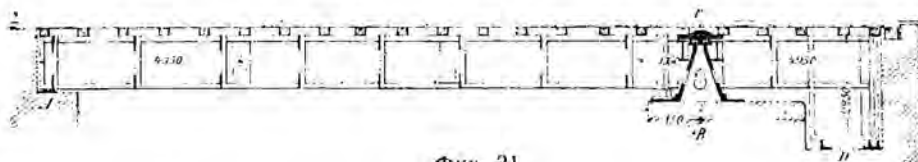
ния. В некоторых конструкциях ось вращения снабжалась клиньями (мост через Geeste между Gatzemünde и Bremerhaven'ом, 1853—1855 гг.) или винтовым подъемным механизмом (мост Medway в Rochester'e, мост в Бри.тольской гавани 1857 г.), которые позволяли регулировать распределение веса между осью и катками. В других сооружениях, чл.то катков, или, точнее сказать, колес, доводилось до минимума и главной поддерживающей чл.тью делалась ось вращения (фиг. 19, мост в Mecheln'e, 1835 г.).



Фиг. 20.

В 1866—1872 гг. в Голландии построен мост через Onde-Maas у Дортрехта, в котором вертикальное давление при открывании полностью передано на пяту (ось вращения). Катки сохранены лишь для придания системе устойчивого равновесия.

В 1871—1873 гг. идея передачи давления только на ось вращения получила еще более отчетливое выражение в мосту Hunte у Elsfleth на ж. д. Hude—Braker, пролетом в свету 13,5 м (фиг. 21 и 22). В этом мосту горизонтальный круг катания отсутствует; пролетное строение висит на высокой отливке, являющейся пятой. Устойчивость обеспечена небольшими роликами с вертикальными осями.



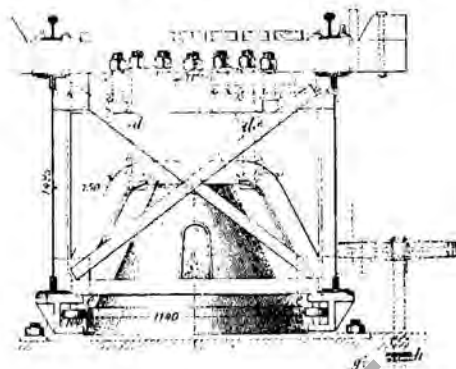
Фиг. 21.

Незадолго до постройки моста Hunte выстроен через канал Righvart в Амстердаме небольшой деревянный поворотный мост, в котором проведена та же идея передачи давления полностью на пяту.

Немного по-иному подошел к разрешению задачи об упразднении катков немецкий инж. Шведлер. Он решил не только избавиться от них, но и разгрузить ось вращения в закрытом состоянии моста.

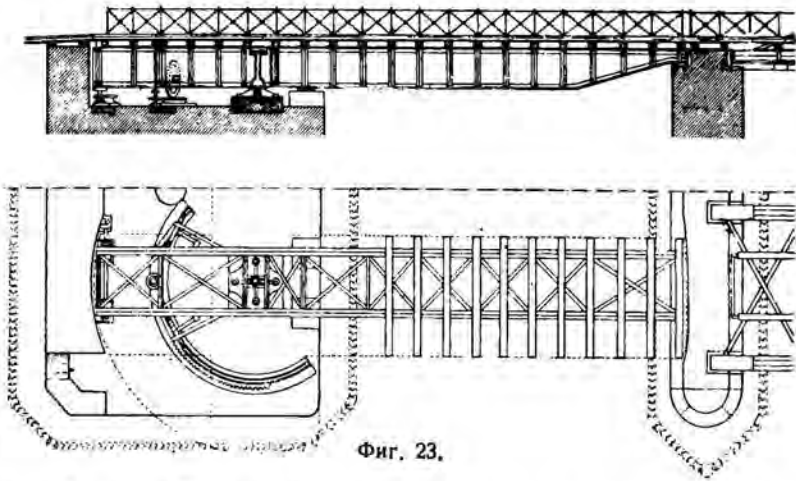
В мостах системы Шведлера фермы в закрытом состоянии опираются на 3 опоры; ось вращения и поддерживающие колеса нагрузки не несут. Для того чтобы открыть мост, надо предварительно опустить одну из опор. Так как центр тяжести пролетного строения несколько смещен в сторону опускающейся опоры, то происходит небольшое вращение пролетного строения вокруг средней опоры, в результате чего пята и поддерживающие колеса нагружаются, а другие опоры, напротив, разгружаются. Становится возможным поворот.

Впервые система Шведлера осуществлена в ж.-д. мосту через р. Peene у Anklam'a, пролетом в свету 10,97 м, в 60-х годах прошлого века (фиг. 23 и 24). К 1871 г. было построено уже 11 мостов по системе Шведлера. Система эта сделалась весьма популярной в Германии, подверглась различным конструктивным вариациям и применена в большем числе мостов третьей четверти XIX и начала XX вв. Среди них красивый мост в Вальгельмгафене (фиг. 25), открывающий судходный пролет в 70 м, мост Neuhof через Reiherstieg в Гамбурге с судходным пролетом в 50 м, Herrenbrücke в Любеке с таким же пролетом, мост в новой гавани Эмдена и др.

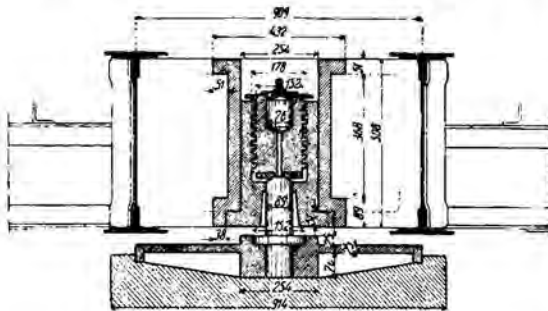


Фиг. 22.

В упоминавшихся выше мостах—через Geeste, Medway в Рочестере, в Бристольской гавани—ось вращения имела некоторую вертикальную подвижность, которой пользовались только как регулирующим средством. В 1857 г. Mauser в мосту



через Большой канал в Триесте использовал вертикальное перемещение пяты для снятия пролетного строения с опор перед началом поворота. Пята Mauser'a показана на фиг. 26. Вращением солидной гайки осуществляется подъем оси до тех пор, пока трение



на крайних опорах ферм не станет меньше трения в винте. Затем тем же вращением гайки производится поворот пролетного строения на 90° до встречи с упором. Небольшое дополнительное после остановки фермы вращение гайки заставляет фермы еще немного подняться, что необходимо для обратной постановки их на опоры. Аналогично происходит и закрывание моста.

Дальнейшее развитие идеи подъемной пяты видим в мосту через бассейн Joliette в Марселе (1873 г., фиг. 27), где применена

гидравлическая пята. Вертикальное перемещение пяты в этом мосту довольно значительное (1,1 м), т. к., по замыслу строителя, для пропуска небольших судов достаточно ограничиться лишь подъемом пяты и только при подходе высоких судов необходимо производить поворот пролетного строения вокруг вертикальной оси.



С гидравлической же пятой мост в Марселе через Bassin nationale (фиг. 28), построенный Barret'ом в 1874 г. Интересно гидравлическое оборудование этого моста

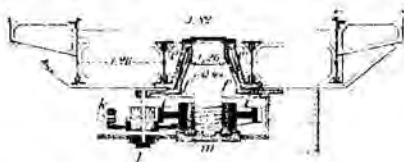
введен т. н. «рекуператор», т. е. приспособление, имеющее целью понизить нагрузку на поршень аккумулятора—цилиндра, в котором создается напор воды.

В том же 1874 г. построен еще один поворотный мост с гидравлической пятой в Leith'e (мост Виктории), в котором применен рычажный механизм Van-Hassel't'a. Длинный рукав этого моста равен 44,8 м, короткий—21,4 м.

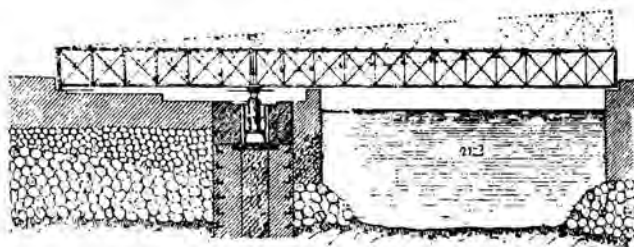
Перечисленные поворотные мосты с гидравлической пятой не остались единственными представителями этой системы. В последующие годы их построено довольно много, частью в комбинации с системой Шедлера, т. е. с небольшим опрокидыванием пролетного строения в вертикальной плоскости и с передачей некоторой доли давления на поддерживающие колеса, частью как системы с центральной пятой в чистом виде.

К более новым сооружениям этого рода относится мосты через Нордостзейский канал в Германии, мост через Greihaven в Копенгагене, мост через Oberhafen в Гамбурге, мост в Любеке и др.

Система поворотных мостов с передачей во время вращения всего давления на пяту, без предварительного подъема последней, а напротив с опусканием опор (фермы



Фиг. 26.

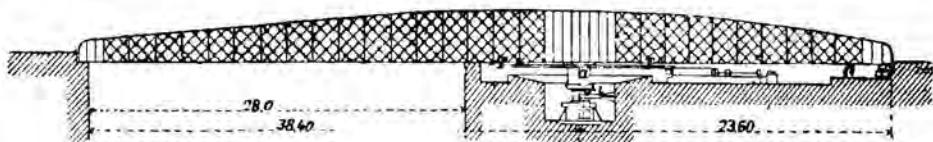


Фиг. 27.

также находит применение в новых поворотных мостах. Мост через Sagonte во Франции (1916 г.), через Прегель в Кенигсберге (1925 г.) одни из лучших тому примеров.

Различные поворотных мостов в Америке шло главным образом по линии увеличения их веса и перекрываемых им пролетов. По системе американские поворотные

мосты XIX в. почти исключительно относятся к т. н. мостам с центральным барабаном, т. е. с передачей давления только на катки, или частью на катки, частью на ось вращения. К наиболее замечательным мостам, построенным в Америке в XIX в. и в начале XX в., относятся: мост через р. Willamette около Portland'a (длина фермы 158,8 м, судходные отверстия 2 по 73 м, вес пролетного строения 2 088 т); мост Interstate в Омаха (длина фермы 158,49 м, судходные отверстия 2 по 62,7 м, вес пролетного строения 2 000 т); мост через Темзу в Новом Лондоне (длина фермы 153,3 м,

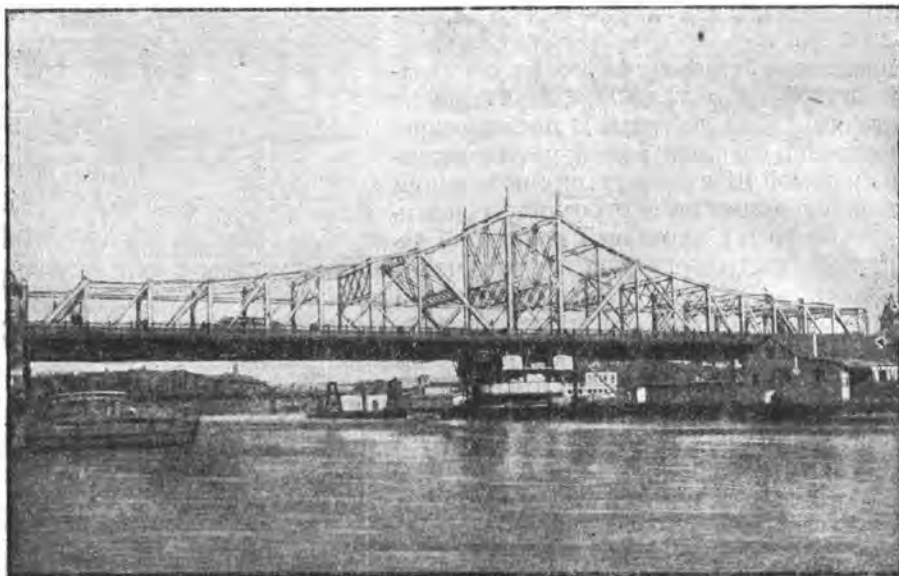


Фиг. 28.

судходные отверстия 2 по 69,7 м, вес движущейся части 950 т); мост через Harlemriver в Нью-Йорке (длина фермы 118,56 м, под 4 ж.-д. пути, фиг. 29), мост через р. Делавар на Пенсильванской ж. д. (длина фермы 104,6 м, фиг. 3) и др. В более новых американских поворотных мостах применяется передача давления на центральную пяту с устройством поддерживающих колес.

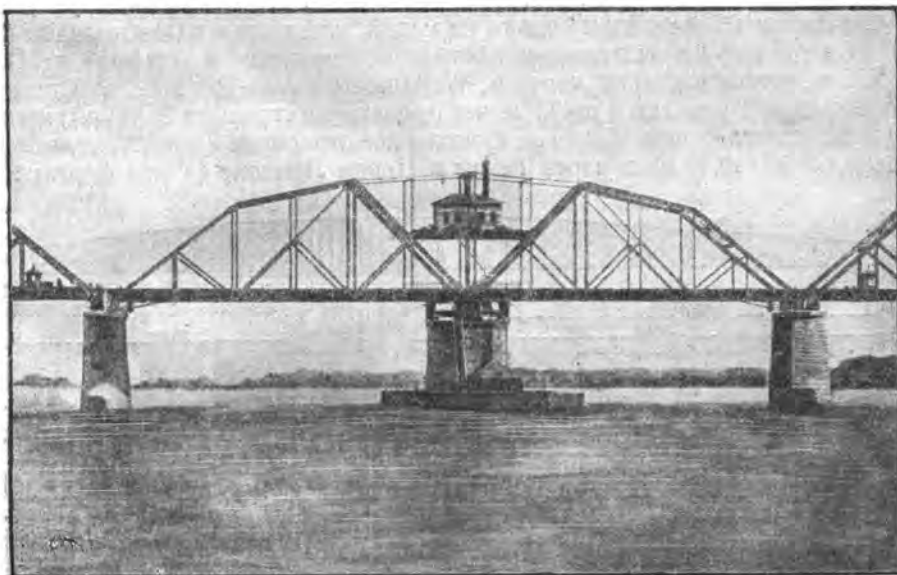
Необходимость перекрывать поворотными мостами значительные пролеты с самых первых шагов в этой области была по всей вероятности причиной того внимания, которое американские инженеры уделили вопросу о работе ферм поворотных мостов под нагрузкой. Кроме применения общепринятых неразрезных ферм, были предложены с тем же, обращающие фермы поворотного моста, в закрытом его состоянии в фермы разрезные, как-то: с тем же Вортингтона (шарниры в панелях верхнего пояса ближайших к средней опоре), с тем же, олицетворяющая в ж.-д. мосту Passaic (с гидравлическими домкратами в раздвоенном верхнем поясе) и др.

В новейшее время удачную попытку обратить фермы двухрукавного поворотного моста в статически определимую систему сделал Шграус. В его системе (фиг. 31) одна из стоек каждой фермы имеет шарнир посредине высоты и может при помощи



Фиг. 29.

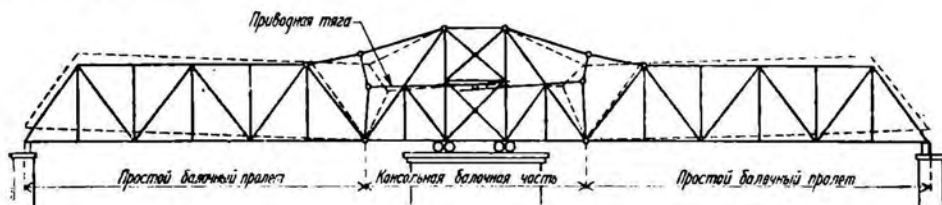
связанной со специальным механизмом тяги несколько складываться, т. к. в верхнем узле, к которому подходит стойка, также имеется шарнир. Таким путем фермы превращаются в консольные. Другая интересная особенность поворотных мостов, предложенных Шграусом, заключается в том, что взамен катков поставлены особые тележки, вагонного типа.



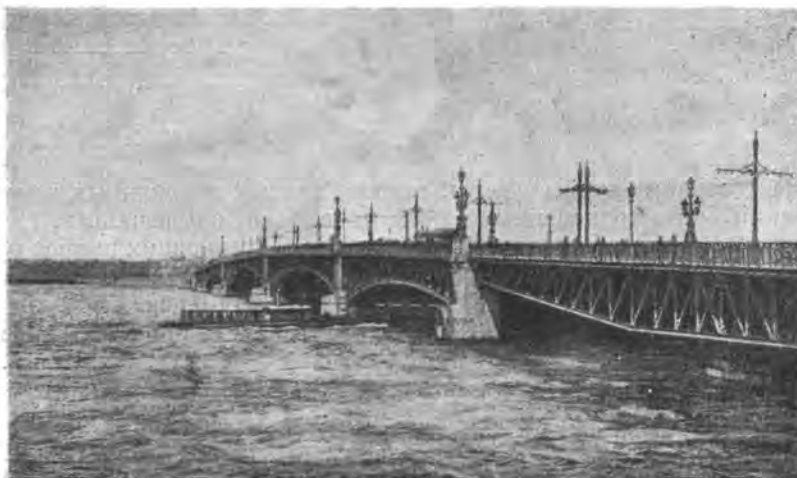
Фиг. 30.

5. Первым поворотным мостом, построенным в России, была разводная часть б. Николаевского моста в Ленинграде (1842—1850 гг, ныне мост лейтенанта Шмидта), однорукавная с пролетом в свету 21,3 м. Затем идут: разводная часть цепного Киевского моста через р. Днепр (1857 г.) с пролетом 19,2 м; разводная часть Литейного мо-

ста (1875—1879 гг.) с пролетом 21,3 м в свету (фиг. 32) и моста Равенства (б. Троицкого 1897—1903 гг., (фиг. 33) в Ленинграде. Последняя—двухрукавная с пролетами 26,1 м и 26,7 м. Все перечисленные поворотные мосты, за исключением Киевского, существуют до настоящего времени.



Фиг. 31.



Фиг. 32.

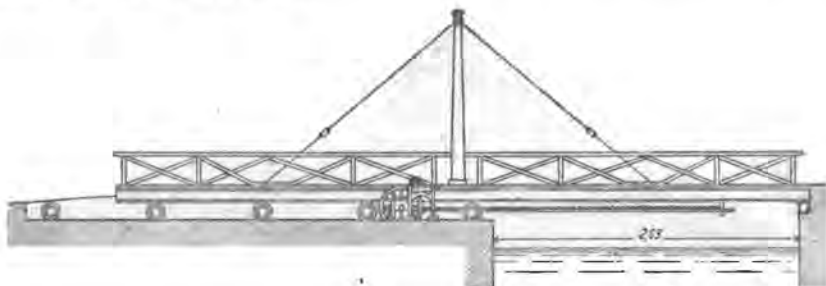


Фиг. 33.

Кроме того, в различное время устроены поворотные части при некоторых мостах под железную дорогу: через реку Западную Двину ($2 \times 9,4$ саж., перестроен); через р. Дон на б. Владикавказской ж. д. (1874 г., ныне заменен новым); через р. Шелонь (1878 г. $2 \times 6,8$ саж.); через р. Аа (8 саж. в свету); через Торговый канал в Либаве ($2 \times 9,20$ саж., 1879 г., впоследствии заменен новым).

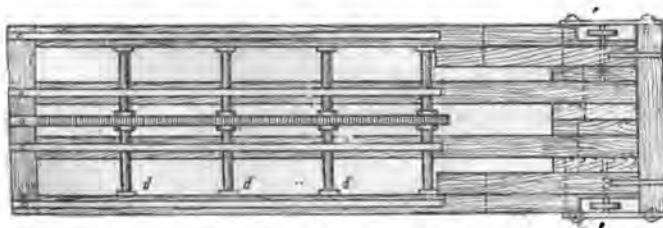
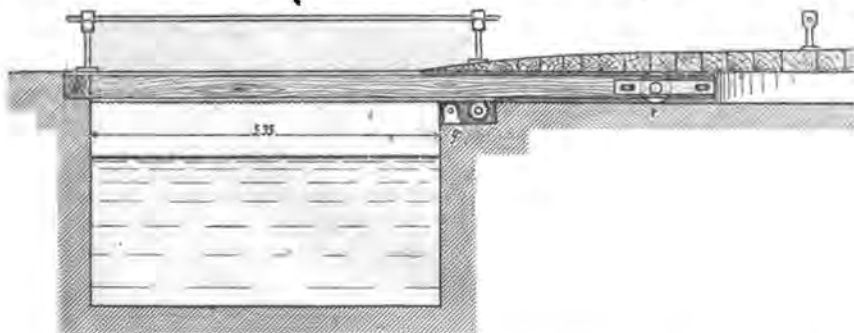
Более новые поворотные мосты под железную дорогу: через Болду и Бузан (1907 г.); через портовый канал в Либаве (1907 г.) и в Виндаве (1907 г.); Мосты в Либаве, Виндаве и через р. Вотку с центральной пятой; остальные с центральным барабаном.

6. Кроме поворотных мостов, представлявших собой преобладающий тип разводных мостов в XIX в., более скромное, но все же заметное применение нашла себе в этот период система *откатная*.

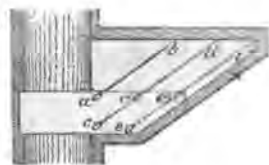


Фиг. 34.

Усовершенствования этой системы, помимо замены деревянных простейших пролетных строений более современными металлическими, заключались, главным образом, в различных приспособлениях, так или иначе разрешавших вопрос о сопряжении полотна подвижной и неподвижной частей моста. Первоначально это сопряжение делалось или посредством специальных откидных полотен (фиг. 34), или приданием полотну неподвижной части соответствующего уклона (фиг. 35). Такое устройство представляло известные неудобства, в особенности для ж.-д. движения.



Фиг. 35.



Фиг. 36.

Стремление конструкторов избавиться от указанного недостатка привело к созданию двух новых разновидностей откатных мостов: 1) с продольно-поперечной передвижкой и 2) с предварительным подъемом или опусканием одного из концов пролетного строения.

К мостам первой группы относятся мосты, построенные в 50-х годах XIX в. на ж. д. Роттердам—Амстердам (фиг. 36), в которых движение пролетного строения совершалось под углом к оси моста.

В других мостах той же группы, кроме продольно перемещающейся части А, устраивалась часть В, имевшая возможность передвигаться по рельсам в поперечном

направлении (фиг. 37). Сначала надо было отодвинуть часть *B*, затем на освободившееся место—часть *A*. Примерами мостов такого типа являются мосты в Кобленце на Plaffendorfer Thor, в Jersey, разводная часть Волховского моста на Октябрьской ж. Д. (существующая до сего времени) и др.

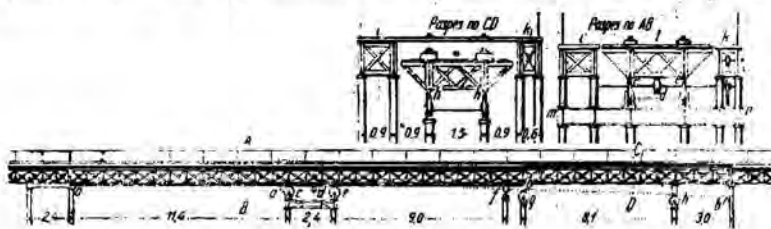
Вертикальное перемещение пролетного строения откатных мостов второй группы осуществлялось или механическим путем, при помощи эксцентриков, или посредством гидравлических прессов.

Примером откатного моста с опусканием пролетного строения эксцентриками является Кэнтский виадук в Англии (фиг. 38). Разводная часть, перекрывающая пролет в 11,58 м, опирается одним своим концом на эксцентрики. Будучи предварительно немного опущена движением эксцентрика, она приводится в поступательное движение шестерней *c*, зацепляющей за зубчатую рейку на пролетном строении. Ролики *d* и *e*, расположенные по слегка наклонной плоскости, поддерживают откатывающуюся часть во время ее движения. Пролетное строение разводной части состоит из двух ферм, расставленных на 1,5 м. Соседний неподвижный пролет имеет 4 фермы с расстоянием между внутренними фермами в 3,3 м, что дает возможность разводной части поместиться между фермами неподвижного пролета.

Гидравлический пресс впервые был применен к откатным мостам англичанином Вупел'ем в 1852 г. в Тоуэйском мосту. Разводная часть этого моста состояла из двух пролетов, по 18 м каждый. Конец пролетного строения, противоположный берегу, был сделан более тяжелым. Этот конец можно было опускать, чем достигался небольшой поворот пролетного строения на промежуточном быке. Конец разводной части, ближайший к берегу, немного приподымался над полотном устоя, и откатывание делалось возможным.

Эта система была улучшена Армстронгом (мосты в Сэндерленде, в Milhwall'ском доке в Лондоне, в Каттендикском доке в Антверпене и др.).

Мост системы Армстронга в Каттендикском доке изображен на фиг. 39. Мост имеет пролет в 27,5 м. Предназначен под железную дорогу и экипажную езду (в одном



Фиг. 38.

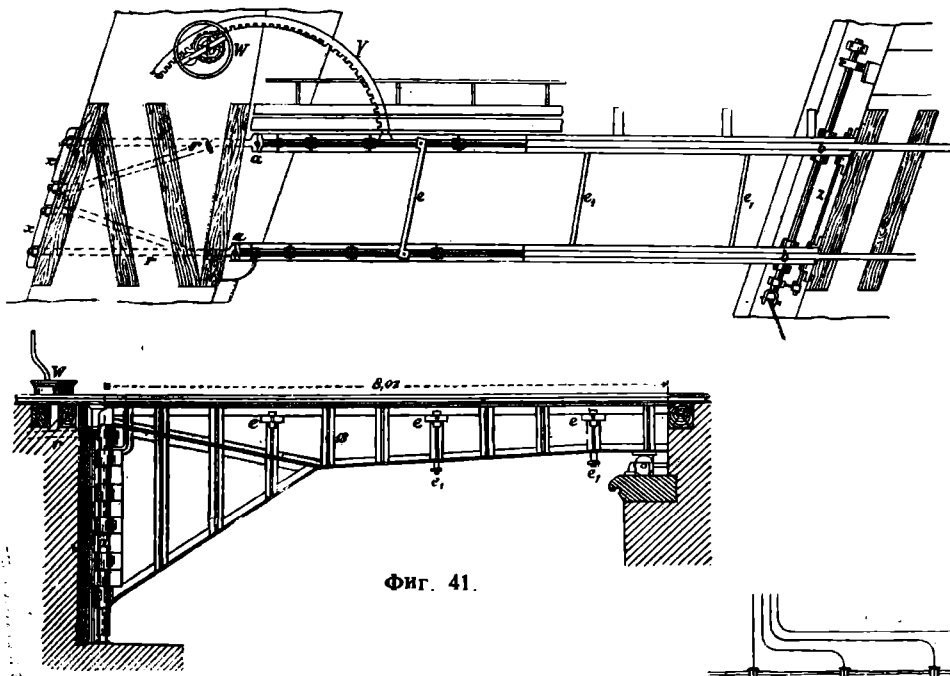
уровне). Общая длина пролетного строения 48,36 м. Вес 370 т. Одной из опор ферм служит ролик, сидящий на поршне гидравлического пресса. Центр тяжести пролетного строения находится справа (по чертежу) от средней опоры. Левый конец снабжен рогообразным выступом. Движение поршня гидравлического пресса заставляет сначала подыматься левый конец пролетного строения, а затем, после того как рогообразный выступ упрется в особый ролик,—правый конец. В результате пролетное строение оказывается приподнятым над прилегающей частью набережной и может быть передвинуто в горизонтальной плоскости по каткам. Поступательное движение пролетного строения осуществляется горизонтально расположенными гидравлическими цилиндрами.

Отметим еще одну систему откатных мостов, относящуюся по времени к концу XIX в. Мы имеем в виду мост через р. Деэ около Victoria в Англии, построенный в 1897 г.

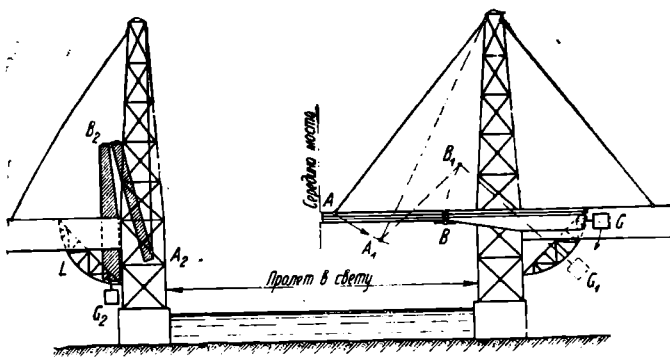
Разводная часть этого моста (фиг. 40) состоит из 2 полотен, откатывающихся в пространство между фермами соседних неподвижных пролетов. Чтобы сделать такое откатывание возможным, проезжая часть разводного пролета поддерживается рядом

странению откатных мостов. Мосты-краны и складные мосты были также неудобны. И, как уже говорилось, первое место занимали в XIX в. мосты поворотные.

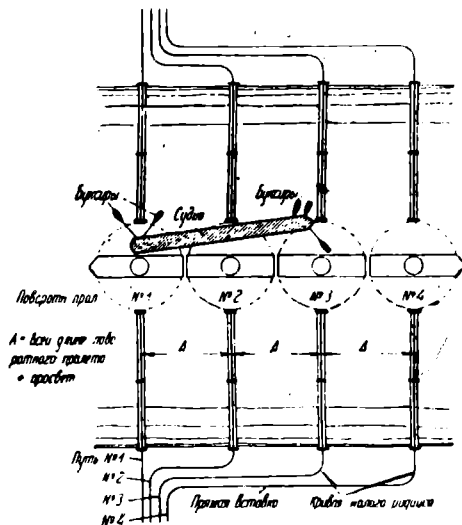
Однако, и эта система, казалось бы, весьма простая и удобная, практически себя оправдавшая, была не лишена крупных недостатков. Недостатки заключались в тех неудобствах, которые встречали суда, проходившие открытый поворотный мост. Пролетное строение такого моста представляло собой довольно длинную вытянутую вдоль движения судна часть, о которую легко могло удариться судно, в особенности при ветре и течении. Проход судна отнимал довольно много времени. Происходили аварии, что неоднократно случалось, между прочим, на р. Чикаго¹.



Фиг. 41.



Фиг. 42.



Фиг. 43.

Поворотные разводные пролеты приходилось в большинстве случаев располагать у берега, т. е. не на фарватере, т. к. постановка толстого быка и поворотного пролета посередине реки плохо вязалась с общей компоновкой моста.

Наконец, серьезные препятствия встречались при необходимости уложить впоследствии добавочные пути (фиг. 43).

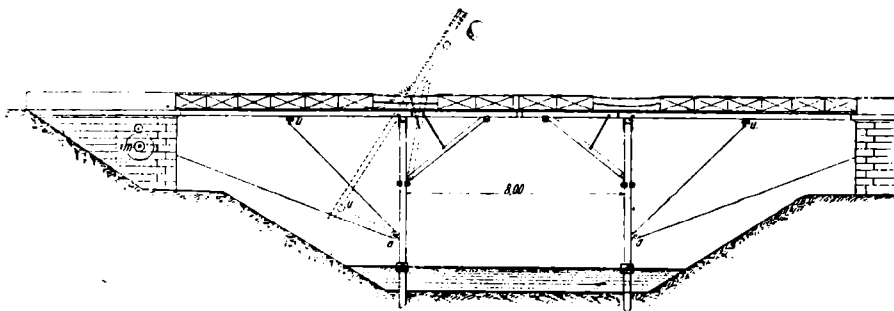
Между тем, промышленная и торговая жизнь многих стран, в особенности Америки, к концу XIX и в начале XX вв. достигла большого развития. Увеличившаяся в связи с этим интенсивность движения, как по сухопутным, так и по водным путям сообще-

¹ „The Engineer“, 1913, т. 116.

ния, рост нагрузок, потребность в перекрытии все больших и больших пролетов— все это поставило перед строителями разводных мостов новые серьезные задачи.

Чтобы дать представление о том, в каких условиях протекает эксплуатация разводных мостов в новейшее время, приводим несколько примеров из американской практики.

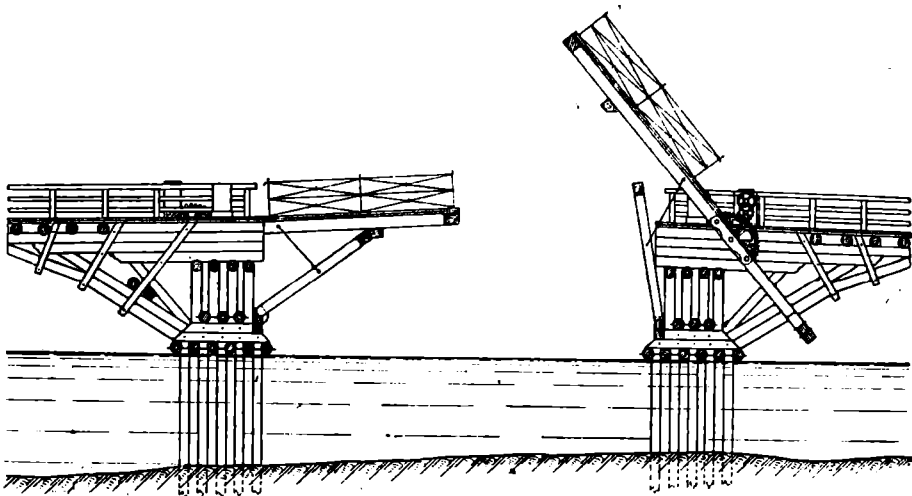
Мост на Пенсильванской ж. д. через южный рукав р. Чикаго в г. Чикаго под 2 пути, пролетом 83,5 м. Пропускает в сутки до 300 поездов по обоим путям и в наиболее деятельный месяц судоходства открывается до 75 раз в сутки¹.



Фиг. 44.

Мост через Newton Creek в Нью-Йорке разводится в среднем 72 раза в сутки, мост на Halsted Avenue в Чикаго—до 100 раз и т. д.

Поворотные и откатные мосты оказались слишком медленно действующими, чтобы справиться с подобными обязанностями, и им на смену в XX в. приходят мосты *раскрывающиеся и вертикально-подъемные*.



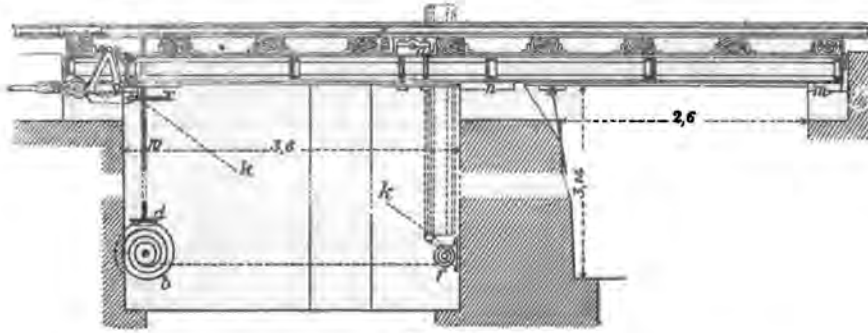
Фиг. 45.

Мы уже указывали, что раскрывающиеся разводные мосты, т. е. такие, в которые пролетное строение вращается вокруг горизонтальной оси, были известны в примитивной форме с давних времен. К концу XVIII и в начале XIX вв. уже существовали улучшенные уравновешенные системы раскрывающихся мостов, в том числе и система с хвостовой частью. Однако в последующие годы увлечения мостами поворотными раскрывающиеся системы были почти забыты и строились в счень небольшом количестве.

Наибольшее применение нашла себе раскрывающаяся система в течение рассматриваемого периода, пожалуй, в области небольших деревянных разводных мостов. Фиг. 44 и 45 дают представление о типах таких сооружений; фиг. 45 относится к Строганову мосту в старом Петербурге. Разводные пролеты по фиг. 45 существуют на деревянных ленинградских мостах и в наши дни.

¹ Waddell, Bridge Engineering, 1916, т I, стр. 734.

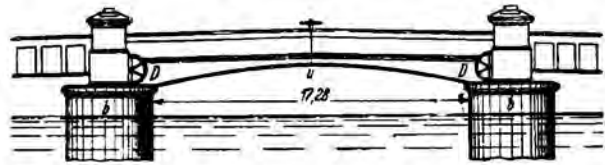
Первым металлическим раскрывающимся мостом, о котором имеются указания, является мост на ж. д. North—Eastern в Selby (Англия), построенный в 1839 г. Разводной пролет этого моста имел в свету 13,7 м и представлял собой в закрытом состоянии чугунные арки.



Фиг. 46.

Первые раскрывающиеся мосты из железа строятся по образцу деревянных, как этом можно судить хотя бы по мосту в крепости Кельн (1859 г., фиг. 46). Сравнение фиг. 46 и 44 обнаруживает большое сходство между ними: в общей компоновке, в способе приведения в движение и т. д. Заметим, что длина хвостовой части в рассматриваемом примере превышает длину крыла.

В раскрывающихся мостах, построенных в последующие годы, замечается приближение к современным формам; длина хвостовой части по отношению к длине крыла уменьшается; применяются двукрылые системы. Из раскрывающихся мостов XIX в. главнейшие: мост Кнiрпелсброо в Копенгагене (1869 г., фиг. 47) пролетом 17,28 м, мост Фулленорд в Роттердаме (1878 г., фиг. 48) пролетом 23 м, мост Нöниг в Кенигсберге (1880 г., фиг. 49) пролетом 10 м, Нohe-

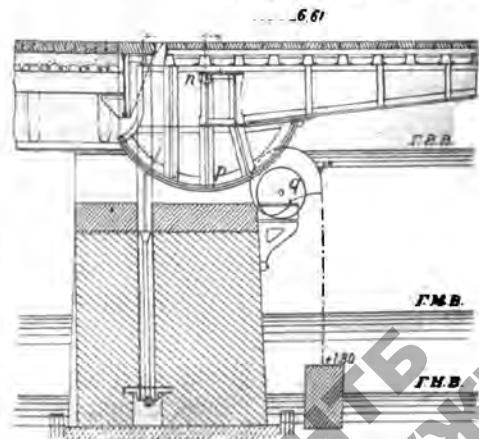


Фиг. 47.



Фиг. 48.

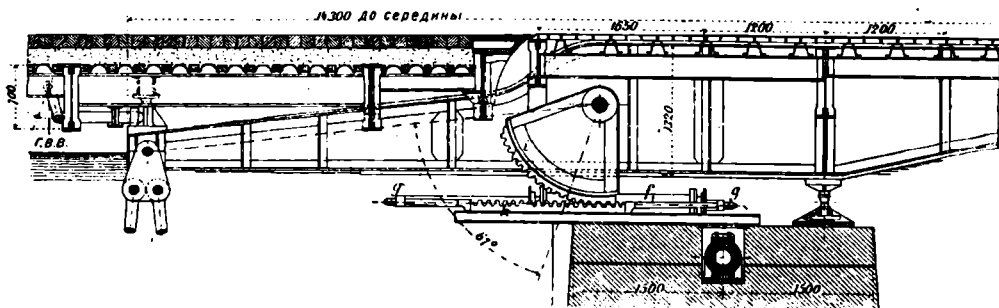
brücke в Кенигсберге пролетом 14,7 м (фиг. 50). Все указанные мосты имеют пролетные строения с неподвижной осью вращения и с жестким креплением противовеса. Особое место среди них занимает небольшой мост Langebroo в Копенгагене (фиг. 51). В нем противовес подвешен к хвостовой части на цепях, т. е. шарнирно. Это выгодное в отношении объема противовеса устройство использовано впоследствии, несколько иной форме, фирмой Штрауса в мостах ее системы.



Фиг. 49.

Новая эра в области раскрывающихся мостов начинается с постройки в 1894 г. Тоуэрского моста в Лондоне (фиг. 52), имеющего разводной пролет в 60,9 м в свету. Почти одновременно фирмой Шерцера осуществлен мост пролетом 33,25 м откатно-раскрывающейся системы через р. Чикаго на Van Buren Street в г. Чикаго (фиг. 53). Прототипом последней системы является уже упоминавшийся мост Lamblardie в Гавре (1824 г., фиг. 15).

Начало XX в. знаменует собой постепенный отказ от поворотных мостов и решительный переход на раскрывающиеся системы, которые продолжают эволюционировать. В Америке появляются системы с шарнирным прикреплением противовеса (Штрауса), позволяющие ограничиваться меньшей длиной хвостовой части или меньшим

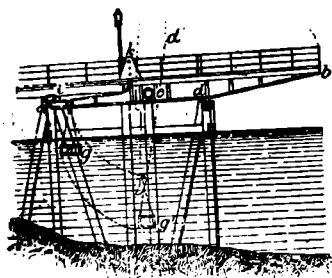


Фиг. 50.

весом баласта (фиг. 254, 255). Та же система, переходя в Европу, получает там новые детали, снимающие часть веса противовеса с пролетного строения в закрытой его состоянии, чем достигается разгрузка оси вращения и становится возможным применение арочных ферм (новый мост Knipelsbroo в Копенгагене, Республиканским мост в Ленинграде). Появляются, также впервые в Америке, новые формы коромысловых мостов, с передачей давления на 2 оси вращения (фиг. 54). К этой системе, между прочим, относится наибольший по пролету раскрывающийся мост—через канал в Sault St. Marie на ж. д. Canadian—Pacific (фиг. 55, 56, пролет 102,4 м).

Коромысловые мосты простейшего типа в современном оформлении тоже находят себе применение (например мост в Шапну фиг. 299). Вносятся некоторые важные изменения в их схемы (мосты Броуна, фиг. 301).

Встречаются отдельные попытки возродить системы французских инженеров XVIII в., например: мост через р. Sakonet River между Портсмутом и Тивертоном по системе Делиля, 1905 г. (фиг. 57), мост через Conyisland—Creek по системе Белидора).



Фиг. 51.

Предлагаются новые типы раскрывающихся мостов с гибкой связью между пролетным строением и противовесами (системы Броуна).

Группа откатно-раскрывающихся мостов обогащается системой с ограниченным откатыванием (Ралля или Штробеля, фиг. 359).

Отметим еще появившуюся в 90-х годах систему Шинке (фиг. 58) и систему Page'a, которые могут быть названы системами с реактивным уравниванием.

В самые последние годы фирмой American Bridge Co осуществлены мосты по типу, показанному на фиг. 59, 60. Противовес может вращаться вокруг оси O , пролетное

строение—вокруг O_1 . Два стержня соединяют противовес и пролетное строение с кареткой, которая движется по зубчатой рейке, направленной по биссектрисе угла между соединительными стержнями. Моторы помещены на каретке. Система представляет некоторые удобства при сборке моста в открытом положении. Противовес при этом подвешен к точке O и легко может быть изготовлен.

8. Одновременно с переходом от поворотных мостов к раскрывающимся начинается строительство крупных вертикально-подъемных мостов, т. е. таких, в которых пролетное строение перемещается поступательно в вертикальной плоскости. Система эта не является новой. Так, например, один из пролетов старого деревянного моста

через Дунай в Вене был подъемным. Высота подъема равнялась 1,98 м, а величина подъемного пролета была 9 м. По всей вероятности существовали и другие вертикально-подъемные мосты простейшей конструкции с небольшой высотой подъема.

В 1850 г. капитаном W. Moorson'ом был составлен проект вертикально-подъемного моста через Рейн в Кельне. Разводная часть по этому проекту имела длину



Фиг. 52.

30,5 м, ширину 15,2 м и высоту подъема—16,46 м. Проект Moorson'а представляет собой, повидимому, первую попытку предложить вертикально-подъемную систему для солидного сооружения. Он остался неосуществленным.

Затем в 1867 г. Рорег выдвинул ту же систему с подъемом лишь проезжей части для одного из мостов в Гамбурге при пролете разводной части в 91,4 м и высоте подъема, допускающей проход океанских судов. Проект Рорег'а постигла та же участь, что и проект Moorson'а.

В 70-х годах XIX в. появилось еще несколько проектов вертикально-подъемных мостов: Laing'a, Matthysens'a и др.

В 50-х годах прошлого столетия в Англии построен вертикально-подъемный мост через канал Surrey на ж. д. Лондон—Брайтон, по проекту J. Hood (фиг. 61).



Фиг. 53.

Фермы этого моста были чугунными. Пролетное строение 4-мя железными цепями соединялось с противовесами. Подъем совершался посредством шкива с перекинутым че-



Фиг. 54.

рез него канатом. С одного берега на другой был протянут по балке, достаточно высоко поднятой, вал для передачи движущей силы на другой конец пролетного строения. Мост имел пролет в свету 6,85 м и высоту подъема около 3,0 м.

ДНУЖТ

Приблизительно в то же время построен путепровод под ж. д. East Lancashire—Wellington Dock через улицу (фиг. 62), пролетное строение которого подымалось лишь для пропуска высоких повозок (выше 3,66 м). Пролет подъемной части—15,2 м.

Первым вертикально-подъемным мостом, осуществленным в Америке, считают мост через канал Эри в Utica (штат Нью-Йорк, фиг. 63). Строитель моста—известный американский инженер Whipple. Как видно из фиг. 63, в этом мосту подъемной сделана проезжая часть. Мост задуман в 1872 г., закончен в 1874 г.

Вскоре после окончания моста в Utica построен такого же типа мост Chitroce в Калькутте пролетом 35 м.



Фиг. 55.

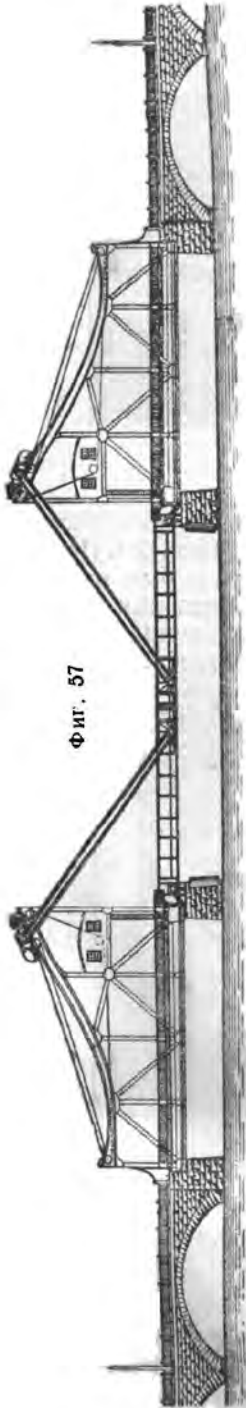
Незадолго до постройки Whipple'ем моста через канал Эри, в Европе в 1868 г. был построен мост через канал de l'Ou и с q на скотном рынке Villette (фиг. 64). Пролет в 20,3 м перекрыт металлическим пролетным строением, которое может быть поднято на 4 цепях. Цепи перекинута через шкивы, расположенные на специальных балках, поддерживаемых каменными арками и пилонами. К цепям подвешены противовесы. Для подъема пролетного строения (его вес 20 т) на высоту 7,03 м требуется 2 мин



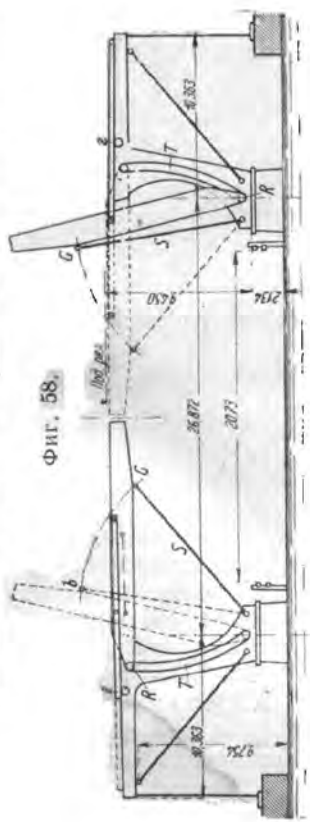
Фиг. 56

Около 1873 г. построен похожий по идее на только-что описанный ж.-д. мост через Рейн—Марнский канал у Salinen de Rosières (фиг. 65). В этом мосту пролетное строение длиной 14,4 м подымается на 8 цепях. Шкивы, через которые проходят подъемные цепи, находятся на металлических балках, опирающихся на стойки. Эти же балки служат для пропуска пешеходного движения во время открытого состояния моста.

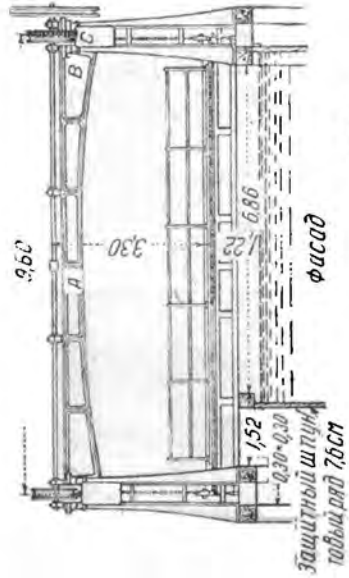
Из других вертикально-подъемных мостов второй половины XIX в. заслуживает быть отмеченным мост в гавани Alt-Ofen через рукав Дуная (Будапешт), построенный около 1885 г. (фиг. 66). Разводная часть Alt-Ofen'ского моста имеет пролет в свету равный 20,98 м. Высота подъема 4 м. Вес пролетного строения 45 т. В этом сооружении многие детали напоминают современные вертикально-подъемные мосты: шкивы поддерживаются металлическими башнями; для приведения пролетного стро-



Фиг. 57



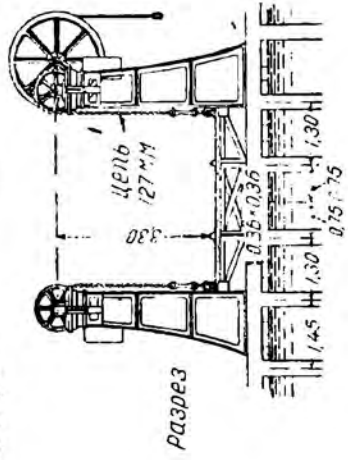
Фиг. 58



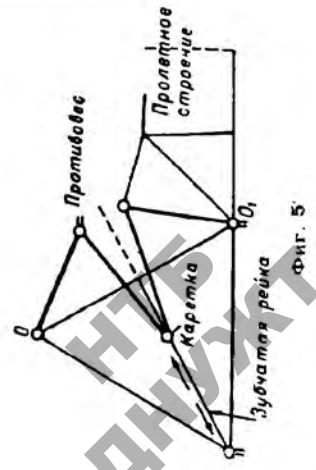
Фисад
защитный шпунт
товы ряд 70 см



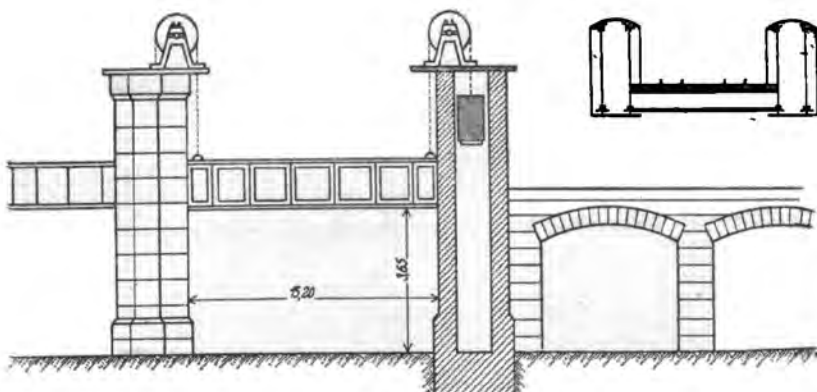
Фиг. 60



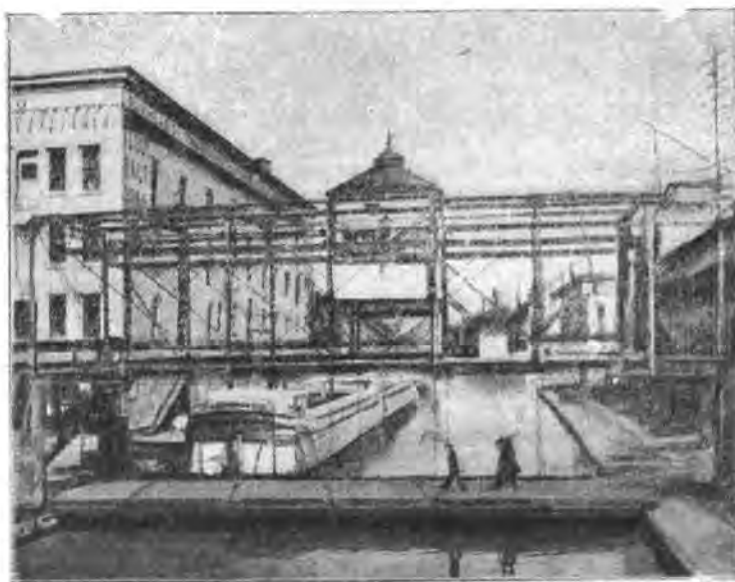
Разрез
ЦЕНЬ
Фиг. 61



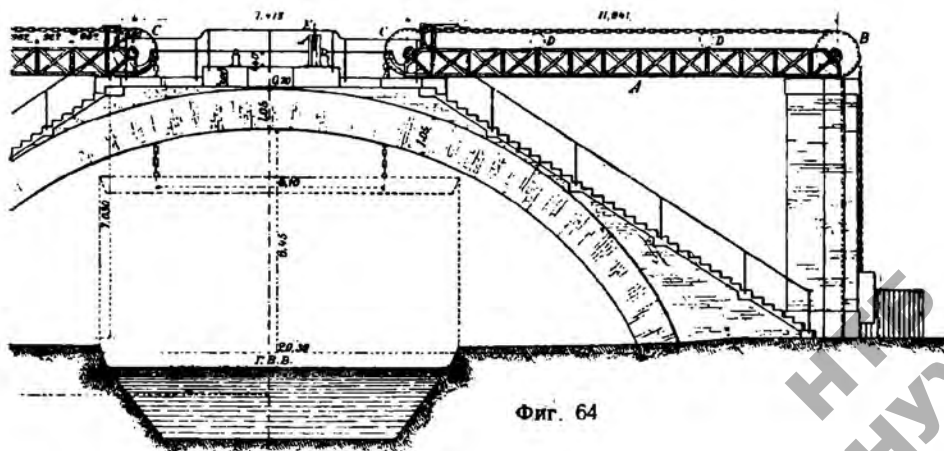
Фиг. 5



Фиг. 62.

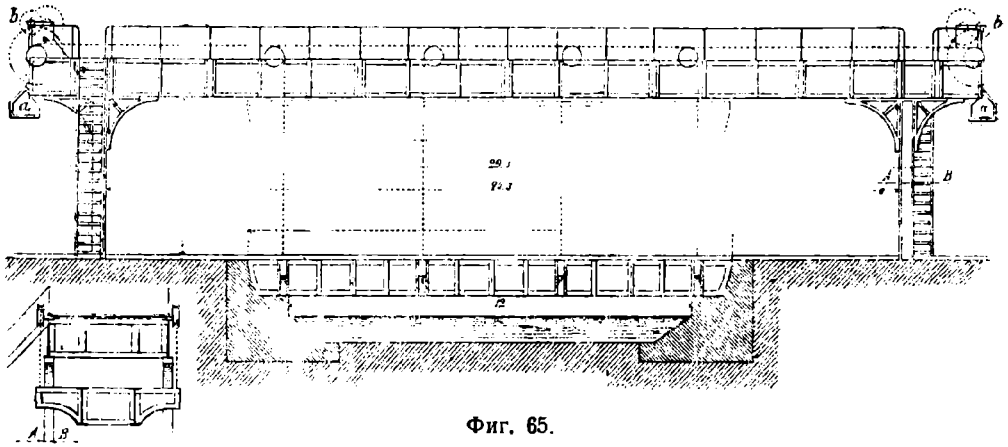


Фиг. 63.



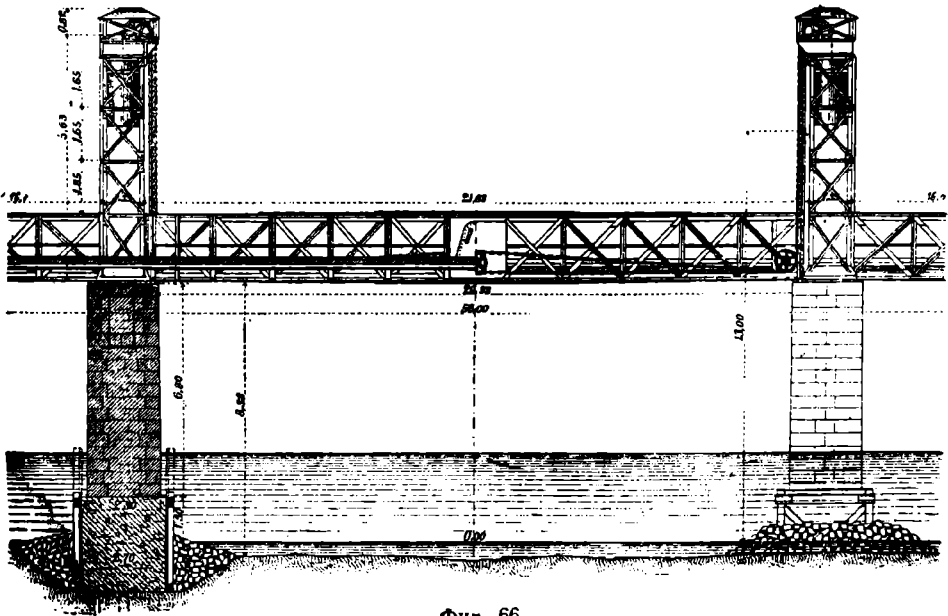
Фиг. 64

ения в движение назначены самостоятельные цепи, обособленные от цепей, на которых висят противовесы; способ приведения в движение—система цепей, из которых часть закреплена на верху башен, часть внизу—совершенно такой же, какой принят в позднейших мостах Waddell'я. Существенное отличие моста в Alt-Ofen от мостов новейшего времени—применение цепей, а не стальных кабелей.



Фиг. 65.

В 1886 г. построен вертикально-подъемный мост через канал la Villette на Rue de la Grève в Париже, пролетом 20 м (фиг. 67 и 68). К особенностям этого моста относится то, что противовесы спрятаны, по эстетическим соображениям, в особые каменные колодцы, и что подъем пролетного строения совершается двумя гидравлическими прессами, расположенными в устоях и действующими снизу вверх. Подъем на высоту 4,6 м требует 50—80 сек.

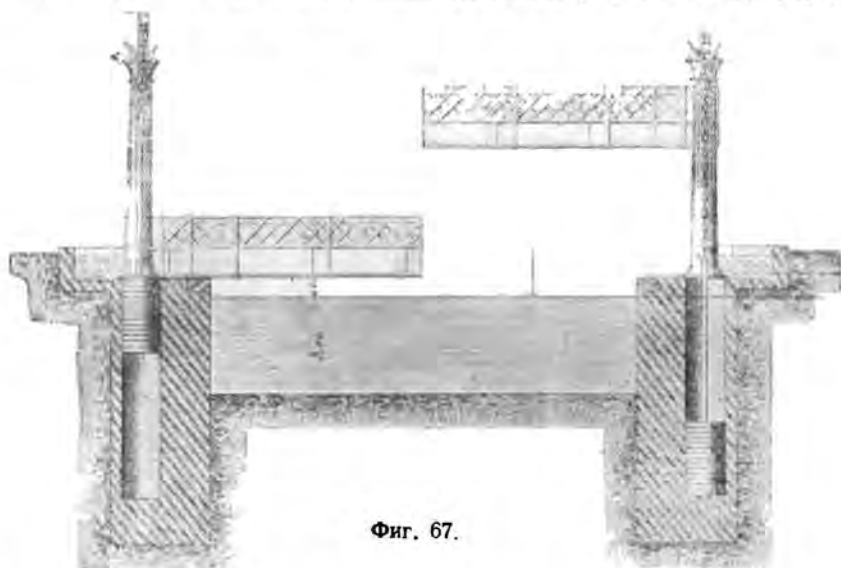


Фиг. 66.

Все вышеназванные вертикально-подъемные мосты—с гибкой связью в виде цепей, канатов между пролетным строением и противовесами. В 1890 г. на шоссе на дороге Dijon—Corteilles через Бургонский канал построен подъемный мост (pont de Larrey), в котором уравновешивание движущейся части выполнено по иному принципу.

Пролетное строение этого моста, длиною 22,2 м, шириной 6,10 м, опирается в четырех точках на поршни гидравлических домкратов. Домкраты соединены с цилиндром, в котором создается напор воды, для каковой цели служит чугунный баласт и

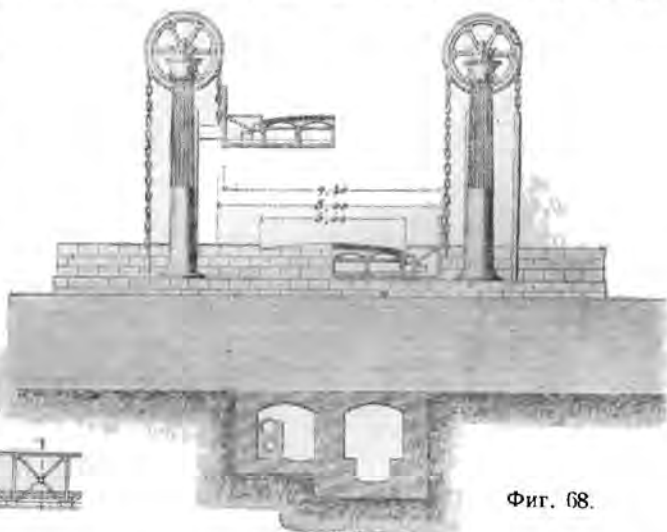
аполняемый водой резервуар; и то, и другое укреплено на штоке, заканчивающемся оршнем цилиндра. В закрытом состоянии моста резервуар не наполнен. Вес воды,



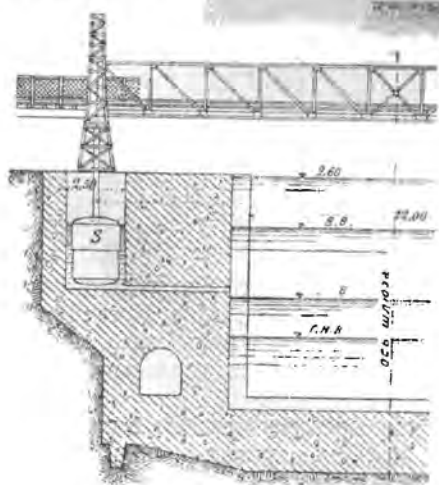
Фиг. 67.

налитой в резервуар (около 1 т), оказывается достаточным, чтобы поднять пролетное строение на высоту 2,4 м в течение 5 сек. Имеется приспособление, при помощи которого чугунный баласт можно подвесить (в закрытом состоянии моста) к специальным балкам.

Тот же принцип 'уравновешивания и подъема пролетного строения положен в основу конструкции подъемной части моста в гавани Угбон в Берлине (пролет 22 м, ширина полотна 14,6 м, высота подъема 2,5 м, подымается часть длиной 9,0 м). построен-



Фиг. 68.



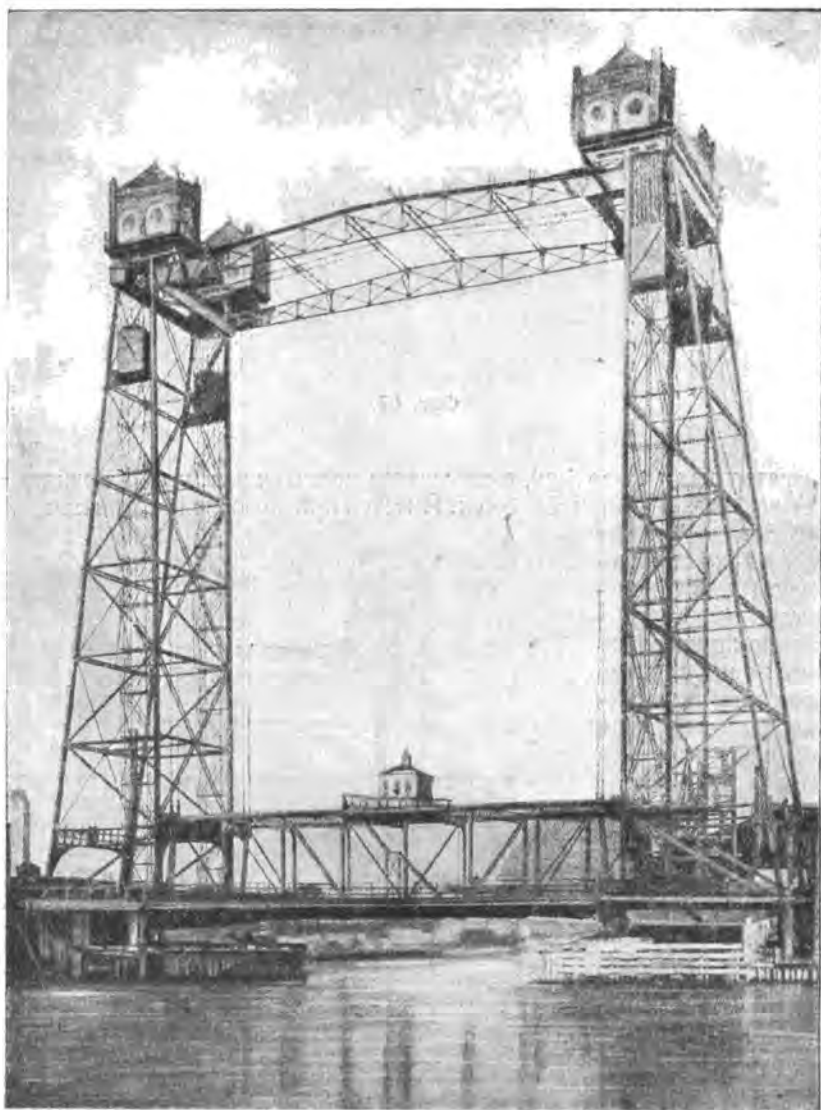
Фиг. 69.

Первым вертикально-подъемным мостом современного типа с значительной высотой подъема был построенный в 1892—1894 гг. американским инженером Wad-

ного в 1895 г., и двух мостов в Любеке через канал Elbe—Trave (1900 г., пролет 42,24 м, высота подъема около 4,0 м).

Совсем особое положение среди вертикально-подъемных мостов занимает мост через камеру шлюза в Lauenburge на Эльбе (фиг. 69. 1900 г.). Пролетное строение соединено с металлическими поплавуками, которые всплывают во время высокой воды. Подъем пролетного строения при низком уровне воды не требуется. Опускание моста осуществляется четырьмя грузами по 0,5 т каждый, перемещаемыми при помощи винтовых домкратов.

dell'ом, мост через Halsted Street в г. Чикаго (фиг. 70). Спорушение этого моста положило начало широкому применению вертикально-подъемных мостов в Америке, где их строительством занимается фирма Waddell and Harington. К 1916 г. насчитывается уже 33 моста, построенных фирмой Waddell. Среди них: двухрусный мост через р. Wilamette в Portland'e (фиг. 71), в котором подымается пожеланию или только проезжая часть или все пролетное строение целиком; мост через р. Миссури в Канзасе



Фиг. 70.

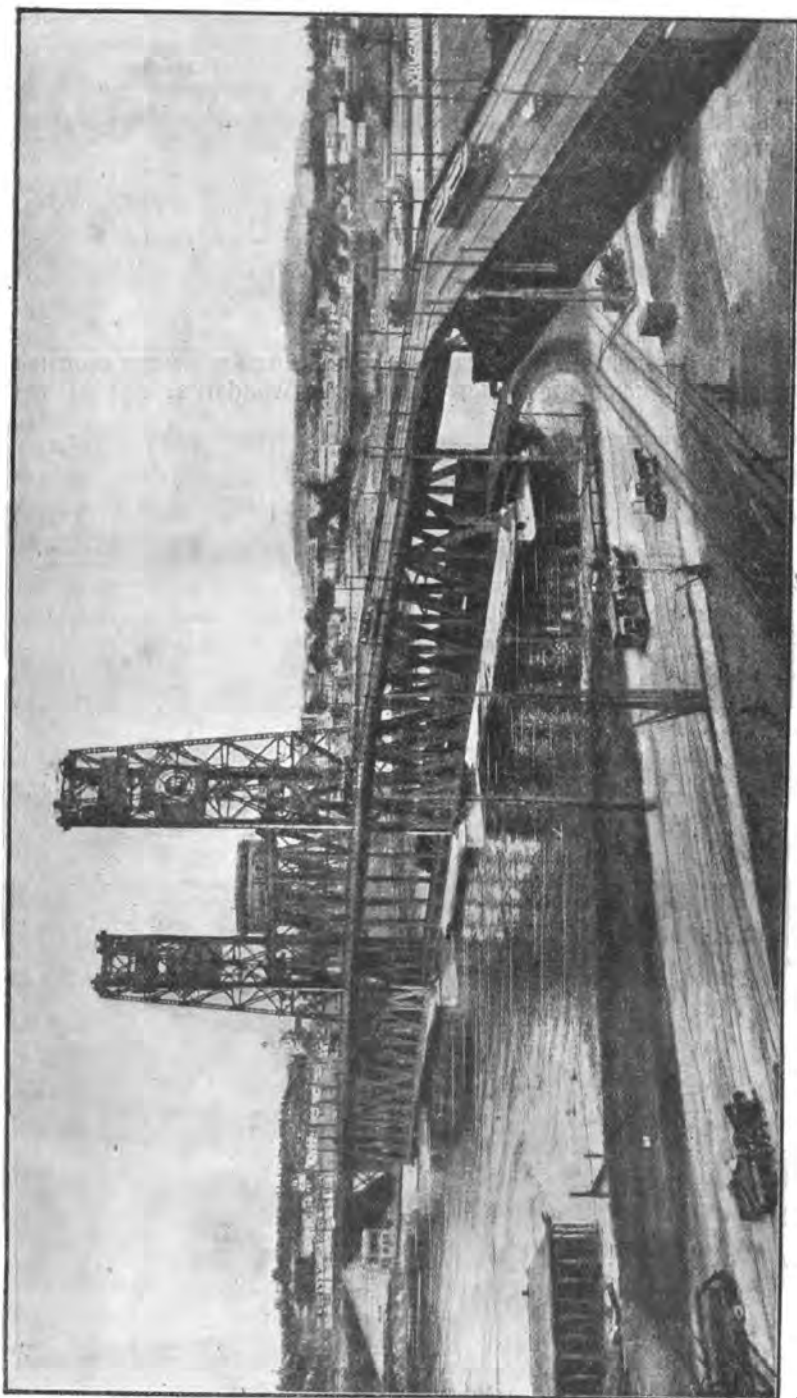
(фиг. 72, 73), имеющий разводной пролет, равный 129,5 м, с подъемом только проезжей части; оригинальный мост на ж. д. Canadian Northern Pacific через р. North Thompson (фиг. 74), в котором любой из 27-метровых пролетов может быть сделан подъемным, ж.-д. мост через р. Дон у Ростова (фиг. 75, фирмой Wadell изготовлены и собраны только механизмы) и др.

Наибольшие осуществленные пролеты подъемных мостов в настоящее время превышают 150 м. Так, например, городской мост через Делавар между Bristol и Burlington имеет пролет разводной части равный 162,7 м при высоте подъема 22,6 м. Вес подъемной части этого моста 1 120 т.

Американский тип вертикально-подъемных мостов переходит затем и в Европу. Построен мост этого типа в Роттердаме с разводным пролетом в 53,52 м и высотой,

подъема в 41 м, мост в Ростове, уже упоминавшийся. Нередко встречаются предложения вертикально-подъемной системы в современных конкурсных проектах.

Вертикально-подъемная система дает прекрасное решение в тех случаях, когда требуется перекрыть большой пролет для пропуска тяжелой железнодорожной на-



Фиг. 71.

грузки, т. к. в закрытом состоянии моста фермы разводной части представляют собой обычные балочные фермы, что позволяет придавать им жесткость не меньшую чем в мостах постоянных. В то же время разводной пролет не загромождается толстым быком, как в мостах поворотных, а это имеет существенное значение для интересов судоходства.

Можно думать, что мостам-лифтам в подходящих случаях принадлежит большая будущность. В последнее время замечается работа над устранением недостатков вертикально-подъемных мостов, например в направлении понижения сопротивления движению, улучшаются конструктивные детали.



Фиг. 72.

Кроме вертикально-подъемных мостов с гибкой связью между противовесами и пролетным строением, каковой является система Waddell'a, лет 20 тому назад



Фиг. 73.

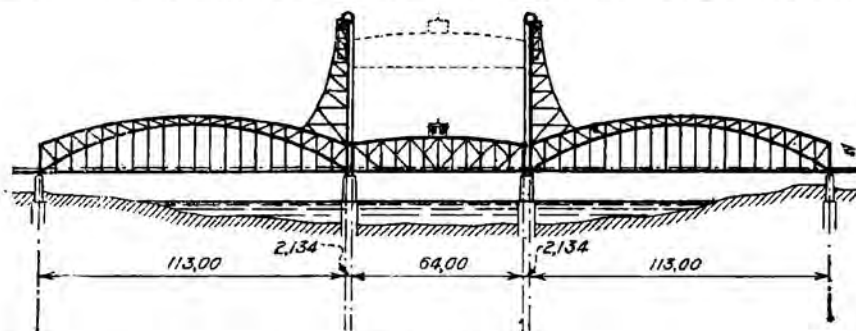
предложены и осуществлены системы с стержневой связью—Шграуса (фиг. 432) и Ралля (фиг. 433).



Фиг. 74.

9. В то время как в Америке и в Зап. Европе в конце XIX в. совершенно отчетливо были осознаны преимущества раскрывающейся и вертикально-подъемной систем перед поворотной, в России в некоторых инженерных кругах продолжали еще держаться за поворотные мосты. Так, в технических условиях объявленного в 1902 г.

конкурса на составление проекта Охтенского моста через р. Неву в б. Петербурге был пункт, по которому требовалось устройство разводной части у берега *обязательно* поворотной системы. Надо заметить, что по условиям судоходства по р. Неве, допускающей плавание морских судов с большой осадкой на всем своем протяжении (за исключением одного места—порогов, где возможно шлюзование), ошибочно было строить мосты с поворотными разводными частями. В частности, мост лейтенанта Шмидта (б. Николаевский) является воротами, запирающими вход в Неву. Эти ошибки



Фиг. 75.

простительны строителям б. Николаевского и Литейного мостов, если вспомнить состояние техники в то время. Но требование в XX в. устройства на р. Неве *обязательно* поворотной разводной части едва ли может быть оправдано. К счастью, несмотря на столь категорические условия, проф. Кривошеинным был представлен вне конкурса, под девизом «Свобода судоходству», проект моста с разводной частью посредине реки раскрывающейся системы, который и осуществлен в 1908—1911 гг. (фиг. 76).



Фиг. 76.

Следующие по времени мосты через р. Неву были построены также с раскрывающимися разводными пролетами. Это были: Финляндский ж.-д. мост (1911 г.) с разводной частью системы Ралля, пролетом в свету 42,7 м и Республиканский (б. Дворцовый) городской мост (1917 г., фиг. 262), в котором применена система Штрауса (с шарнирным прикреплением противовесов). Кроме того построен мост системы Шерцера через Екатерингофку, в Ленинграде.

В Риге через Западную Двину в 1908 г. построен мост с разводной частью системы Шерцера с ездой понизу пролетом 29,5 м.

Чтобы покончить с разводными мостами, построенными у нас в XX в., остается назвать мост через р. Дон, б. Троицкий мост в Ленинграде, мосты через р. Бузан и Болду. О всех этих мостах уже говорилось ранее.

10. Из всех многочисленных систем разводных мостов, предлагавшихся и строившихся в разное время, лишь некоторые системы получили широкое распространение. Другие или совсем не были осуществлены, или нашли применение в небольшом числе сооружений, или, наконец, применялись, но устарели.

Разводной мост представляет собой не только *сооружение*, предназначенное для передачи нагрузки от места приложения на опоры, но и *механизм*, и притом такой, в котором движутся иной раз массы в 1000 *t* и более. В этом причина многообразия форм и систем разводных мостов уже существующих. Искание новых форм продолжается непрерывно. Конструкторам в области разводных мостов даны богатые возможности, и перед ними открыты широкие пути. Игги по проторенной дорожке слепого подражания существующим образцам в этой области, быть может более чем в какой-либо иной, — недопустимо.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ПОВОРОТНЫЕ МОСТЫ

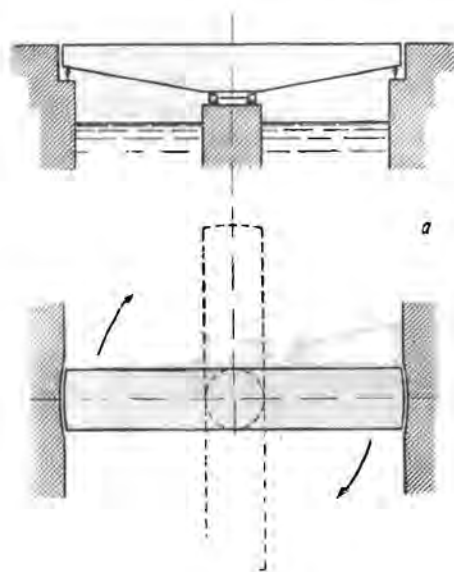
Глава I

КОНСТРУКЦИЯ ПОВОРОТНЫХ МОСТОВ

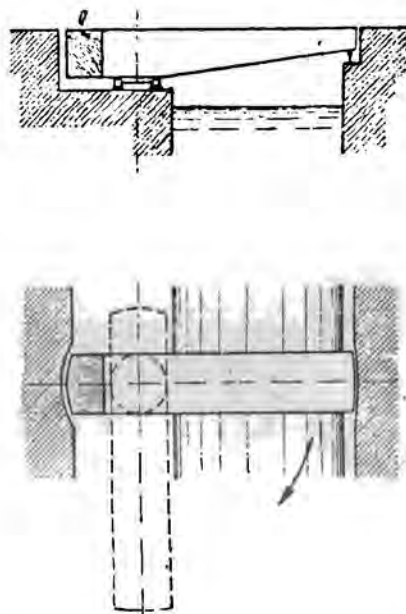
§ 1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

1. Поворотными мостами называются мосты, открывающиеся вращением пролетного строения вокруг вертикальной оси.

Для пропуска судов открываются или два отверстия (фиг. 77, 79) или только одно (фиг. 78). В первом случае поворотный мост называют двухрукавным—симметричным (фиг. 77) или несимметричным (фиг. 79), во втором — однорукавным.



Фиг. 77.



Фиг. 78.

Судоходное отверстие может быть перекрыто, когда это представляется удобным, и двумя поворотными пролетными строениями по схеме фиг. 80 или фиг. 81. Стык двух пролетов при схемах фиг. 80 и 81 делается под углом к оси моста для того, чтобы был возможен их поворот.

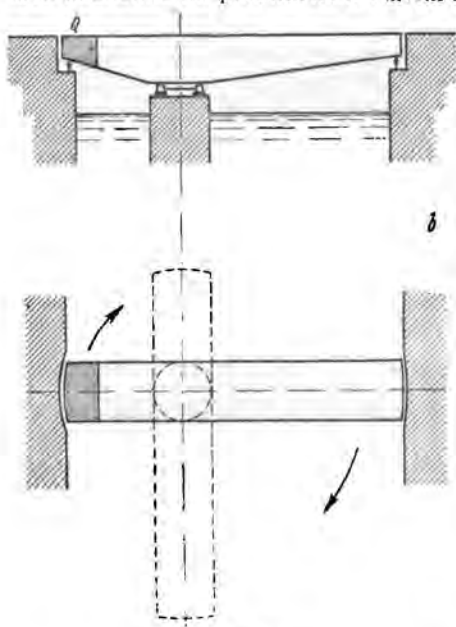
Для уравновешивания несимметричных систем применяются противовесы.

По способу опирания во время вращения поворотные мосты разделяются на две основные группы:

а) опирающиеся на ряд расположенных по окружности катков, принимающих нагрузку через особую часть, т. н. «центральный барабан»; этой системе поэтому присвоено название *поворотных мостов с центральным барабаном*;

б) опирающиеся в открытом состоянии на ось вращения—мосты с *центральной осью вращения*.

2. Небольшой мост первой группы изображен на фиг. 82. Пролетное строение в средней своей части опирается на клепаную конструкцию в форме барабана. Нижний пояс барабана снабжен *верхним кругом катания*—стальной отливкой, передающей давление на ряд катков. Катки могут перемещаться по *нижнему кругу катания*,



Фиг. 79

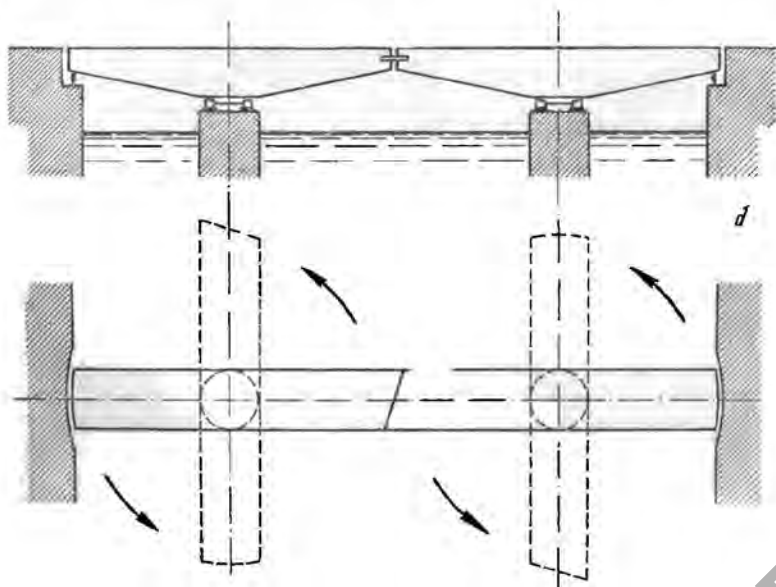
уложенному на быке или на устое. Все катки связаны наружной и внутренней обвязкой друг с другом и, кроме того, радиальными связями с кольцом, обхватывающим ось вращения. Последняя служит лишь для центрирования движения пролетного строения и никакой вертикальной нагрузки не несет.

В закрытом состоянии фермы этой системы опираются на четыре точки и являются неразрезными балками. Так как при открывании моста фермы, превращаясь в консольные, дадут прогиб и концы их опустятся, то для обратной постановки ферм на опоры необходимо снабдить последние особым механизмом. Этот механизм сначала, перед открыванием моста, опускает крайние опоры вниз, после чего можно начать вращение разводной части; при закрывании моста тем же механизмом производится подъемка, подклинивание опор.

Вращение моста производится *механизмами вращения* (см. § 6).

3. Мосты второй группы (с центральной осью вращения) подразделяются на несколько систем.

В системе *Шведлера* (фиг. 83) пролетное строение в закрытом состоянии имеет три опоры *A, B* и *C*. Ось *O* разгружена. Центр тяжести всего пролетного строения находится между осью *O* и поддерживающими колесами *L* и *L₁*, которые посажены с небольшим зазором между бандажом и рельсом и также разгружены в закрытом состоянии моста.



Фиг. 80.

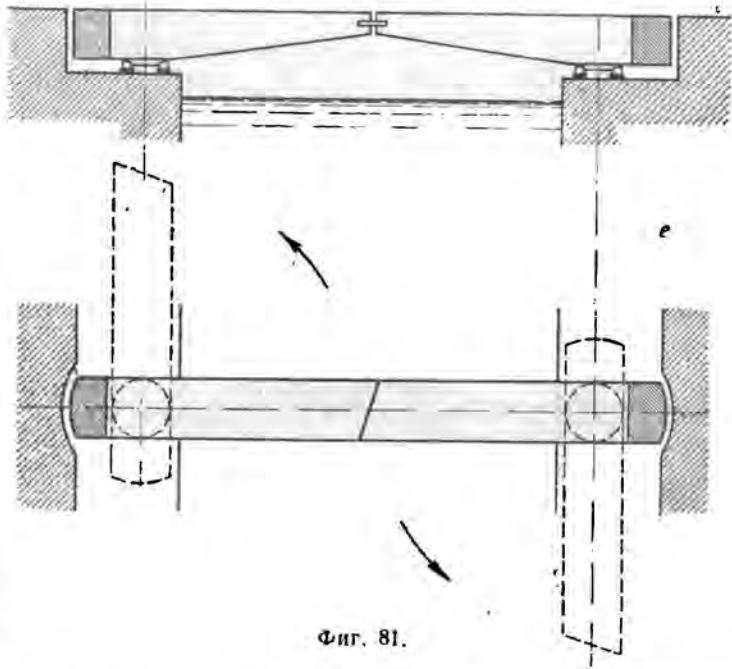
Опора *B* может быть опущена специальным механизмом. При этом все пролетное строение слегка вращается в вертикальной плоскости, сначала вокруг опоры *A*, затем вокруг оси *O*. В результате вращения опоры *A* и *C* разгружаются, ось *O* и под-

держивающие колеса L и L_1 нагружаются, причем главная часть нагрузки передается на ось вращения и лишь незначительная доля—на колеса.

В таком состоянии мост открывается вращением пролетного строения вокруг вертикальной оси. Закрывание моста совершается в обратной последовательности.

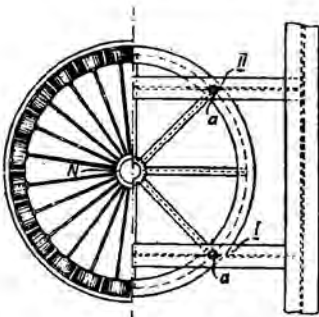
Характерной особенностью системы Шведлера является передача части давления на поддерживающие колеса и связанное с этим предварительное опрокидывание пролетного строения.

К системам с центральной пятой, кроме системы Шведлера, относятся поворотные мосты с передачей давления при открывании *полностью на ось вращения* (фиг. 84). Для сохранения равновесия применяются поперечно поддерживающие колеса; однако, эти колеса вступают в работу лишь при случайных перекосах движущейся части.

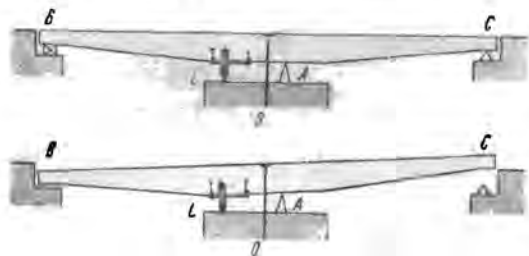


Фиг. 81.

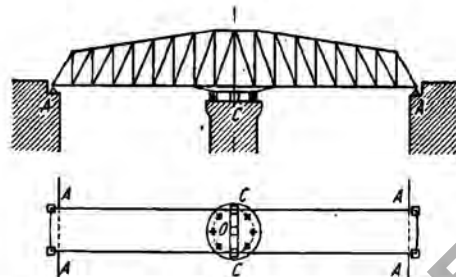
Подклинивающие механизмы в этой системе должны быть устроены на обоих концах ферм, в A . Кроме того, для разгрузки, в рабочем состоянии моста, оси вращения O нужны еще дополнительные подъемные механизмы в C .



Фиг. 82.



Фиг. 83.



Фиг. 84.

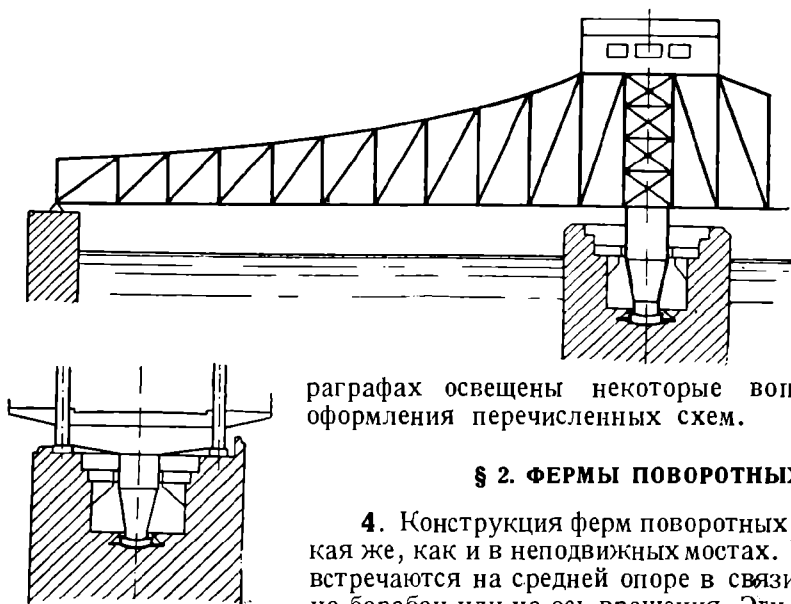
Снятие пролетного строения с опор может быть осуществлено и иным способом, а именно—небольшим вертикальным перемещением самой оси вращения, что выполняется обычно в подобного рода системах гидравлическим прессом, поршнем которого

является ось вращения (фиг. 85). Специальное кольцо на оси вращения обеспечивает устойчивость при повороте разводной части. В закрытом состоянии ось вращения разгружена, и фермы опираются на крайних и на средней опорах.

Аналогичное устройство (подъем оси вращения давлением жидкости) встречается в некоторых мостах системы Шведлера (мосты через Нордостзейский канал в Германии).

Существуют еще поворотные мосты смешанной системы с передачей давления частью на катки, частью на ось вращения. Подобная конструкция, как обладающая неопределенностью распределения давления, не может быть признана рациональной.

В следующих параграфах освещены некоторые вопросы оформления перечисленных схем.



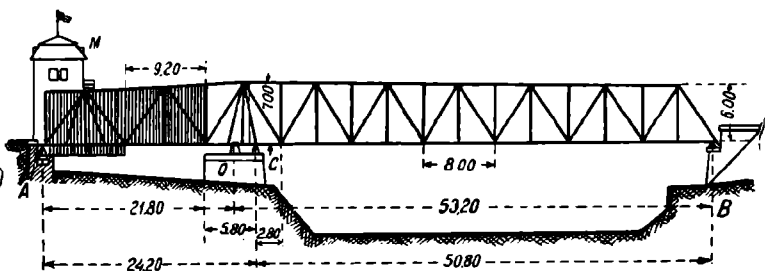
Фиг. 85.

§ 2. ФЕРМЫ ПОВОРОТНЫХ МОСТОВ

4. Конструкция ферм поворотных мостов в основном такая же, как и в неподвижных мостах. Некоторые особенности встречаются на средней опоре в связи с передачей давления на барабан или на ось вращения. Эти особенности, как зависящие от системы поворотной части, рассмотрены в дальнейшем особо.

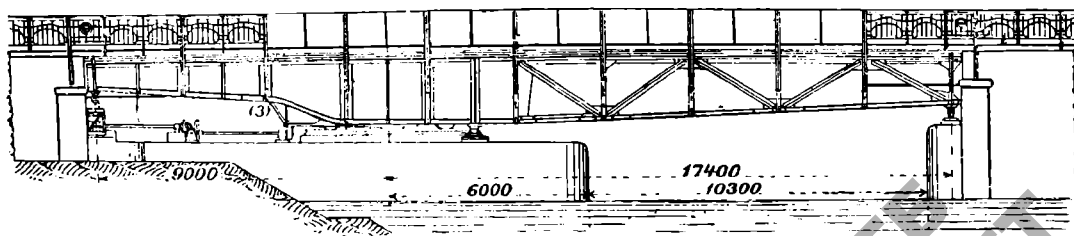
Подвешивание противовеса также вносит иногда некоторые изменения в схему ферм (мост Neuhoof, фиг. 86).

В мостах с несимметричной поворотной частью при выборе очертания и конструкции ферм принимается иногда во внимание вопрос об уравнивании действия ветра на фермы. Так, например, фермы короткого рукава делают постоянной высоты, а фермы длинного — переменной. Та же цель



Фиг. 86.

2 может быть достигнута устройством ферм короткого рукава со сплошной стенкой, а ферм другого рукава — сквозными (фиг. 87). Иногда зашивают фермы короткого ру-

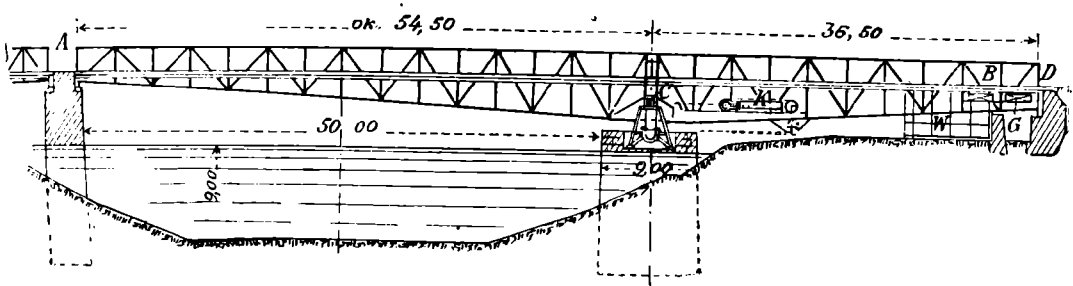


Фиг. 87.

кава волнистым железом (мост в Neuhoof фиг. 85), или устраивают специальные «ветровые передники» (Windschurzen). Пример — мост в Рендсбурге (фиг. 83). Наконец, можно не принимать никаких мер для уравнивания ветровой нагрузки,

заставляя механизмы вращения преодолевать момент ветра, что однако связано с увеличением мощности двигателей.

Вертикальное уравнивание, как уже говорилось, достигается противовесами. Были попытки частичного уравнивания применением для длинного и ко-

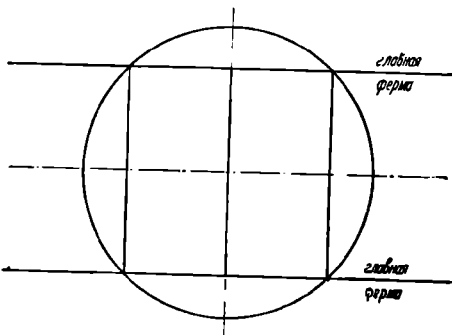


Фиг. 88.

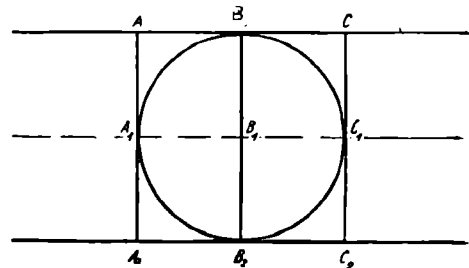
роткого рукавов разных материалов—стали и железа (литейный мост в Ленинграде). Прием этот, насколько известно, не нашел широкого распространения.

§ 3. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВОРОТНЫХ МОСТОВ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ БАРАБАНОМ

5. Способ передачи давления на барабан и его конструкция. Существенной частью мостов, опирающихся на катки, является барабан. Назначение барабана—передать нагрузку на катки. Для того чтобы обеспечить легкое поворачивание пролетного строения, уменьшить изнашивание катков и круга катания, необходимо придать центральному барабану возможно большую жесткость и возможно более равномерно распре-



Фиг. 89.



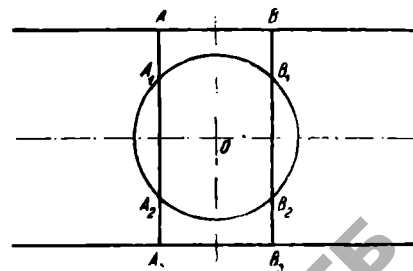
Фиг. 90.

делить по длине барабана давление от главных ферм. Тем самым обеспечивается равномерность распределения нагрузки между катками.

Наиболее простая схема, при числе главных ферм, равном двум, изображена на фиг. 89; давление передается на барабан в четырех точках непосредственно от главных ферм. Однако диаметр барабана при этом получается довольно значительным. Чтобы уменьшить диаметр барабана, можно применить схему фиг. 90. Но при таком устройстве в точках B_1 и B_2 нагрузка передается непосредственно от главных ферм, в точках же A_1 и C_1 —от поперечных балок; жесткость опорных точек, следовательно, разная, что менее благоприятно для равномерности передачи давления.

В этом отношении схема по фиг. 91 лучше. Диаметр барабана в этой схеме становится еще меньше, но зато утяжеляются поперечные балки.

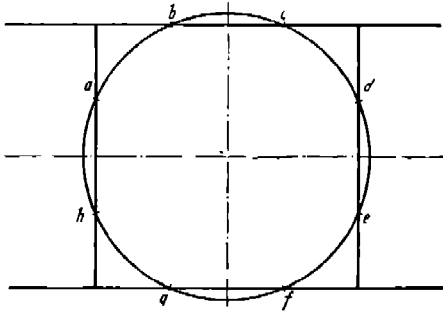
В перечисленных схемах давление передается на барабан в четырех точках с разделением его окружности на четыре равные части. Высота барабана, вследствие этого должна быть не малой, что не всегда удобно и выгодно. Приходится, в таких



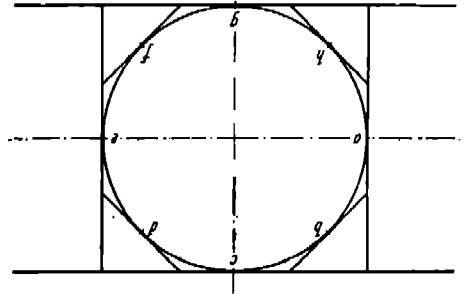
Фиг. 91.

случаях увеличивать число опорных точек до 8 и даже до 12 (при двух главных фермах). Схемы передачи давления на барабан в 8 точках изображены на фиг. 92—94.

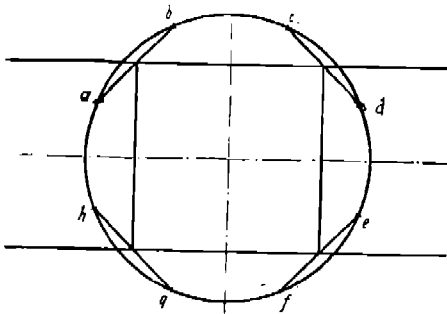
Наиболее простым в конструктивном отношении является устройство по фиг. 92. Распределение нагрузки между опорными точками при такой схеме несколько неопределенно. Тем же недостатком обладают схемы по фиг. 93 и 95; преимущество их—меньший диаметр барабана.



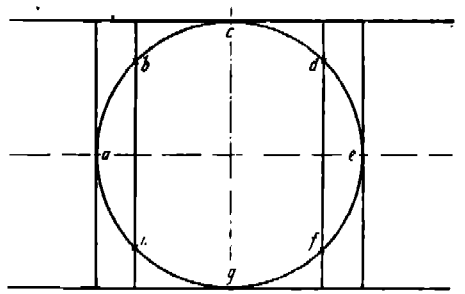
Фиг. 92.



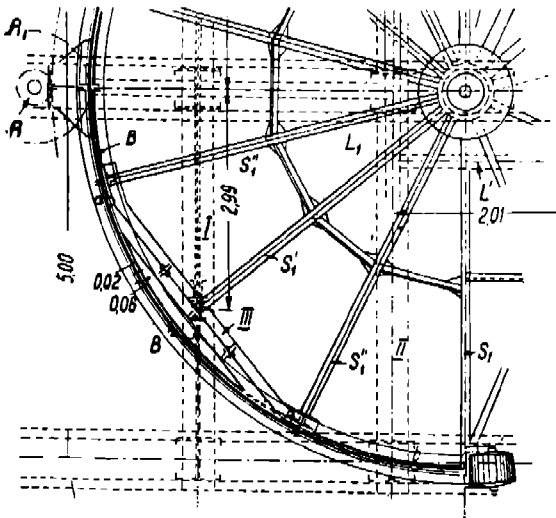
Фиг. 93.



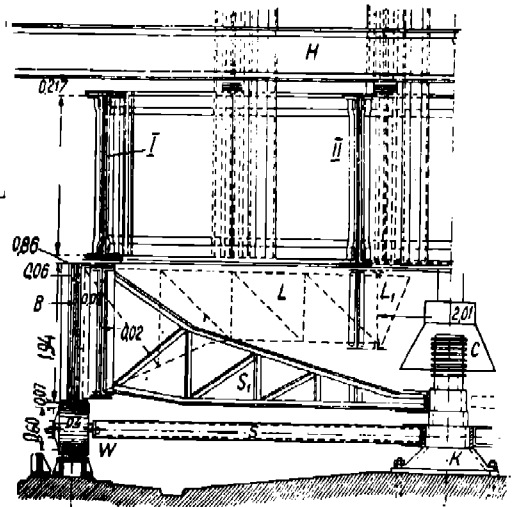
Фиг. 94.



Фиг. 95.



Фиг. 96.

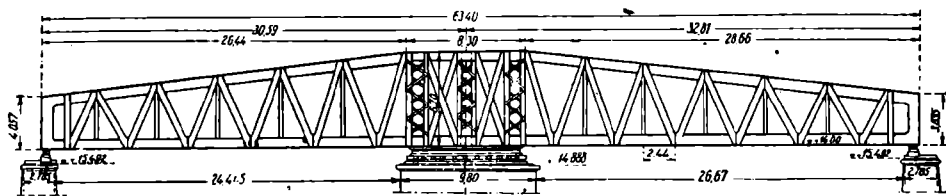


Фиг. 97.

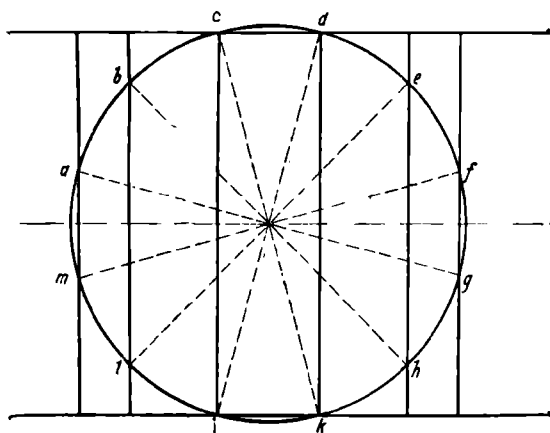
Наиболее строгая, в отношении распределения сил, схема изображена на фиг. 94. При достаточной строительной высоте конструктивное выполнение этой схемы не представляет особых затруднений, т. к. промежуточные балочки *ab*, *cd*... можно уложить на барабан сверху; фермы будут опираться на эти балочки также сверху (пример—мост Puyfont, § 7). Однако диаметр барабана по схеме 94 оказывается больше, чем по схемам фиг. 92, 93 и 95.

Другой пример устройства косых балочек, с расположением их в пределах высоты барабана, дан на фиг. 96 и 97.

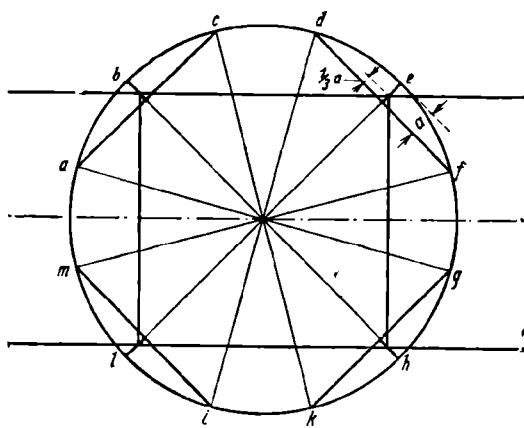
Схема, изображенная на фиг. 95, создает сильное неравенство панелей. Вследствие этого решетка ферм получает несколько своеобразный характер (пример—мост Вейна через Нил, фиг. 98).



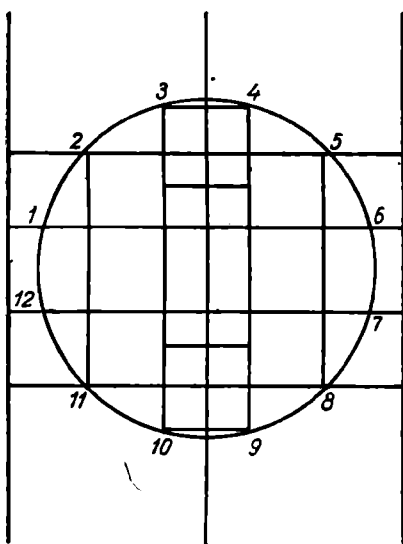
Фиг. 98.



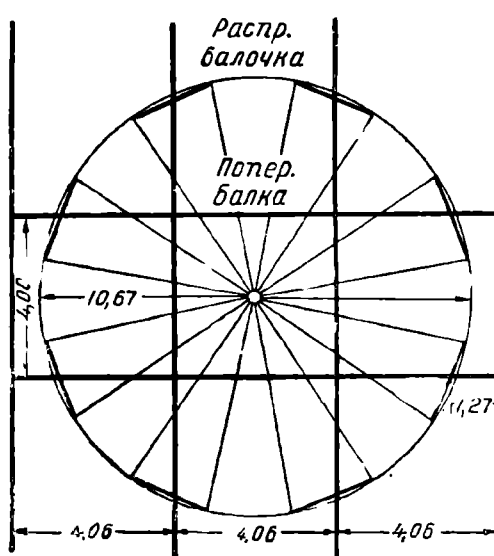
Фиг. 99.



Фиг. 100.



Фиг. 101.



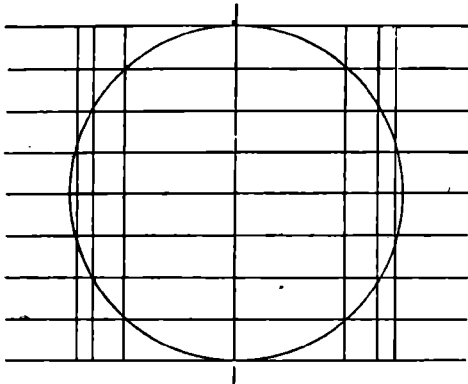
Фиг. 102.

При желании довести число опорных точек до 12, пригодны схемы или по фиг. 99—более простая, но с неясным распределением сил и с различной длиной панелей ферм, или по фиг. 100—не имеющая указанных недостатков, но требующая увеличения диаметра барабана. Следует заметить, что в последней схеме опорные точки ферм должны делить вспомогательные, по радиусу направленные, балочки в отноше-

нии 1 : 2. Это обеспечивает, в чем нетрудно убедиться, распределение опорной реакции фермы между тремя точками, например *d*, *e* и *f*, в одинаковой доле.

В мостах с числом ферм, большим двух, применяются аналогичные приемы передачи нагрузки на барабан.

На фиг. 101 показана одна из возможных схем сопряжения ферм с барабаном, при трех фермах (мост через Harlem River на Madison-Avenue в Нью-Йорке).

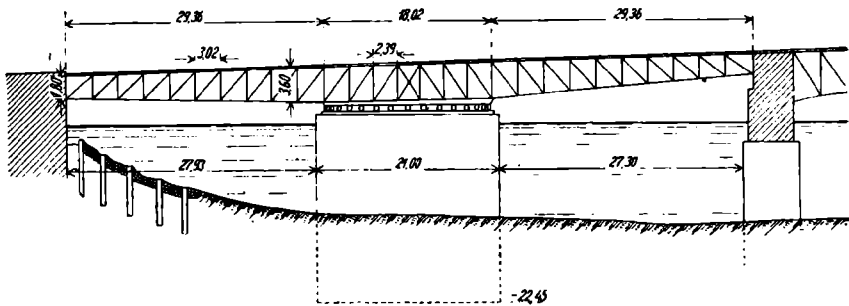


Фиг. 103.

A, B, B, Г..., составленными каждая из двух раскосов и продольной балки, приклепанных к поперечным балкам. Чтобы уменьшить диаметр барабана, крайние фермы (тротуарные) вынесены за пределы барабана, и нагрузка от них передается при помощи поперечных балок.

Главные фермы располагаются над центральным барабаном. Расположение в одном уровне, с пропуском главных ферм сквозь барабан, встречается как исключение, преимущественно в старых поворотных мостах (мост лейтенанта Шмидта, б. Николаевский, в Ленинграде).

Центральный барабан поворотных мостов делается обычно клепаным, двутаврового или коробчатого сечения. Укрепляется уголками жесткости в достаточном количестве, а при коробчатом сечении также и диафрагмами. С осью вращения соеди-



Фиг. 104.

няется радиальными распорками. Последние оканчиваются металлическими кольцами, обхватывающими центральную отливку—ось вращения, которая в соответствующих местах снабжается вытупами. Верхнее кольцо, во избежание поднятия, прижимается приболченной планкой. При большой длине распорок полезно схватить их пояском, concentричным с окружностью барабана (фиг. 96). Если высота барабана невелика, можно обойтись без радиальных распорок в плоскости барабана (мост Равенства в Ленинграде). Примеры конструкции барабана даны на фиг. 96, 107 и 113.

Высота барабана для большей жесткости назначается равной 0,5—0,3 от расстояния между точками передачи давления.

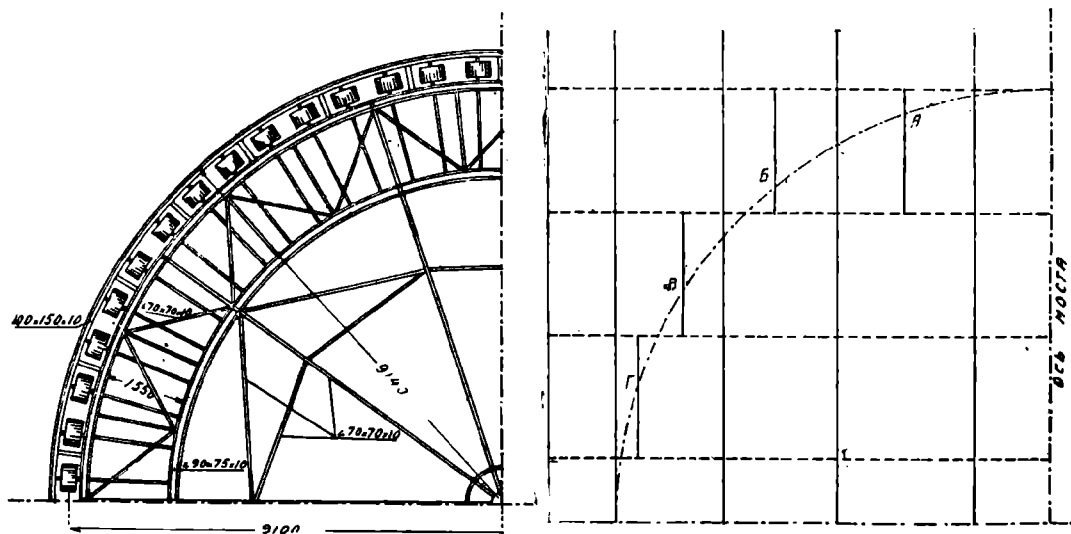
В некоторых мостах применены литые барабаны из отдельных секций, соединенных фланцами (фиг. 109, мост Bah-el-Aama в Каире, 1911 г.).

6. Катки. Ось вращения. Круги катания. Катки поворотных мостов отливаются из стали и имеют вид усеченного конуса. Вершина конуса должна совпадать с осью

вращения (фиг. 82). По большей частью наклонно располагаются и верхний и нижний круг катания; реже встречается горизонтальное положение верхнего круга катания.

Катки делаются или одностенчатыми двугавровой формы (фиг. 110) или двухстенчатыми (фиг. 108, 109). Сплошные катки встречаются лишь в старых мостах при малых размерах катков.

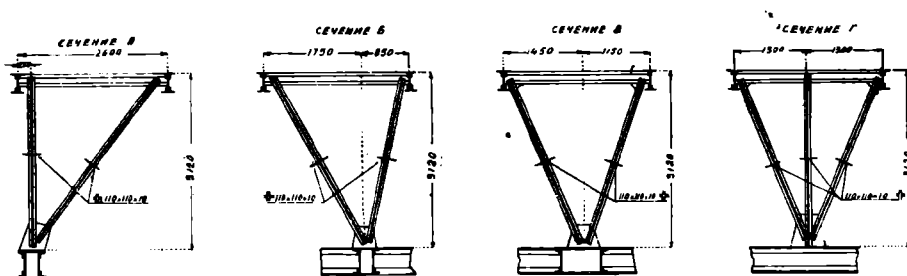
Катки сидят свободно на осях. Оси катков связаны друг с другом одной или двумя (наружной и внутренней) рамами—обвязками. Для прикрепления обвязок оси катков из круглого сечения переходят в прямоугольное. Внутренняя обвязка часто делается в виде широкого, положенного плашмя, клепаного кольца (фиг. 108).



Фиг. 105.

С центрирующей отливкой катки соединяются или продолжением осей, которые в этом случае на концах снабжаются проушинами и объединяются надетым на центрирующую отливку кольцом (фиг. 111), или специальными, из фасонного железа, радиальными распорками и связями. В последнем случае ось заканчивается на внутренней обвязке (фиг. 108, мост Равенства); длина осей значительно сокращается, и кроме того вся конструкция приобретает большую в горизонтальной плоскости жесткость. Для увеличения жесткости можно поставить промежуточный пояс (фиг. 111).

Величина диаметра катков колеблется в больших пределах. Наиболее употребительные диаметры $d=30-60$ см; есть, впрочем, примеры катков диаметром до 1,00 м. Длина катка обычно равна половине диаметра $l=15-30$ см.



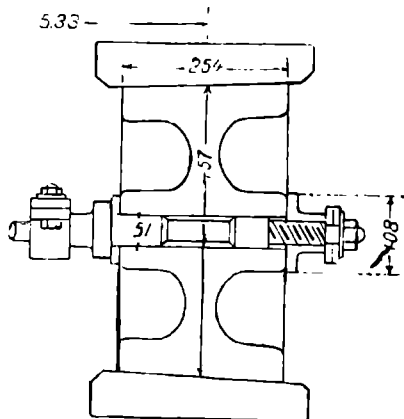
Фиг. 106.

В мостах с тяжелым пролетным строением число катков велико. Чтобы не увеличить чрезмерно радиуса круга катания, можно расположить катки в шахматном порядке в два ряда (фиг. 107).

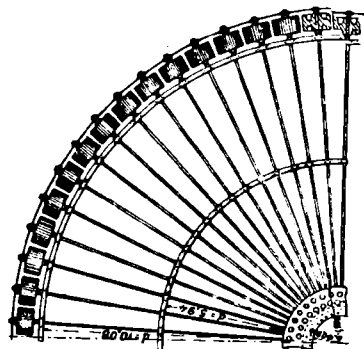
Ось вращения поворотных мостов, опирающихся на катки, делается в виде отливки, полый внутри, снабженной выступами, на которых лежат центрирующие кольца. Для большей устойчивости, а также для того, чтобы можно было надевать кольца сверху, отливка уширяется книзу или усиляется приливами.

Верхний и нижний круги катания представляют собой стальные, редко чугунные, отливки соответствующей формы. Для большей неизменяемости нижнего круга ката-

В качестве примера подобной конструкции можно указать на мост через Willamette около Portland'a, в штате Орегон, один из величайших поворотных мостов в мире (фиг. 114 и 115). Мост двухрукавный под ж. д. в 2 пути общей длиной между крайними опорами 158,80 м. Ширина моста 9,45 м. Вес пролетного строения 2 088 т.

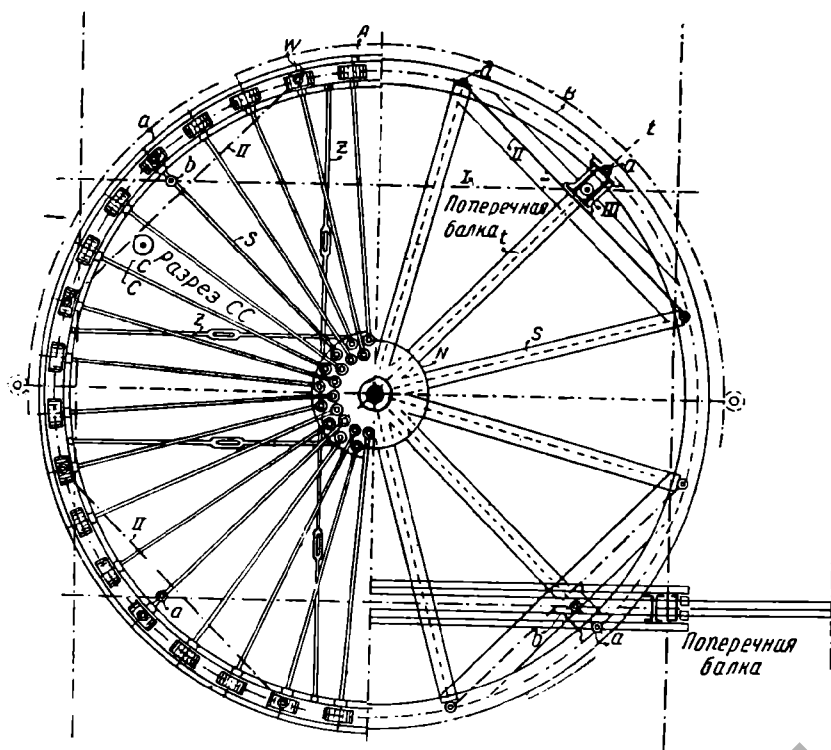


Фиг. 110.



Фиг. 111.

Нагрузка в восьми точках передается от ферм, отчасти непосредственно, отчасти через главные поперечные балки, на вспомогательные балочки. Эти последние опираются на радиальные балки, которые делят нагрузку между барабаном и осью вращения в таком отношении: $\frac{4}{5}$ на барабан и $\frac{1}{5}$ на ось вращения.



Фиг. 112.

§ 4. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВОРОТНЫХ МОСТОВ С ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПЯТОЙ

8. Способ передачи давления на ось вращения и на средние опоры. В поворотных мостах второй группы, опирающихся на ось вращения, вес пролетного строения должен быть передан на ось вращения полностью или в значительной мере, а временная нагрузка в закрытом состоянии моста—на неподвижные опорные части.

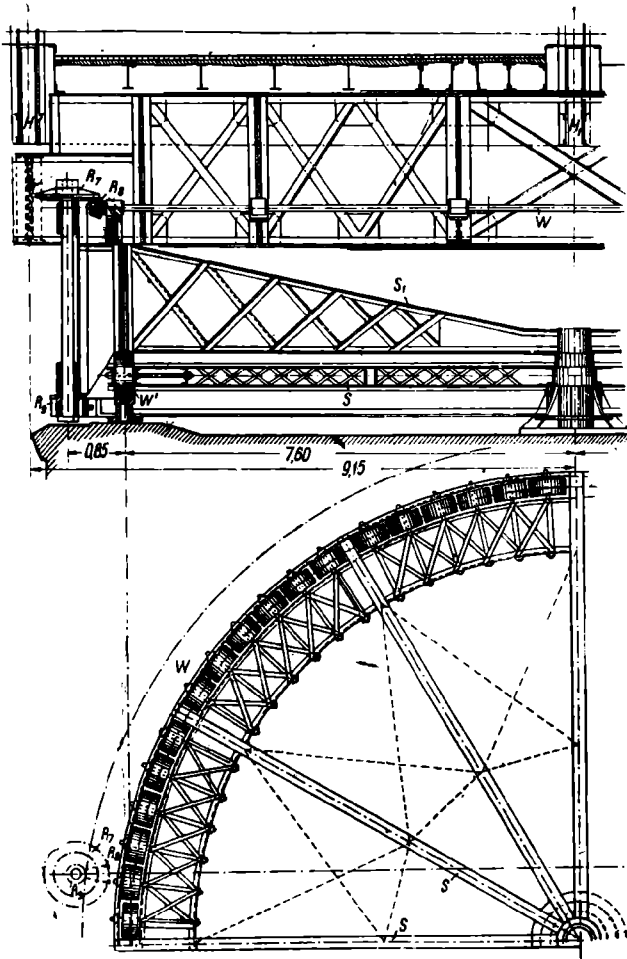
К временной нагрузке в некоторых случаях присоединяется и постоянная, т. е. в закрытом состоянии моста ось вращения разгружается полностью.

Передача нагрузки на опоры и на ось вращения осуществляется различными конструктивными приемами, из коих главнейшие следующие.

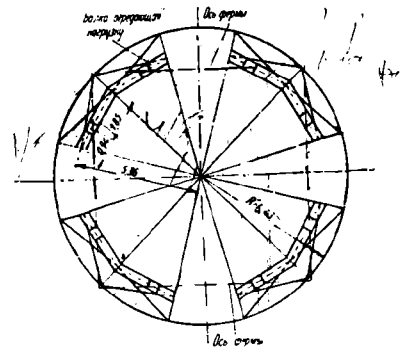
а) Опоры ферм располагаются в одном из средних узлов. Ось вращения смещается от опоры фермы на величину половины панели и получает нагрузку через систему сплошных поперечных и продольных балок.

На фиг. 116, приведена в качестве примера средняя часть моста через Унтерграве в Любеке. Судоходное отверстие перекрыто двумя несимметричными пролетными строениями, открывающимися по принципу Шведлера. Опоры ферм для закрытого положения находятся в узлах 5, поперечные балки 4—4 и 5—5 усилены сверху шпренгелями и при помощи двух продольных и двух дополнительных поперечных балок передают нагрузку на ось вращения. Центр тяжести поворотных частей сдвинут противовесом от оси вращения в сторону короткого рукава. Поддерживающие колеса расположены под углом между специальными поперечными балками. Кроме того имеется на всякий случай для предохранения от внезапного опрокидывания добавочное третье колесо, в нормальных условиях не нагружаемое.

Описанный прием передачи давления в особенности удобен, если фермы разводной части со сплошной стенкой, т. к. в этом случае расстояние между поперечными балками может быть



Фиг. 113.



Фиг. 114.

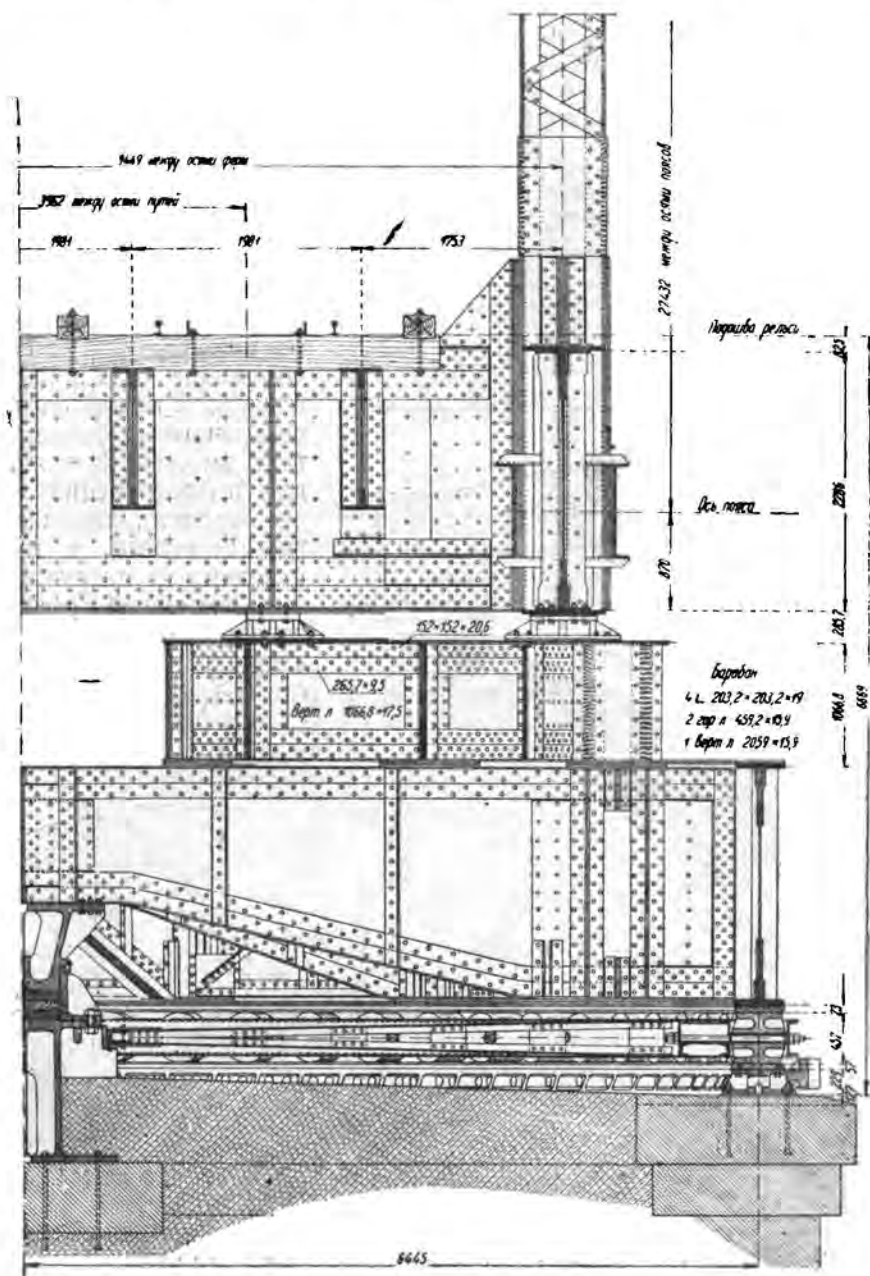
сделано небольшим. Один из примеров подобной конструкции—городской мост в Старой Гавани в Сухнаве—приведен на фиг. 117 и 118. Опоры ферм находятся в узлах (6). Нагрузка на ось передана балками: поперечными, расставленными на 2,0 м друг от друга, и продольными с расстоянием между ними 0,80 м. Между продольными балками помещена стальная специальной формы отливка (фиг. 118), непосредственно опирающаяся на ось вращения. Для сохранения устойчивости при вращении служат колеса, прикрепленные к консолям по бокам ферм и к поперечной балке в узле (5).

б) Другой прием передачи нагрузки заключается в использовании раскосов над средней опорой (фиг. 86, мост Neuhof через Reihersstieg в Гамбурге, система Шведлера, см. § 7).

в) Опоры ферм и ось вращения можно располжить в одном и том же поперечном сечении. Для прикрепления обхватывающих ось вращения поперечных балок при

таким устройстве удобны сближенные стойки, которые или соединяются решеткой, или образуют один общий массивный элемент.

При этом для снятия с опор применяется либо метод Шведлера, либо подклинивающие механизмы на всех опорах. В первом случае постоянная нагрузка передается на ось вращения также и в закрытом состоянии моста, причем верхние подушки опор



Фиг. 115.

ных частей ферм лишь слегка касаются нижних. Временная нагрузка, вследствие добавочного прогиба ферм воспринимается опорами таковых.

Во втором случае вес пролетного строения при повороте передается полностью на ось вращения, которая в закрытом состоянии моста может быть освобождена от действия временной нагрузки подклинкой всех опор, в том числе и средних.

Приводимые ниже примеры иллюстрируют сказанное.

Мост в Industriehafen в Мангейме (фиг. 119 а и б) под ж. д. и экипажную езду, двухрукавный, симметричный. К сближенным до 2,0 м стойкам 6 и 7 приклепаны мощ-

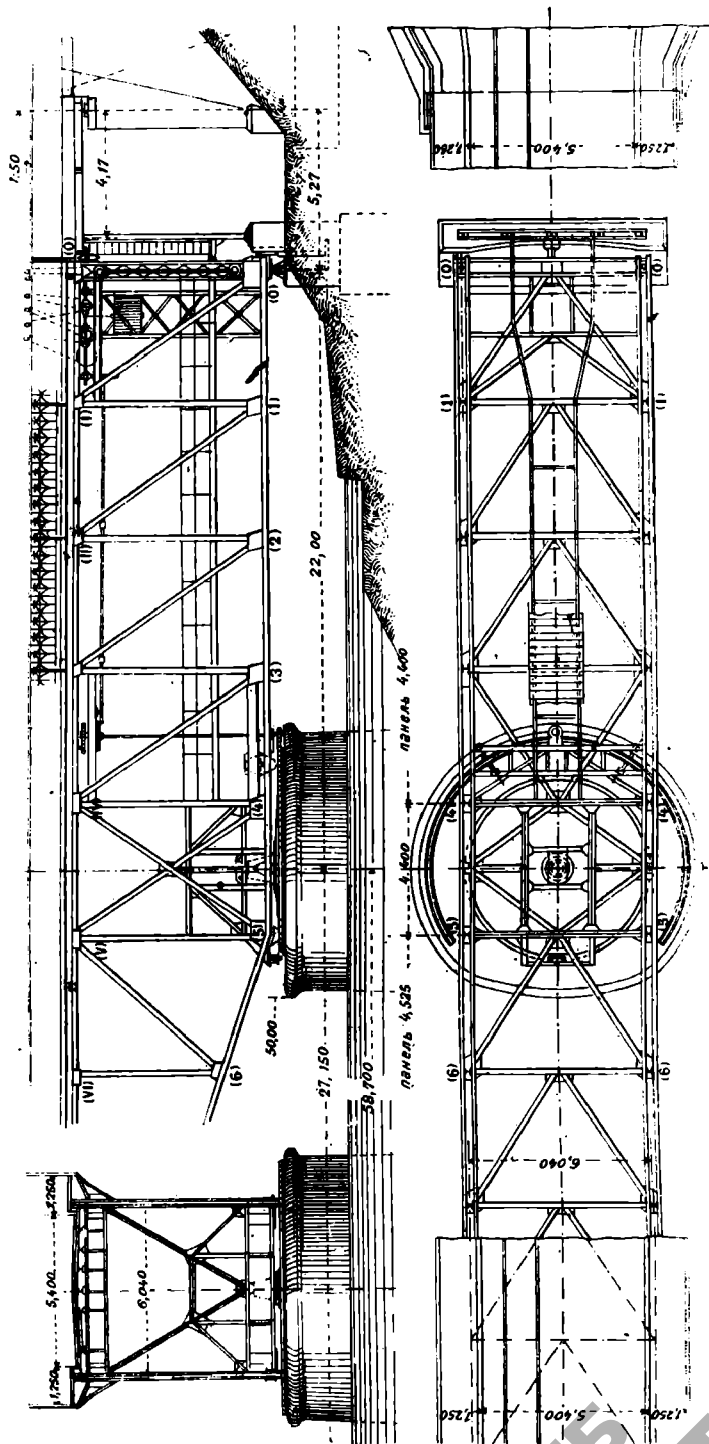
ныесквозные поперечные балки, соединенные продольными балками, опирающимися на ось вращения. Опоры ферм расположены в одной плоскости с осью вращения и имеют свободное без нажима касание. После опускания одной из крайних опор и небольшого наклона вследствие этого всего пролетного строения делается возможным поворот такового вокруг вертикальной оси.

Та же идея осуществлена в Wilhelmshaven'ском мосту; схема его приведена на фиг. 121, 121, 122а и б. Вес пролетного строения (247 т) передается на ось вращения посредством поперечной конструкции (фиг. 122), которая под действием постоянной нагрузки дает прогиб в 8,5 мм. Опоры ферм, помещенные сбоку оси вращения, имеют свободное касание с нижними подушками. Если опустить одну из крайних опор, то пролетное строение наклонится, поддерживающие колеса примут на себя часть веса, и нагрузка на ось вращения уменьшится до 203 т, вследствие чего прогиб поперечной конструкции станет равным 7 мм, т. е. на 1,5 мм меньше, что и обеспечивает возможность поворота разводной части. Что же касается до временной нагрузки, то таковая передается на опоры ферм, минуя ось вращения. Некоторые детали конструкции ясны из фигур 121, 122.

Примером полной нагрузки оси вращения может служить мост через Caronte на ж.-д. линии Miramas l'Es taque-Marseille во Франции, описанный в § 7.

Другой пример — построенный в 1925 г. поворотный двух ярусный мост через Прегель в Кенигсберге¹ (фиг. 123, 124).

Средняя стойка ферм этого моста, опирается на небольшую продольную балочку, помещенную под фермой (фиг. 125 а) и подвешенную двумя стержнями к соседним узлам. С продольными балочками соединены две поперечных балки, нагружающие ось вращения. В закрытом состоянии давление передается опорным частям

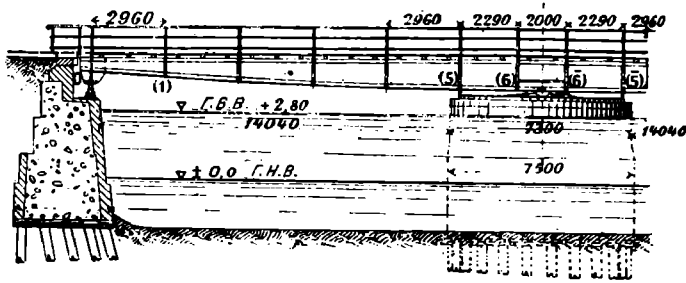


Фиг. 116.

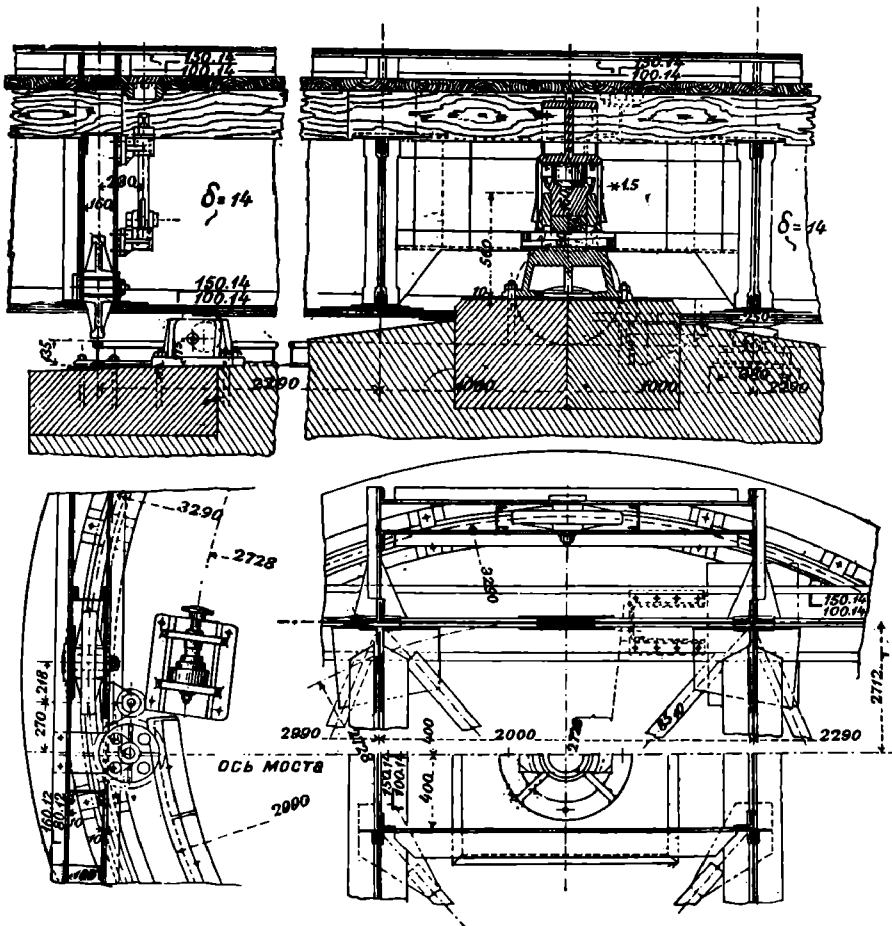
¹ „Die Bautechnik“, 1925, Heft 26, S. 329.

ферм, которые прикреплены к упомянутым продольным балочкам снизу и имеют подъемный клинового типа механизм. Крайние опоры ферм также снабжены подъемным механизмом. Некоторые детали даны на фиг. 124, 125 а, в, с, и 126.

г) Наконiec, как было сказано выше, разгрузка оси вращения и снятие с опор могут быть выполнены по гидравлическому принципу¹.



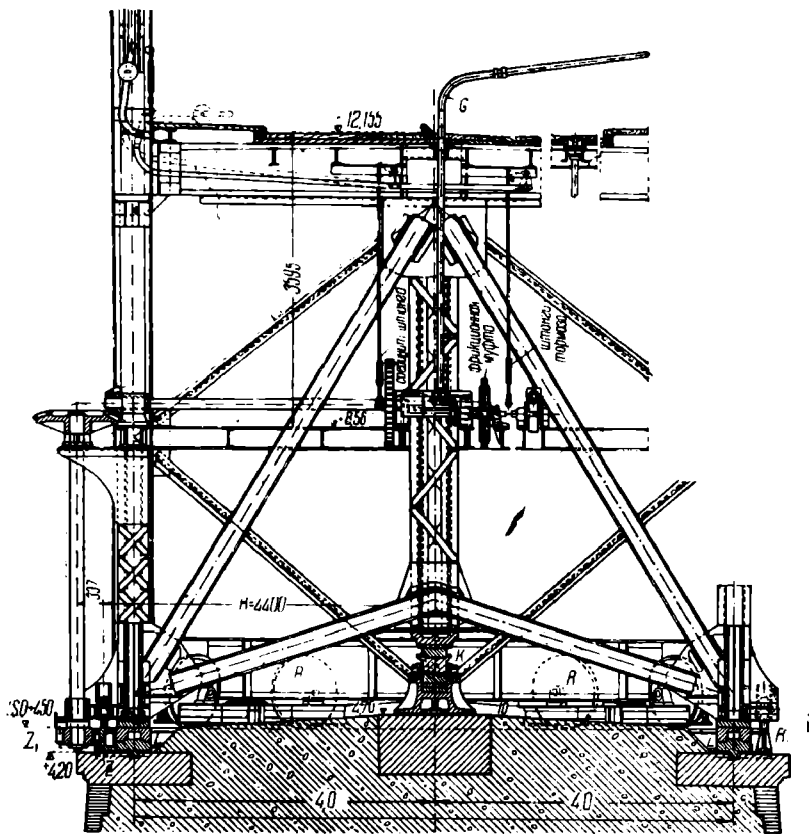
Фиг. 117.



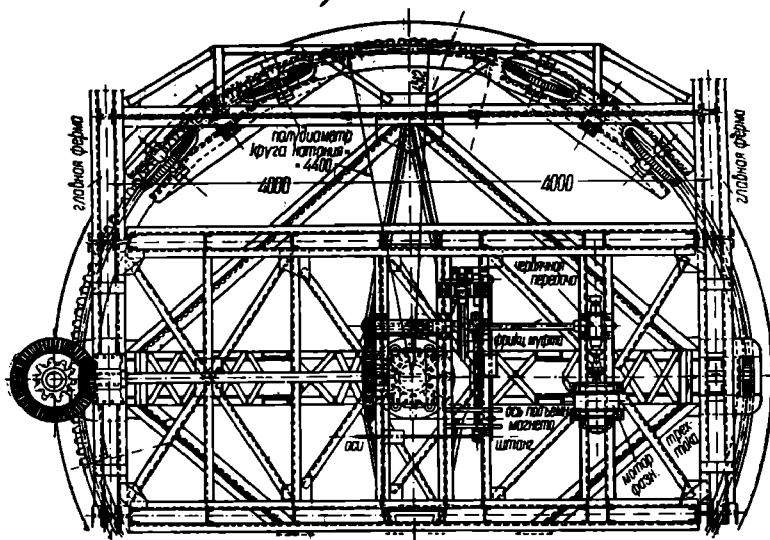
Фиг. 118.

9. Поддерживающие колеса. Число и расположение поддерживающих колес в поворотных мостах с центральной осью вращения зависит от способа снятия пролетного строения с опор—по системе Шведлера или опусканием обеих крайних опор, а также от веса передающегося на колеса.

¹ Примеры конструкции см. Dietz, Bewegliche Brucken.

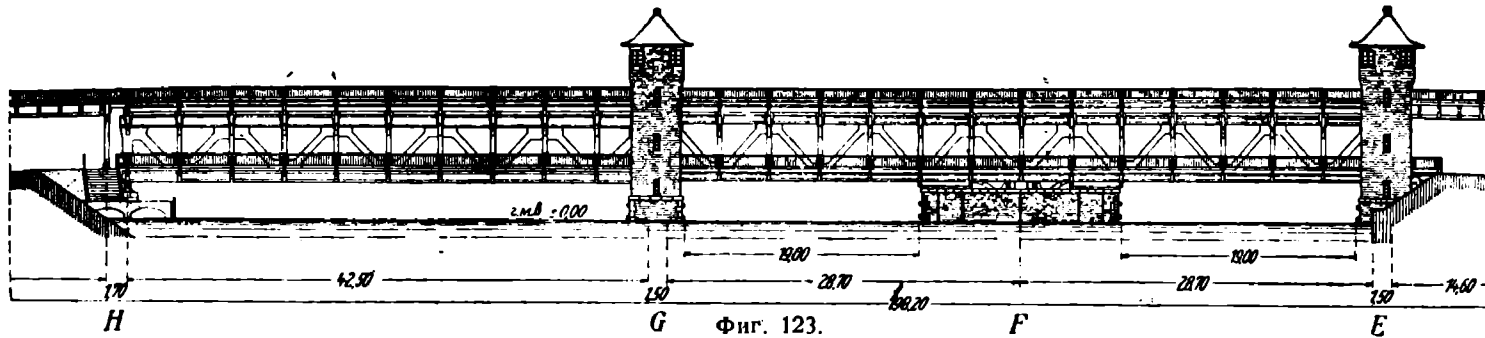


Фиг. 122-а.

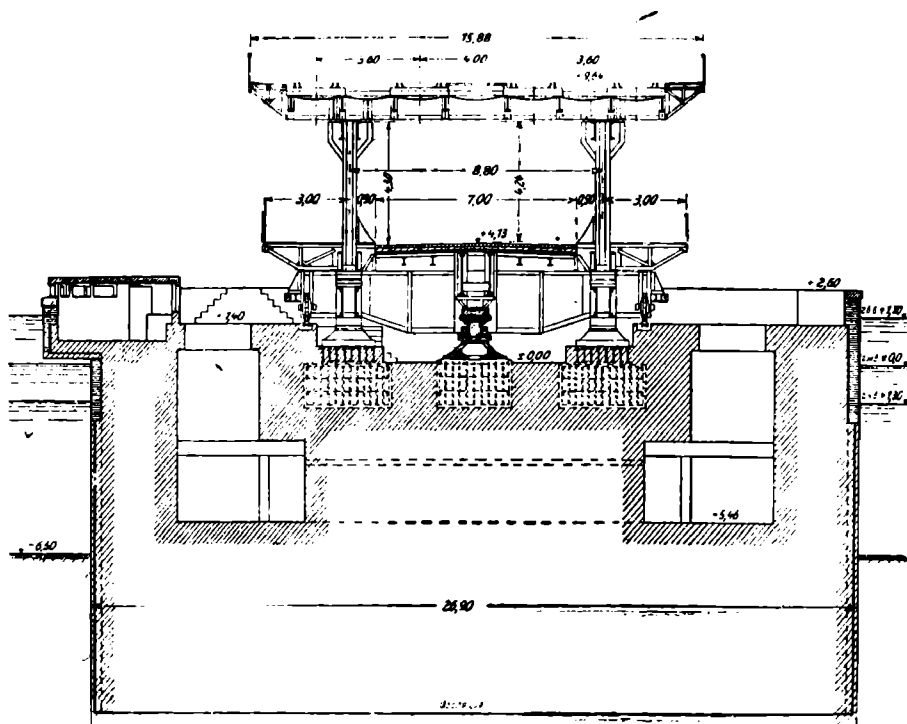


Фиг. 122-б.

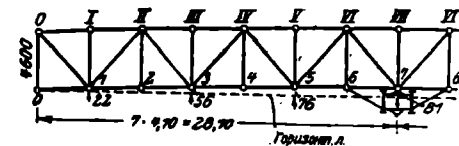
НТБ
ДНУЖТ



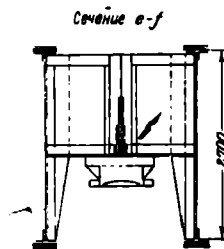
Фиг. 123.



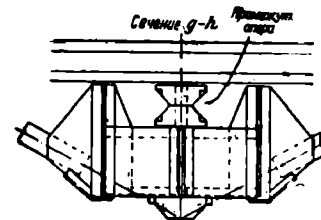
Фиг. 124



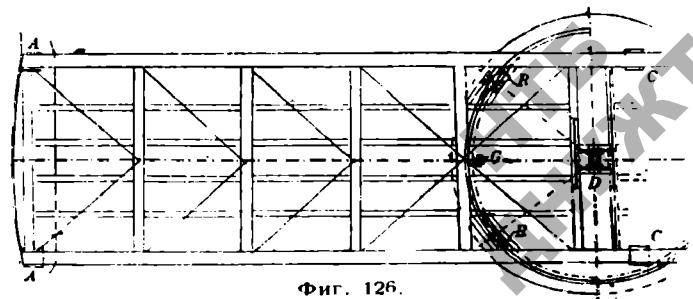
Фиг. 125-а.



Фиг. 125-б.

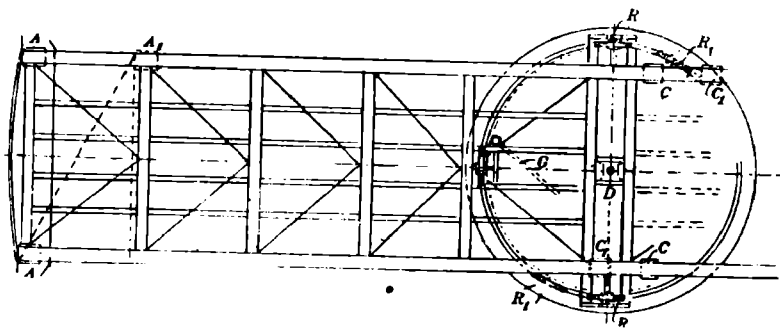


Фиг. 125-с.

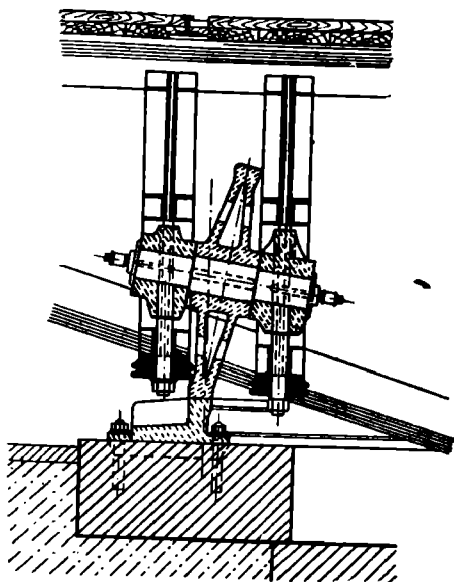


Фиг. 126.

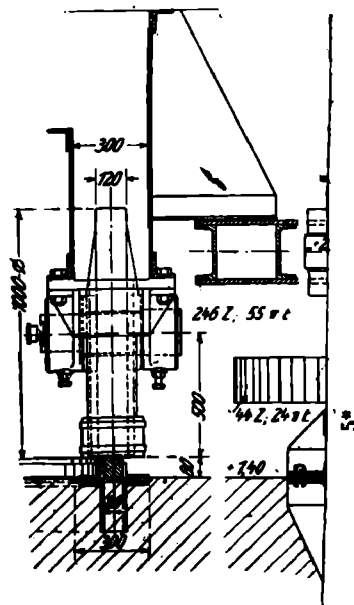
пролетного строения. Рельсовый путь при этом укладывается на очерченную по дуге круга стенку (мост в Neuhoft, § 7) или на широкий устой.



Фиг. 127.



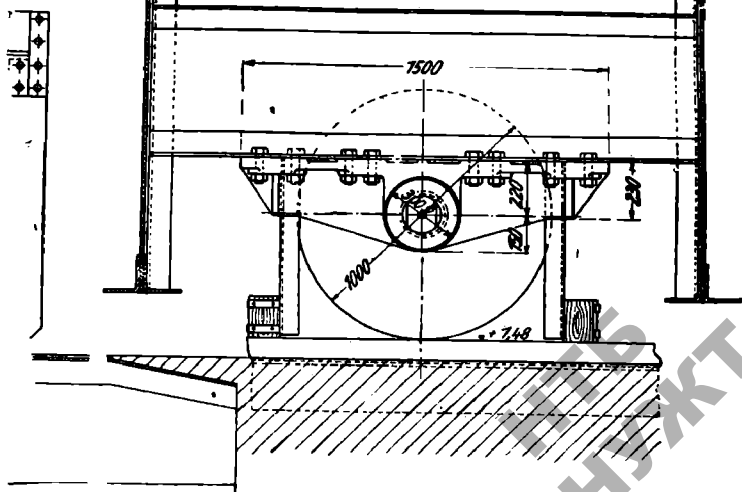
Фиг. 128.



Фиг. 129-а.

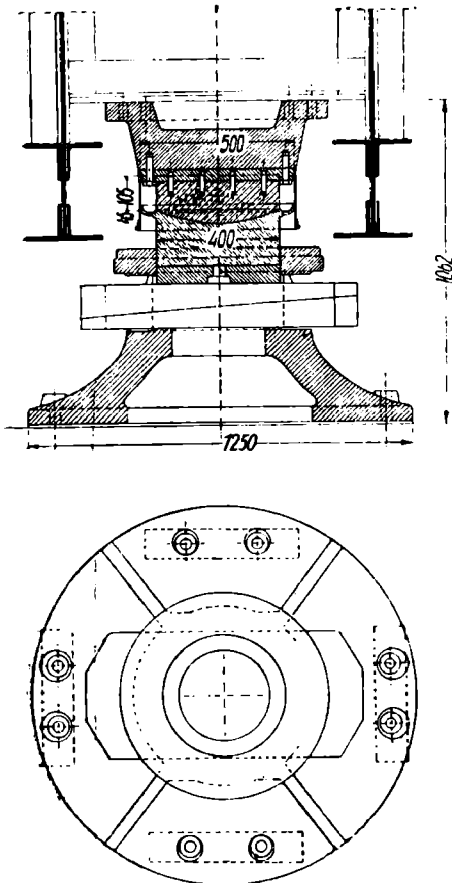
Нагрузка на одно колесо в осуществленных мостах системы Шведлера 8—20 т.

10. **Ось вращения поворотных мостов, опирающихся на ось вращения.** В тех случаях, когда ось вращения бывает нагружена весом пролетного строения полностью или частично, конструкция оси должна обеспечить безопасную передачу иной раз весьма значительных сил; с другой стороны, поворот пролетного строения необходимо производить с возможно меньшей затратой энергии и потому трение в оси вращения должно быть минимальным.



Фиг. 129-б.

Кроме того желательно позаботиться о смене наиболее изнашиваемых частей оси вращения и о беспрепятственной регулировке ее высоты; вполне понятно, что для правильного действия многих из описанных выше поворотных мостов последнее обстоятельство весьма существенно.



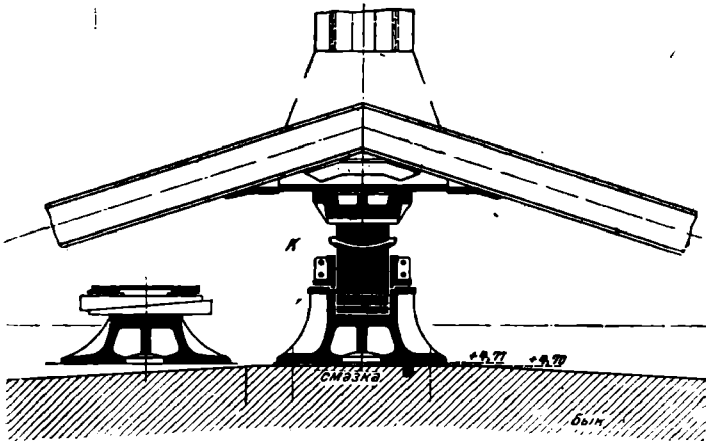
Фиг. 130.

Для удовлетворения всем перечисленным требованиям ось вращения делается из двух отливок, верхней и нижней, между которыми помещаются вкладыши с сферическими поверхностями. Для уменьшения трения один из вкладышей уместно сделать из фосфористой бронзы. Регулировка высоты выполняется при помощи клиньев.

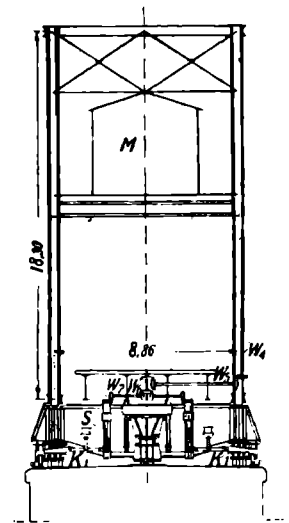
На фиг. 130 показан тип оси вращения, применяемый фирмой Gustavsborg. Как видно из чертежа, в этом типе имеется два вкладыша из фосфористой бронзы: верхний вкладыш привинчен шурупами к стальной плашке, которая в свою очередь прикреплена шурупами к верхней отливке; нижний вкладыш имеет форму чашки, окруженной небольшой канавкой для смазки. Кожух защищает трущиеся поверхности от загрязнения. Два клина служат для регулирования высоты оси вращения.

Того же типа ось вращения моста Wilhelmshaven (фиг. 12), изображенная на фиг. 131, моста Neuhoft (фиг. 168 § 7) и др.

На фиг. 133 показана ось вращения моста через р. Делавар в Филадельфии. Фасад и поперечный разрез разводной части этого моста даны на фиг. 132 а, б. Особенность кон-



Фиг. 131.



Фиг. 132-а.

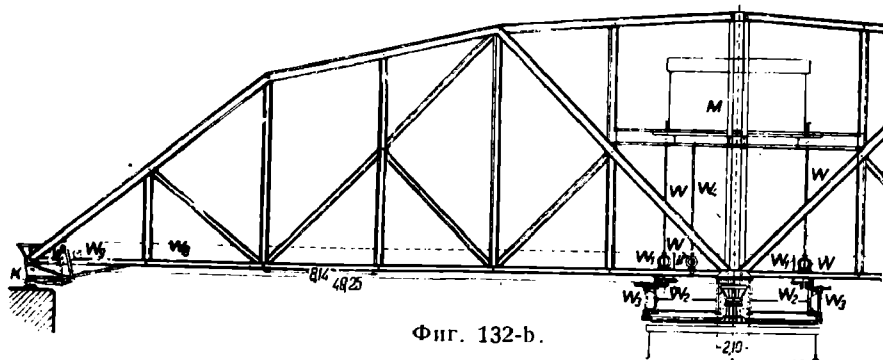
струкции оси вращения заключается в применении вкладыша из фосфористой бронзы в виде двояковыпуклой линзы. Вкладыш заключен между двумя стальными отливками. Пролетное строение подвешено к балочкам, опирающимся на ось вращения сверху. Разгрузка оси вращения осуществляется клиньями K_1 .

Другой пример оси вращения с чечевицеобразным вкладышем приведен в § 7 (мост через Caronte). Фиг. 118, 119б, 124 также дают представление о различных конструкциях оси вращения.

§ 5. ОПОРНЫЕ ЧАСТИ ПОВОРОТНЫХ МОСТОВ

11. В предыдущих параграфах выяснено, что опорные части поворотных мостов могут быть двоякого рода: с подъемным механизмом и без такового.

Опоры с подъемным механизмом имеют весьма разнообразное устройство. Несмотря однако, на большое разнообразие, можно отметить следующие основные типы: 1) опоры,

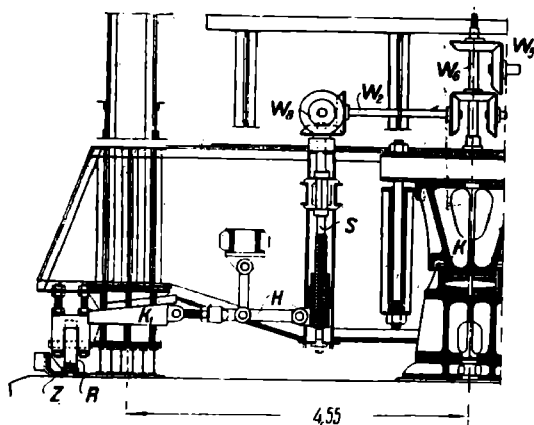


Фиг. 132-b.

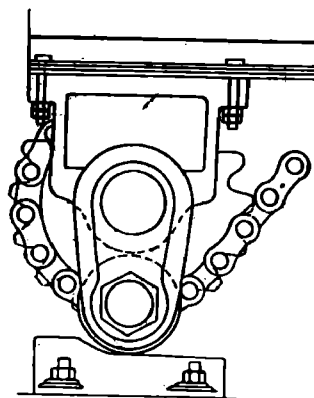
в которых подъем осуществляется вращательным движением стойки, сектора, эксцентрика и т. п., 2) опоры с поступательно движущимися клиньями, 3) опоры домкратного типа (винтовые).

Механизмы опорных частей первого типа в большинстве случаев располагаются на самом пролетном строении. К фермам прикрепляется вращающаяся на валу часть, которая передает опорное давление литой подушке, уложенной на неподвижной части моста (на быке или на устое). Верхней опорной поверхности подушки можно придать криволинейное очертание, что обеспечивает более равномерное и постепенное поднятие концов ферм.

Пример опорных механизмов первого типа приведен на фиг. 134, где изображена опора Бузанского моста. На валу, приводимом в движение зубчатым колесом и цепью Галля, посажена стойка, снабженная внизу катком. Подушка, на которую опирается каток, имеет криволинейное очертание.



Фиг. 133.



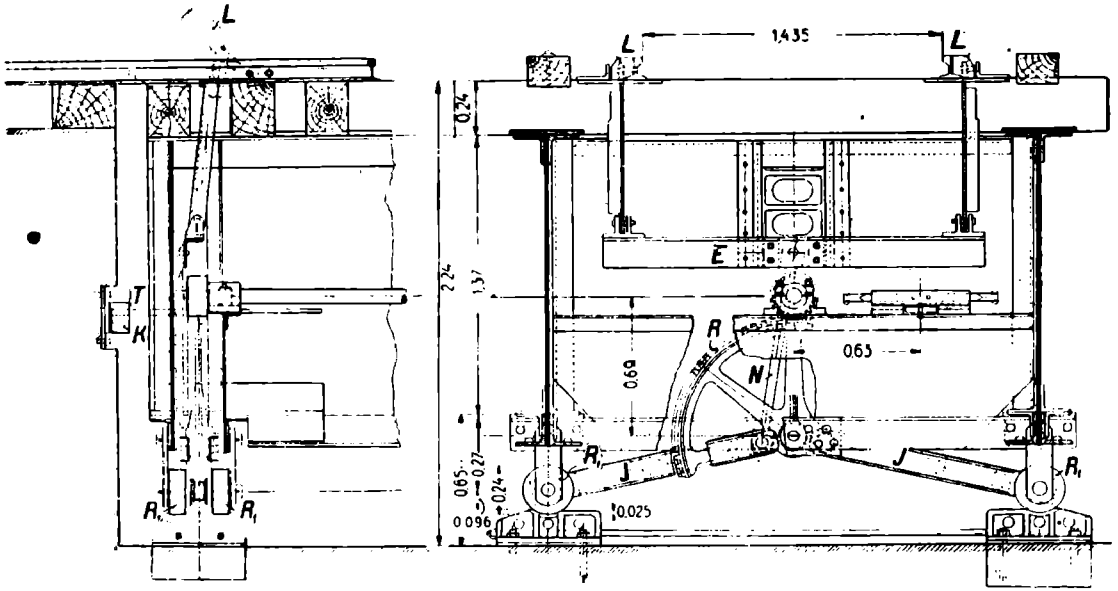
Фиг. 134.

Такого же типа опора моста Равенства (б. Троицкого) в Ленинграде.

К опорам рассматриваемого типа относится также крайняя опора моста через Саронте, описание которой приведено в § 7 (фиг. 182).

Опорные части, сконструированные по тому же типу, как в описанных выше примерах (фиг. 134 и др.), являются подвижными опорами тангенциального типа. Вращение вокруг оси в закрытом состоянии не допускается тормозом и перемещение пролетного строения возможно лишь за счет скольжения по нижней подушке. Если последняя имеет криволинейное очертание, то всякое перемещение опоры в горизонтальном направлении вызывает и некоторое вертикальное перемещение конца фермы, что отражается на усилиях в элементах ферм.

Опора по типу фиг. 135 свободна от указанного недостатка. Передающие давление ролики R_1 расположены так, что подклинка производится движением их в поперечном направлении. Для приведения в движение роликов применен зубчатый сектор R , связанный с шестерней, сидящей на идущем от двигателя валу. К сектору прикреплены



Фиг. 135.

шарнирные тяги. (На тех же чертежах показано приспособление для перекрытия стыка рельсов подвижной и неподвижной частей). Однако, при таком устройстве отсутствует центрация давления; при поворотах ферм давление распределяется между роликами одной и той же фермы по ширине каждого ролика неравномерно, что едва ли лучше, чем небольшое колебание по высоте, имеющее место в опорах с поперечно расположенными осями роликов (фиг. 134). Если нижние подушки этих опор сделать плоскими

(фиг. 134), то и вертикальных перемещений опорных узлов при изменениях длины ферм не будет. Зато процесс подклинки опор будет совершаться менее плавно.

На фиг. 136 показана еще одна разновидность опор этого же типа, примененная в поворотном мосту на Madison Avenue в Нью-Йорке. Опора состоит из двухколенчатой стойки с шарниром K' по середине. Верхний и нижний концы стойки прикреплены тоже шарнирно, а нижний конец кроме того может иметь поступательное

движение, ограниченное ползунком A . Подклинка производится действием на средний шарнир тяги, соединенной с рычагом, который перемещается вращением вала W . Следует обратить внимание, что в этой опоре, как видно из ее поперечного разреза, нагрузка в закрытом состоянии моста передается помимо болтовых шарниров.

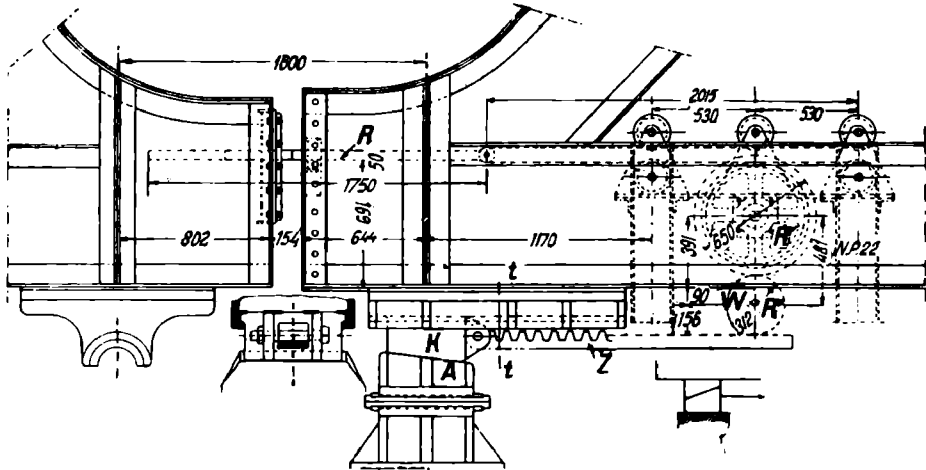
К опорам вращательного типа относятся также *уравновешенные* опорные части, в которых работа двигателя тратится только на преодоление вредных сопротивлений.

Пример такой опоры, сконструированной для небольшого поворотного места, изображен на фиг. 137, 138 и 139. Пролетное строение опирается на ролик F , ось которого закреплена на секторе R_1 ; сектор R_1 связан цепью Галля со шкивом R_2 , к которому прикреплен груз Q . На одной оси с шкивом R_1 сидит зубчатое колесо R_3 , соединенное с лебедкой. (В рассматриваемом примере механизм приводится в действие вручную). При опускании пролетного строения ролик F идет вниз, а груз Q поднимается вверх. При этом размеры частей механизма и вес груза Q подобраны так, что работа опорной реакции ферм обращается в потенциальную энергию противовеса Q . При закры-

вании моста накопленная потенциальная энергия освобождается и поднимает пролетное строение. Аналогична конструкция показана на фиг. 139.

Стойка А запирает разводную часть в рабочем состоянии и принимает опорную реакцию от временной нагрузки.

Недостатком описанной конструкции является некоторая ее сложность, обилие отдельных частей; необходимо иметь достаточно места, чтобы разместить все части. Поэтому применение принципа уравнивания в опорных механизмах, работающих от мотора, редко встречается: затрата несколько большей энергии в таких случаях не столь существенна. При подклинивании же вручную, уравнишенные опоры могут быть уместны.

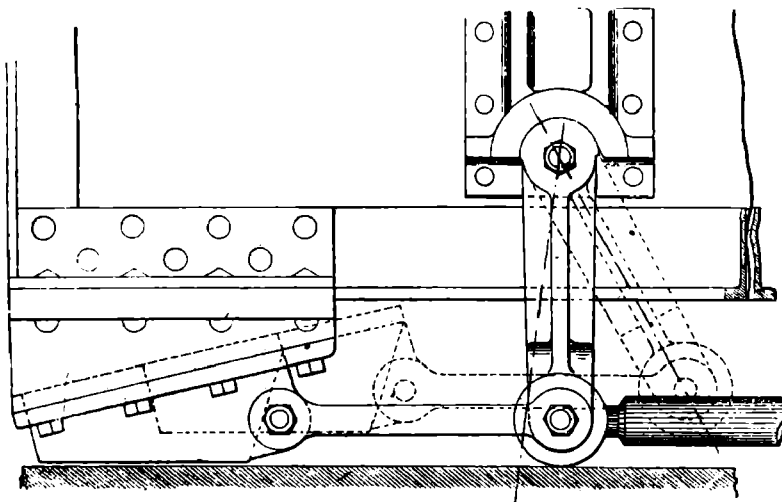


Фиг. 140.

12. Опорные части второго типа—с поступательным движением клиньев—представляют собой весьма солидные и прочные опоры.

Наклонная плоскость клина может быть расположена как вдоль моста, так и поперек.

Примеры поперечного расположения клиньев даны на фиг. 133. Клинья K_1 приводятся в движение механизмом, основной частью которого является винт S с гайкой,



Фиг. 141.

перемещаемой вверх или вниз по направляющим. Вращение винта осуществляется при помощи системы зубчатых колес моторами, расположенными на специальной площадке, поднятой выше габарита (на фиг. 132 а, б место расположения моторов обозначено буквой M). Кроме того имеется возможность привести механизм в действие посредством рукоятки, надеваемой на квадратный конец вала W_a .

Пример продольного расположения клиньев дает фиг. 140 (мост через Нордстэйский канал в Заандаме). Подвижным здесь сделан верхний клин, нижний прикреплен к неподвижной подушке. Однако такое устройство при продольном расположении клиньев не так удобно. Всякое изменение длины ферм будет вызывать небольшие перемещения опоры по высоте.

Опора по фиг. 141, с неподвижным, прикрепленным к ферме, верхним клином и с подвижным, связанным тоже с фермой, нижним,—в этом отношении лучше. Ниж-

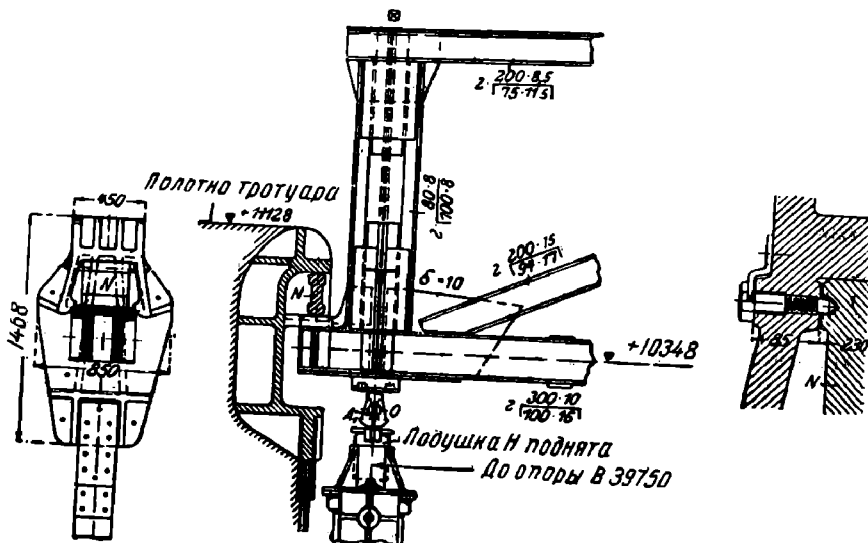
ний клин удерживается направляющими со скошенными гранями, сделанными в верхнем клине. Для центрирования давления было бы лучше нижнюю подушку, прикрепленную к кладке, сделать выпуклой.

На фиг. 140 кроме клиновой опоры показан ригельный замок R , приводимый в движение одновременно с клиньями K при помощи зубчатых колес и штанг.

13. Опоры третьего типа—домкратные в качестве основной части имеют винт с гайкой. При вращении гайки винт получает поступательное движение и осуществляет подъем или опускание конца ферм.

Чтобы увеличить скорость вертикального перемещения, не прибегая к слишком большому шагу винта, устраивают обычно двойной винт с обратными нарезками. Опорное давление и в закрытом состоянии моста передается через винтовую нарезку—в этом слабое место опор домкратного типа.

Механизмы, приводящие в движение винт, могут быть расположены или на неподвижной части—на быке, устое, соседнем пролетном строении, или на самом разводном пролете.



Фиг. 142.

Фиг. 142 и 143 относятся к мосту в Wilhelmshafen (схему моста см. фиг. 120), имеющему крайние опоры домкратного типа с расположением механизмов на устье. На каждые две опоры дан один электромотор, спрятанный в нише. Горизонтальный вал приводит во вращение втулку, надетую на винт с двойной нарезкой. Винт соединен со втулкой вертикальным шипом таким образом, что вращение втулки передается винту, но винт может иметь относительно втулки и вертикальное перемещение. Вывинчиваясь одновременно из верхнего и нижнего стаканов, винт энергично поднимает верхнюю опорную подушку, снабженную качающейся стоечкой. Получается подвижная опора.

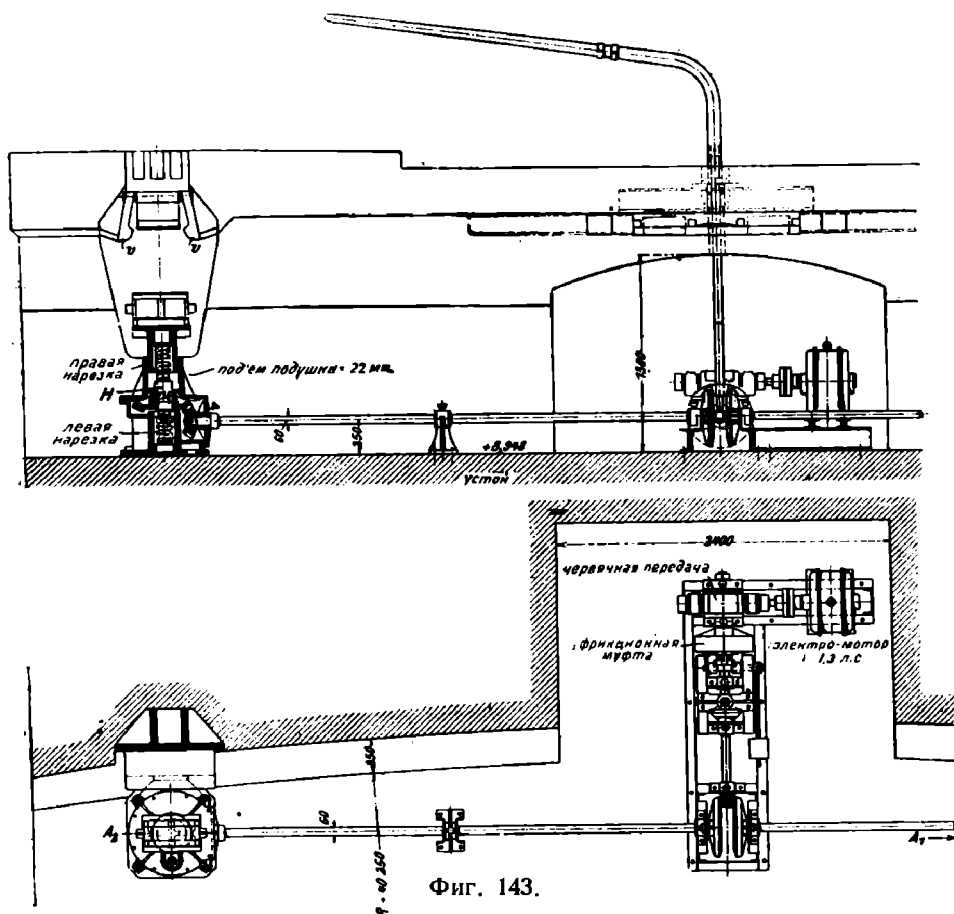
Качающаяся стоечка прикреплена к той части конструкции, которая остается во время открывания моста на устье; фермы имеют лишь плоские опорные подушки.

На тех же чертежах показано устройство отрицательной опоры, наличие которой диктуется системой пролетного строения (фиг. 120). Солидная ребристая отливка заделана в кладку устья; к отливке шарнирно подвешена небольшая стоечка. На случай порчи мотора предусмотрено оборудование для работы вручную (рукоятка G_1 и вертикальный вал).

На фиг. 144 изображен другой пример опоры домкратного типа (мост через Reierstieg в Гамбурге) с расположением двигателя на самом пролетном строении. Вращение винта в этой опоре, с одной стороны, заставляет подниматься верхнюю часть и с ней вместе опорный узел фермы, с другой—заставляет перемещаться вниз специальный вкладыш A . Опора подвижная. Имеет приспособление K , прикрепленное к ферме соседнего пролета, для принятия отрицательных реакций.

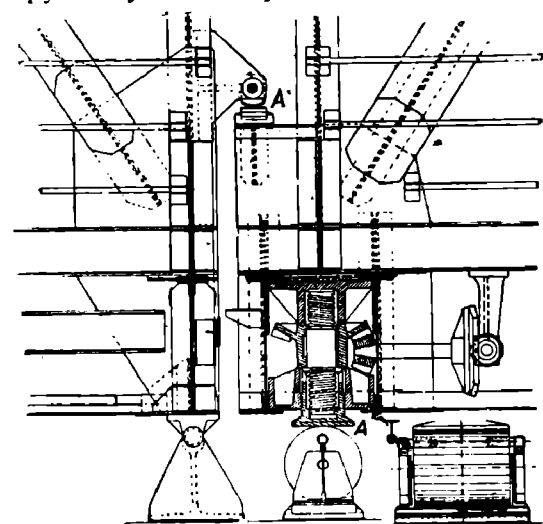
14. Из всех описанных выше опорных механизмов наименьшее сопротивление движению при подклинке свойственно системам с коленчатым рычагом по типу фиг. 136 (см. § 14). С другой стороны, такие опоры наименее надежны в закрытом состоянии моста; легко могут при сдаче тормоза сложиться.

Указанный недостаток при сохранении коленчатой схемы устранен в опорных механизмах нового поворотного моста через Прегель в Кенигсберге (фиг. 150), изображенных на фиг. 145, 146, 147 и 148.



Фиг. 143.

Фермы опираются на солидную отливку, ограниченную сверху и снизу цилиндрическими поверхностями. Эта отливка может быть поднята брусом двутавровой формы. Брус получает поступательное перемещение от двух коленчатых рычагов, соединенных с секторами и с системой зубчатых колес.



Фиг. 144.

Подъем производится сначала на высоту, превышающую на 1 см нормальное положение опоры. Затем при помощи специального изогнутого рычага под отливку, непосредственно принимающую опорное давление, задвигается подставка (Gleitstein). Дальнейшим движением коленчатых рычагов (они переходят за вертикальное положение) опора опускается на 1 см, и зазор между подставкой и опирающейся на нее отливкой исчезает. Опускание производится в обратном порядке.

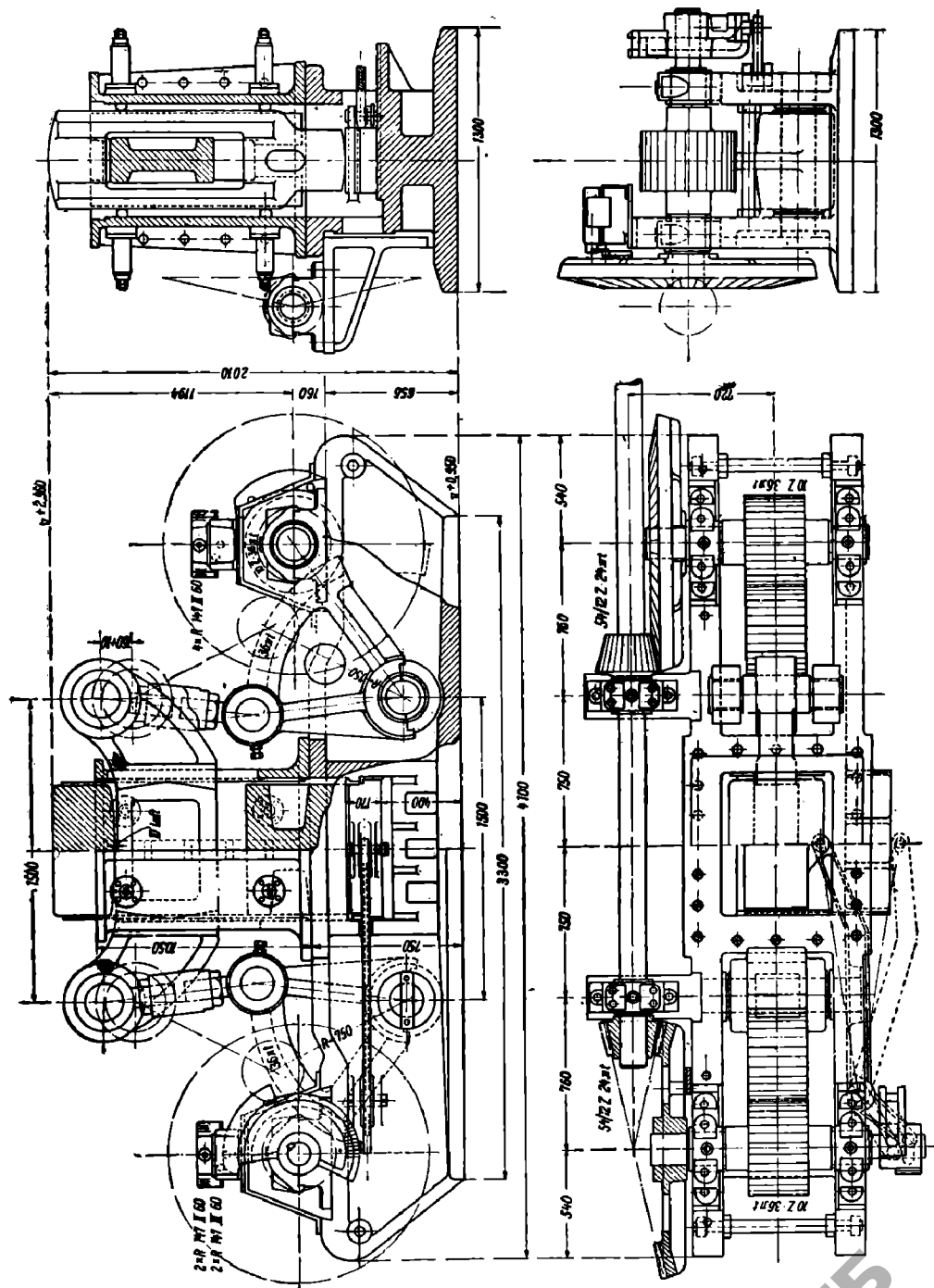
Общая высота подъема (не считая 1 см, вызванного особенностью конструкции) равна 16 см. Наибольшая опорная реакция 869,6 т. Мощность двигателя (для двух механизмов, на правой и левой ферме)—38 л.с. Время одной операции (подъем

или опускание)—30 сек. Предусмотрено ручное оборудование: 3 человека могут поднять опору в 180 сек.

15. Конструирование опорных частей, не имеющих специальных механизмов для изменения высоты опоры, не представляет особых затруднений. Необходимо лишь

устроить так, чтобы верхняя подушка могла легко сниматься с той части опоры, которая остается неподвижной. Кроме того надо принять меры, обеспечивающие возможность регулирования высоты опоры. К числу таких мер относятся клинья, которые удобно перемещать винтом с неподвижной гайкой (фиг. 150).

На фиг. 149 и 150 в качестве примера приведены опорные части некоторых поворотных мостов системы Шведлера. Конструкция их ясна из чертежей.



Фиг. 145, 146, 147 и 148.

С успехом может быть использована в некоторых случаях опора по типу фиг. 172.

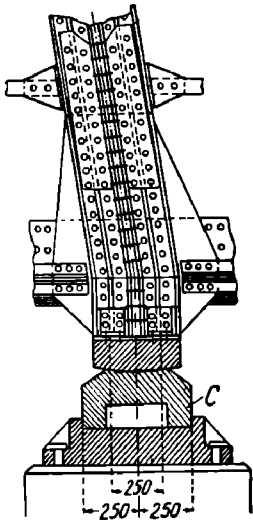
На фиг. 151 изображена подвижная опора моста в Industriehafen в Мангейме. Верхняя плоская подушка опирается на каток, посаженный на неподвижную ось.

Такого рода опорные части имеются в мостах системы Шведлера, где, как было сказано выше, подклинивающим механизмом снабжается лишь одна опора каждой фермы.

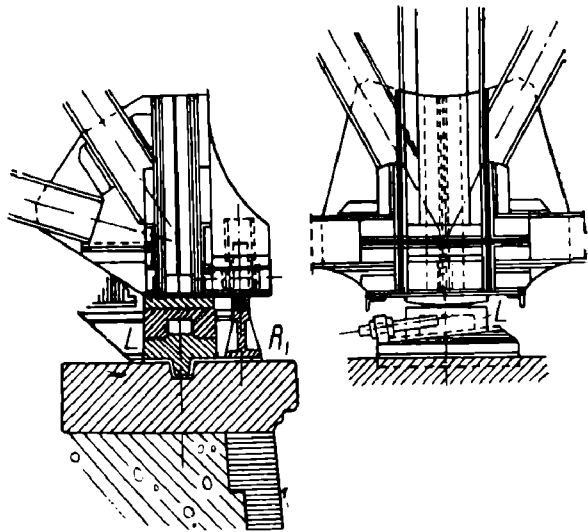
§ 6. СХЕМЫ МЕХАНИЗМОВ ВРАЩЕНИЯ ПОВОРОТНЫХ МОСТОВ

16. В громадном большинстве случаев в качестве двигателей, приводящих поворотную часть в движение, применяются в настоящее время электромоторы. Значительно реже—гидравлические двигатели, или двигатели внутреннего сгорания.

В зависимости от местных условий, двигатели могут быть помещены или на вращающейся части моста, или на неподвижной—на быке, устое, на соседнем пролетном строении.



Фиг. 149.



Фиг. 150.

Наиболее распространенный способ приведения поворотной части в движение заключается в том, что вращение мотора через систему зубчатых колес передается шестерне, зацепленной с зубчатой дугой. Последняя прикрепляется к пролетному строению, либо укладывается на быке, в зависимости от местонахождения двигателя—на неподвижной или на подвижной части моста.

В небольших сооружениях достаточно иметь одну ведущую шестерню. При большей мощности установки количество ведущих шестерен увеличивается до 2,4 и более.

Размещение двигателей, зубчатых колес и пр. может быть весьма разнообразным и каждый раз определяется наилучшим использованием места. Ниже приводится несколько примеров.

Будку механика, управляющего движением, необходимо поставить в условия хорошей видимости из нее.

Небольшие поворотные мосты приводятся в движение без мотора ручной лебедкой.

Наличие последней, даже при оборудовании моторами, крайне желательно на случай порчи таковых.

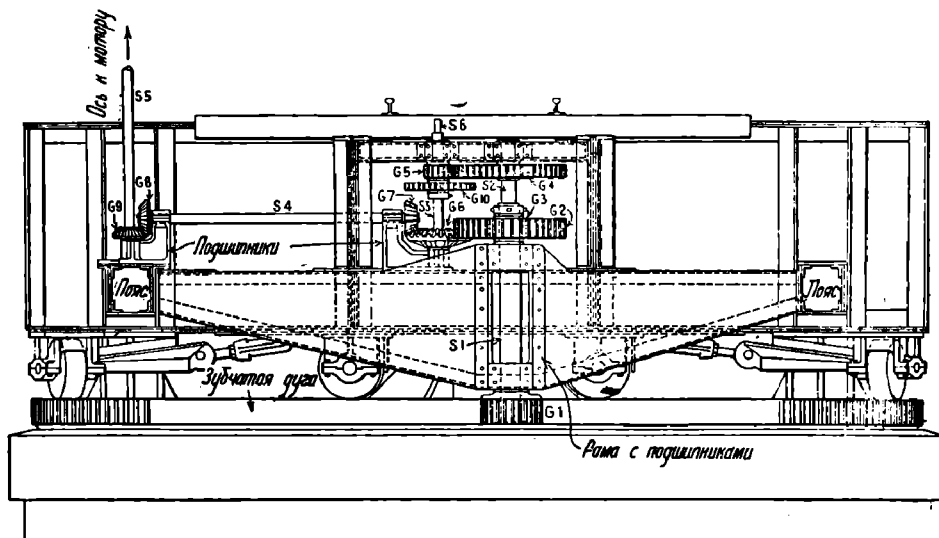
На фиг. 152 показан механизм вращения одного из американских поворотных мостов. Шестерня G_1 с вертикальной осью вращения зацепляет за зубчатую дугу, уложенную на быке. Вращение шестерни осуществляется или посредством рукоятки, надеваемой на квадратный стержень S_6 , или мотором, помещенным на веру пролетного строения (мост с ездой понизу).

Передаточный от мотора механизм состоит из вала S_5 и системы зубчатых колес. В пояснение фиг. 152 следует заметить, что ось S_2 находится позади оси S_1 , а ось S_6 позади оси S_3 .

Пример расположения механизмов вращения на неподвижной части моста показан на фиг. 153, 154 (мост через р. Прегель в Кенигсберге). Даны две группы механизмов, работающих независимо друг от друга. В каждый агрегат включен электромотор 43,5 л. с., расположенный в специальном помещении, оставленном в каменном массиве. Электромотор действует через вертикальный вал на группу зубчатых колес, оканчи-

вающихся шестерней, зацепленной за зубчатый круг. Те же зубчатые колеса и шестерня могут быть приведены в движение и вручную, при помощи горизонтального вала с рукоятками по концам. При действии двух моторов мост открывается в 80 сек, при действии одного мотора в 160 сек; вручную—в 720 сек (вес пролетного строения около 1 156 т).

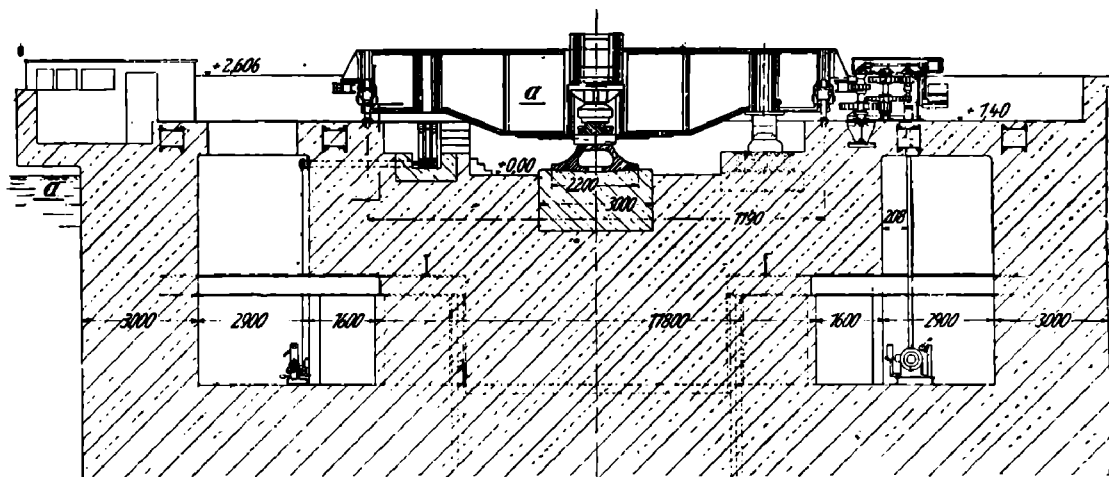
На тех же фиг. (153, 154 и 155) показано расположение механизмов подклинки для средних опор.



Фиг. 152.

Управление всеми механизмами сосредоточено в специальном помещении (слева наверху на фиг. 124).

На фиг. 156 показана схема механизмов вращения разводной части моста Равенства в Ленинграде (фиг. 104). Вместо шестерни и зубчатой дуги для вращения использована цепь Галля, уложенная в особом жолобе рядом с нижним кругом катания. Цепь Галля закреплена в двух точках на быке и пропущена через зубчатые колеса, находящиеся на поворотной части. При вращении шестерни все пролетное строение «под-

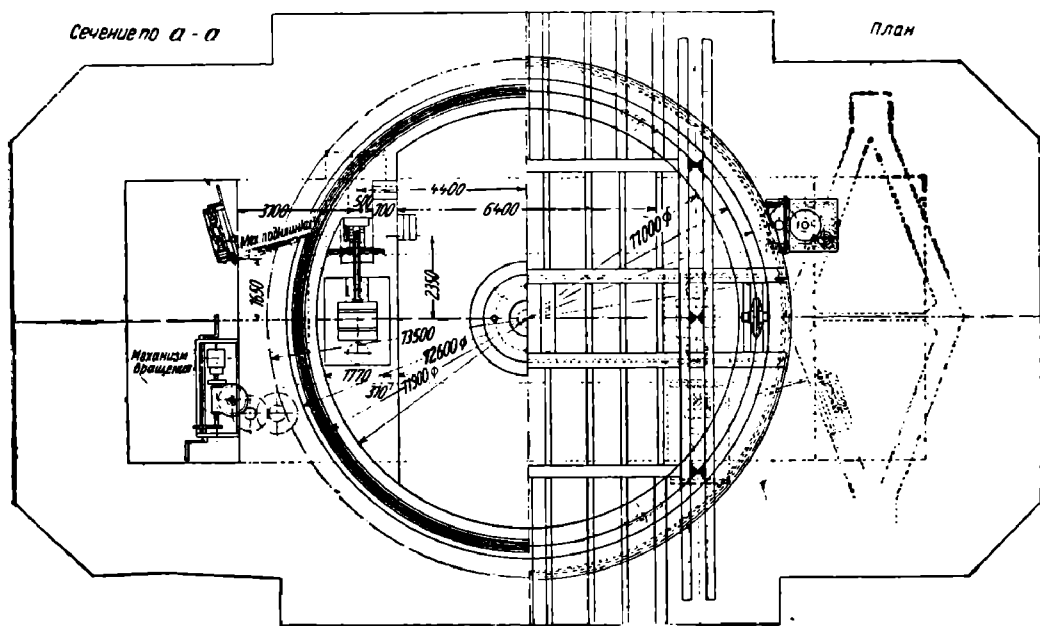


Фиг. 153.

тягивается» в ту или другую сторону и приходит в движение. Для амортизации резких натяжений по концам цепи Галля поставлены пружинные буфера. Все механизмы, а также будка механика размещены на площадке, устроенной в плоскости нижнего пояса ферм.

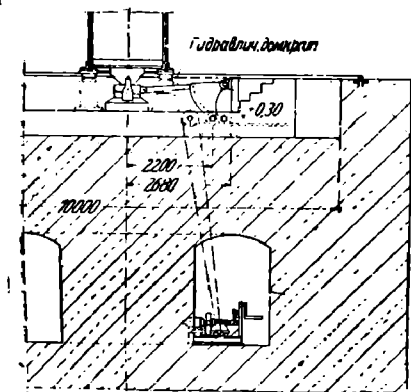
При гидравлическом оборудовании вращение пролетного строения осуществляется посредством гидравлических прессов. Пример—мост в Os tertonfeld (фиг. 157). Цилиндры

гидравлических прессов расположены под углом друг к другу; один из них служит для вращения в одну сторону, другой—в другую. На концах поршней и на концах цилиндров сидят шкивы. Через шкивы перекинут стальной трос, закрепленный на быке в двух точках. Для направления движения троса поставлены еще вспомогательные шкивы. Действие механизма станет понятным, если принять во внимание, что в то время как в одном цилиндре поршень *выдвигается*, в другом *вдвигается*. Управление движением сосредоточено в будке наверху. Прессы работают водой под давлением в 50 ат.

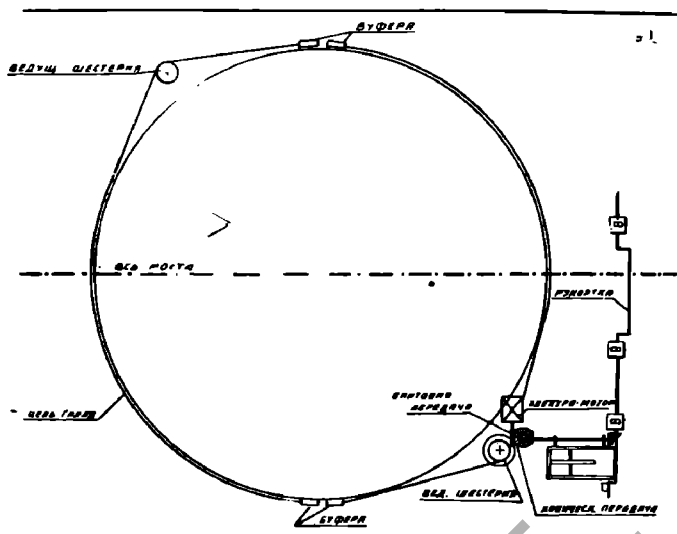


Фиг. 154.

Как уже указывалось, местоположение механизмов вращения может быть весьма разнообразным. В мосту Neuhoф через Reihertieg (фиг. 85) механизмы помещены сверху на площадке, опирающейся на верхние пояса ферм; в мосту в Wilhelmshafen (фиг. 120) на площадке, устроенной в опорной стойке, ниже полотна; в мосте через Миссури в Отава (фиг. 107а)— также на опорной стойке, но выше габарита и т. д.



Фиг. 155.



Фиг. 156.

§ 7. ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИИ ПОВОРОТНЫХ МОСТОВ

17. Мост Puymont.¹ Разводная часть построенного в 1901 г. моста Puymont через Darling Harbour в г. Сиднее имеет поворотную систему с центральным барабаном (фиг. 158).

¹ „The Engineer“. 1917 г., т. 123.

Мост — под обыкновенную дорогу. Ширина экипажного проезда 12,19 м. Тротуары по 2,20 м. Поворотная часть — двухрукавная. Длина ее между крайними опорами 67,87 м. Главные фермы, в количестве четырех, расставлены на расстоянии 4,06 м друг от друга. Диаметр барабана, на который опираются главные фермы, — 10,67 м.

Передача нагрузки от пролетного строения на барабан происходит посредством коротких балочек, поставленных на барабан сверху, с разделением его окружности на 16 равных частей, как это видно из фиг. 102, 159а и 160.

Барабан представляет собой клепаную двутаврового сечения часть высотой 1,52 м. Радиальными связями, имеющими вид фермочек, барабан соединен с центральной отливкой (фиг. 160).

Давление от барабана передается на катки (фиг. 110), сидящие свободно на осях. Последние продолжены до центральной отливки и соединены болтами с плоским кольцом, надетым сверху на соответствующей формы приливы, сделанные у центральной отливки (фиг. 111, 160).

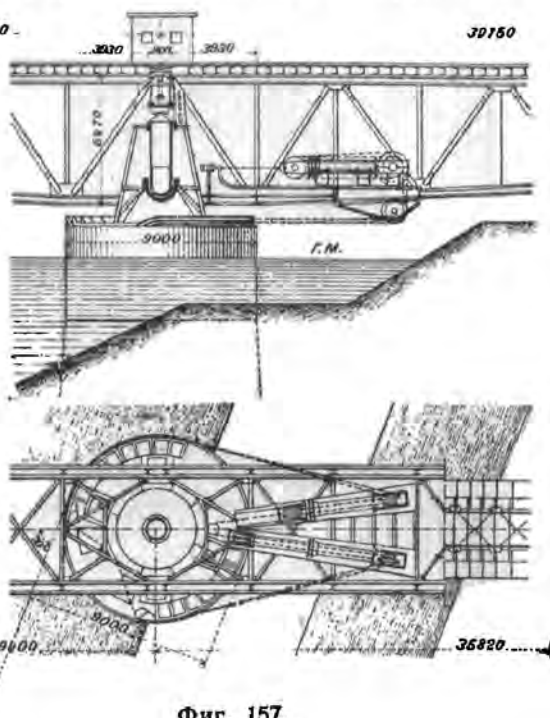
Между собой оси катков соединены планками — с наружной стороны катков (фиг. 161) и пояском из уголка (фиг. 111) — посредине своей длины.

Перекатывание катков совершается по нижнему кругу катания, представляющему собой коробчатой формы стальную отливку с ребрами. Нижний круг катания уложен на кладку быка и закреплен завершенными болтами.

Катки — конические (с пересечением образующих конусов на оси вращения всей системы), двутаврового профиля (фиг. 110). Диаметр катков 0,46 м, ширина 0,25 м. Всего имеется 66 катков.

Центральная отливка, являющаяся направляющей осью для барабана, имеет вид цилиндра с радиальными ребрами в нижней части. Сверху на цилиндр надеты плоские кольца, к которым прикреплены радиальные связи барабана (фиг. 160). Самое верхнее кольцо прижато планкой. В нижней части на выступы опирается кольцо, объединяющее оси катков, как об этом сказано выше. Между кольцами и плоскостями,

Фиг. 157.



Фиг. 158.

на которых они лежат, имеются прокладки из фосфористой бронзы. Диаметр цилиндрической части центральной отливки 0,46 м. Высота ее около 1,10 м.

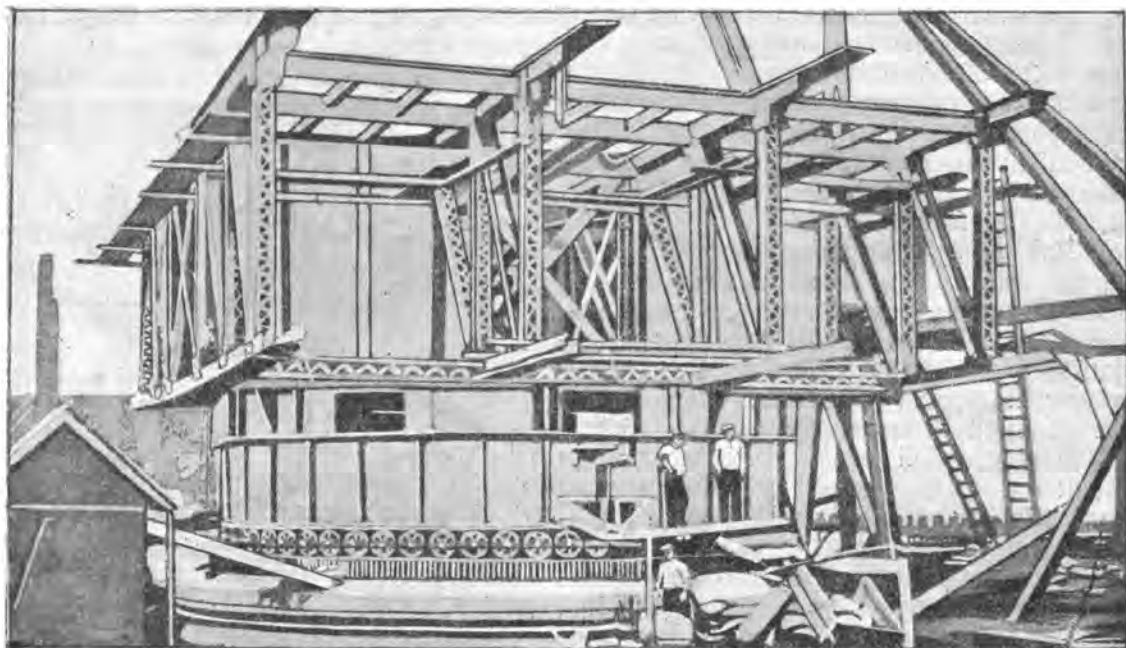
Вращение поворотной части осуществляется посредством двух шестерен и зубчатой дуги, укрепленной на быке с наружной стороны пути катания (фиг. 160, 161).

Шестерни приводятся в движение двумя электромоторами

по 50 л. с. каждый. Механизмы вращения смонтированы на площадке, расположенной внутри барабана под проезжей частью моста (фиг. 160).

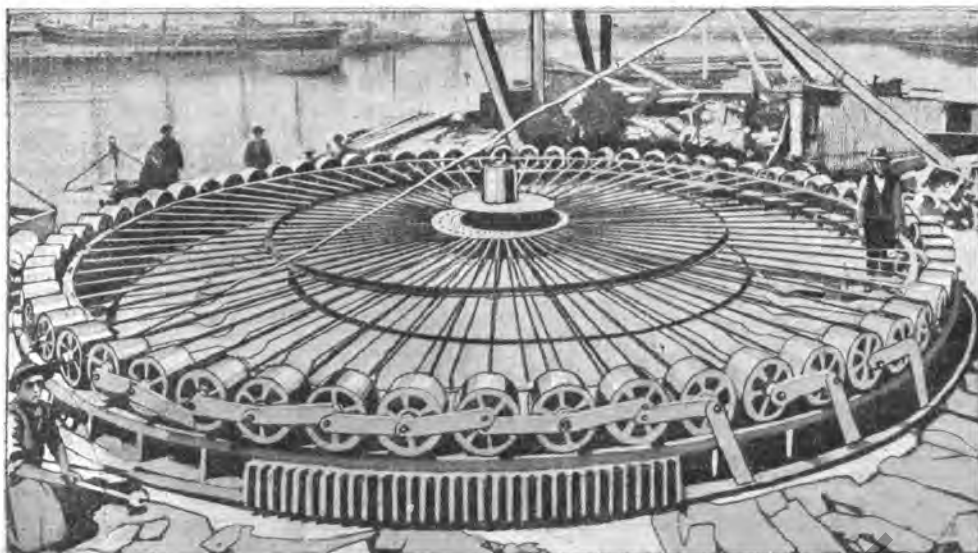
Опорные части ферм имеют приспособления, позволяющие опускать или поднимать концы ферм (фиг. 162 и 163). Для этой цели на поперечном валу посажены эксцентрики с подъемом при вращении на 38 мм. Эксцентрики опираются на стальные отливки,

удерживаемые пружинами. Перед началом поворота пролетного строения эти отливки приводятся в приподнятое положение над нижними неподвижными опорными подушками (на 44 мм, 6 мм за счет игры пружин). Вал, на котором сидят эксцентрики, получает вращение от мотора 35 л. с., расположенного посредине пролета.



Фиг. 159-а.

Для смягчения удара при закрывании моста устроен буфер, показанный на фиг. 164. Буфер состоит из отливки, верхний конец которой ограничен поверхностями, расходящимися в стороны наподобие крыльев. Нижний конец отливки закреплен шарнирно в солидной коробчатой балке, поставленной на быке. Внутри балки спрятаны пружины,

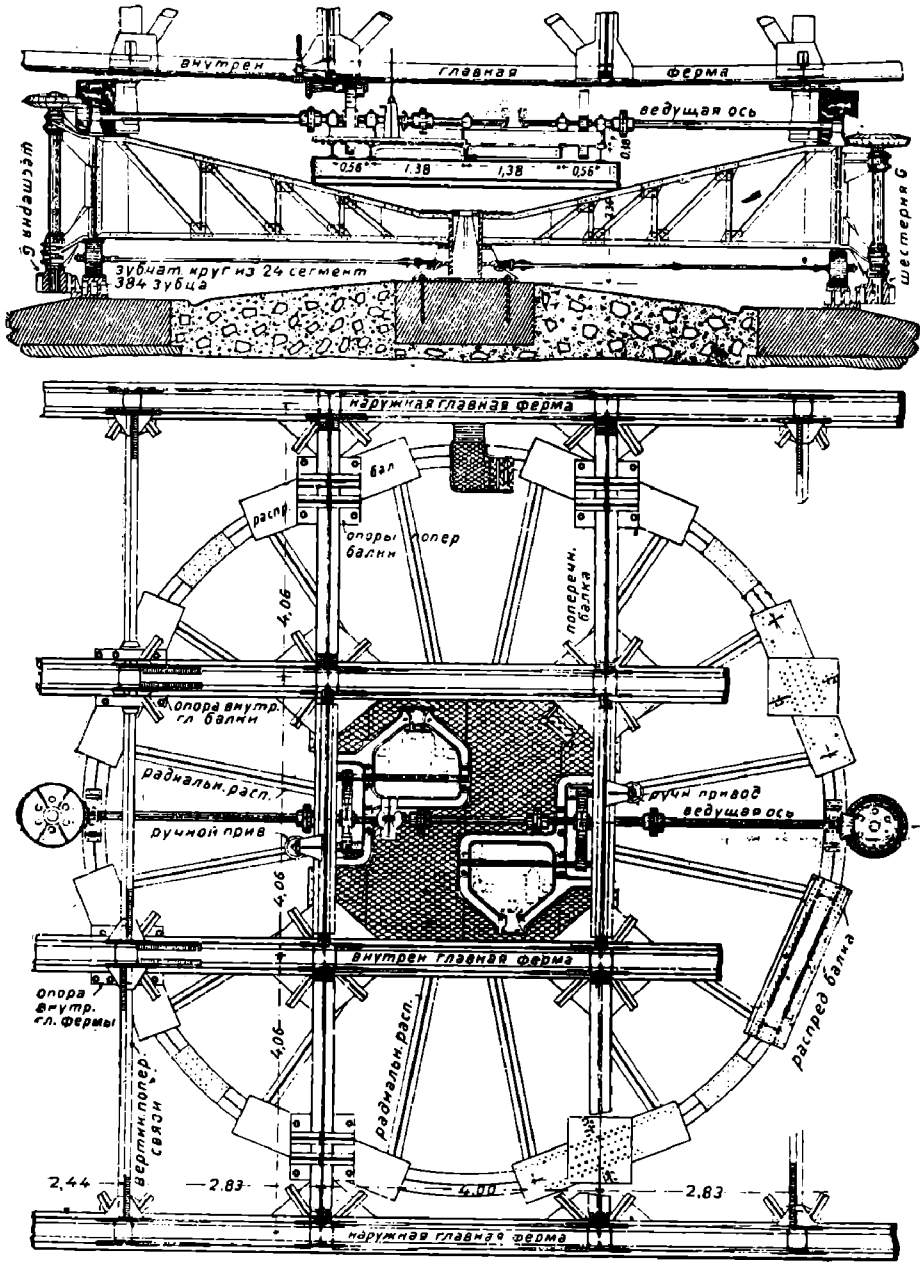


Фиг. 159-б.

стремящиеся удерживать крыльчатую отливку в вертикальном положении. Над буфером прикреплен к пролетному строению небольшой ролик. Стержень, на котором находится ось ролика, может иметь вертикальные перемещения. Двигаясь по направляющим поверхностям буфера, ролик попадает в приготовленное для него углубление, что и вызывает амортизацию удара.

18. Мост Neuhoft через Reiherstieg в Гамбурге. Мост—поворотный системы Шведлера. Схема моста была приведена ранее (фиг. 86). На фиг. 165 дана фотография береговой части моста.

Длинный рукав имеет 50,8 м между центрами опор, короткий—24,2 м. При повороте пролетное строение опирается на ось вращения (пятю) *O* и на поддерживающие колеса, находящиеся на конце *A* (фиг. 137). Рельс, по которому катятся колеса, лежит на каменной в четверть окружности стенке.

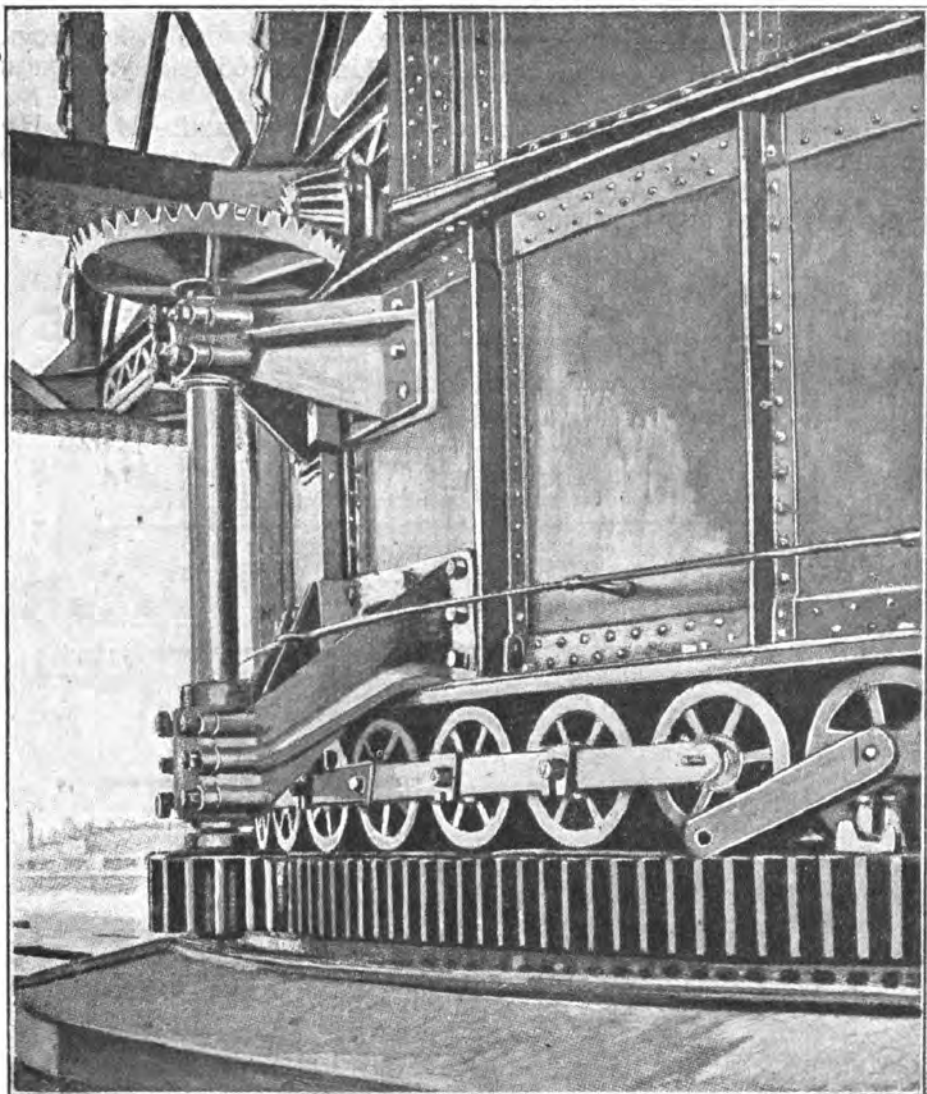


Фиг. 160.

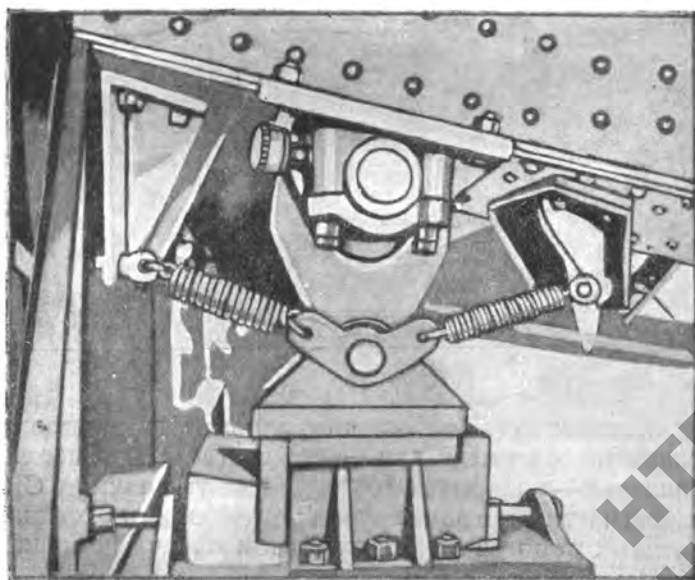
Снятие с опор происходит путем небольшого опрокидывания пролетного строения так, как это было подробно объяснено для мостов системы Шведлера.

Для передачи давления—в закрытом состоянии моста на опору *C*, а при открывании на пятю *O*—в средней части ферм дана группа раскосов, из коих один идет к опоре *C* а два других, соединенных решеточкой, подходят к поперечным балкам, обхватывающим ось вращения (фиг. 166).

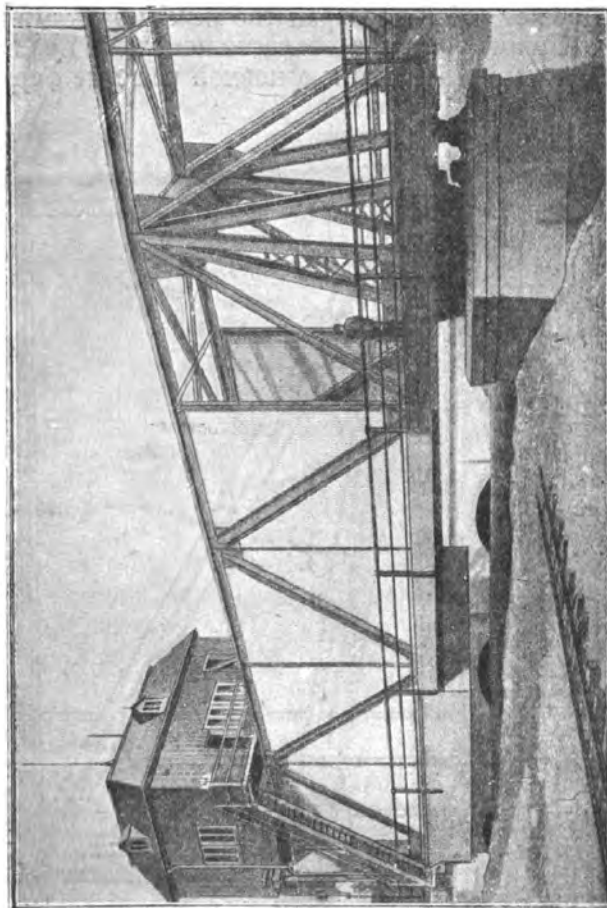
В той же средней части нижние пояса образуют вилки (фиг. 167) для закрепления в них осей предохранительных боковых колес. Ось вращения (фиг. 168) обычного для такого рода мостов типа (см. § 4 п. 10).



Фиг. 161;

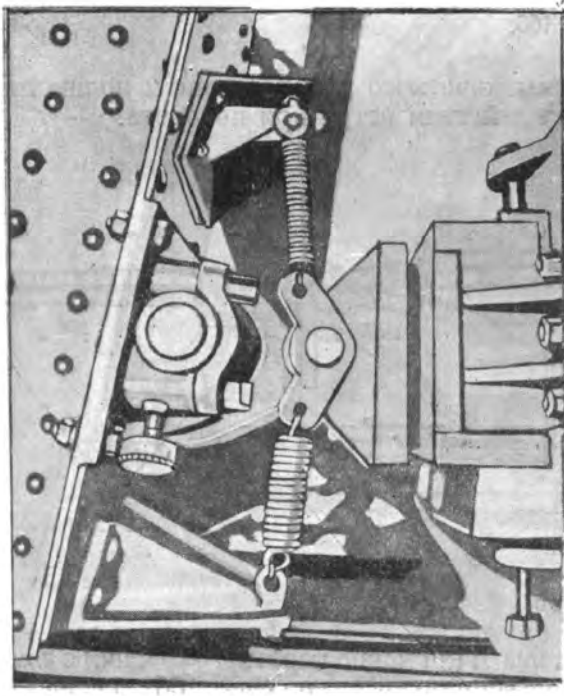


Фиг. 162.

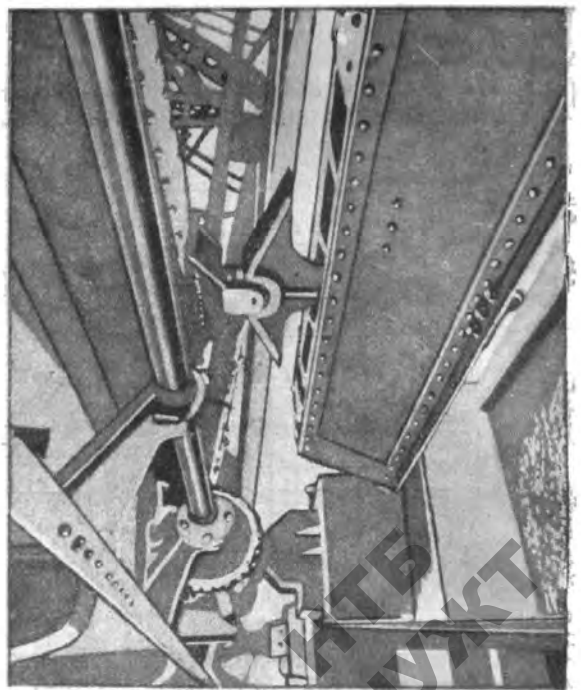


Фиг. 165.

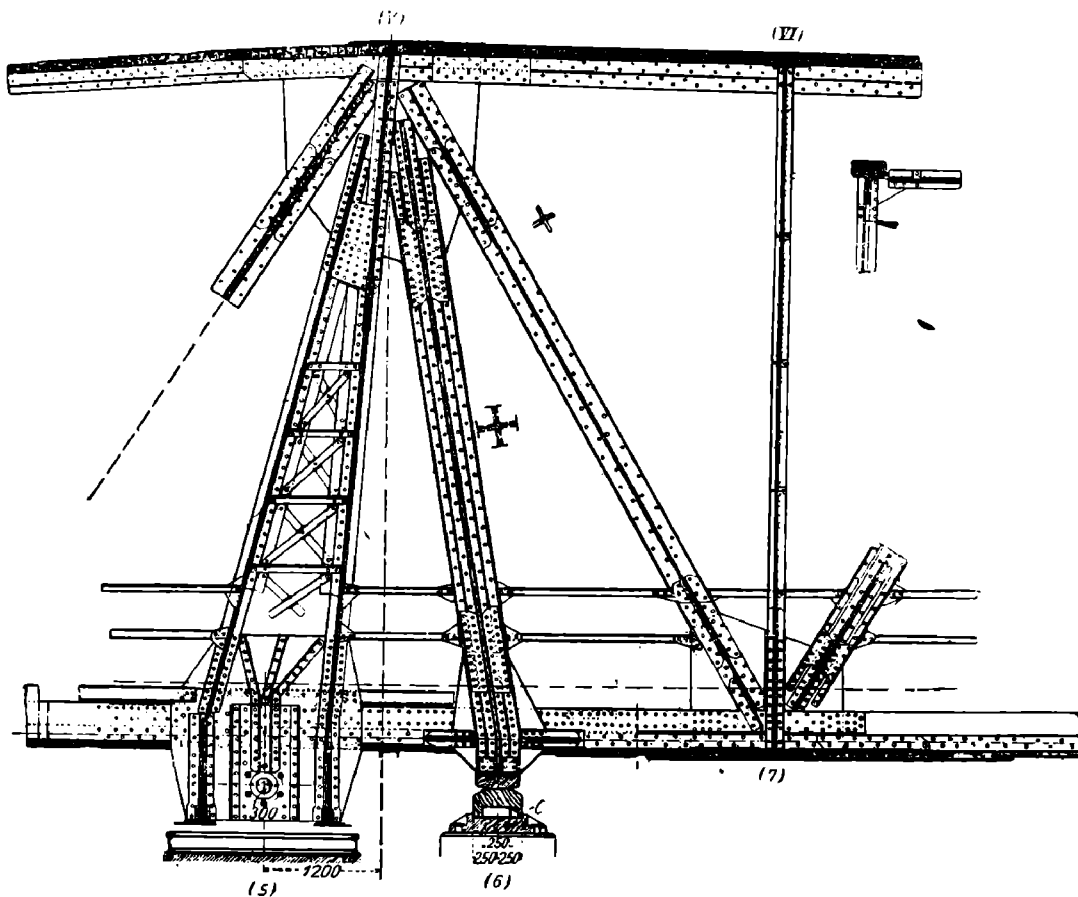
Фиг. 163.



Фиг. 164.

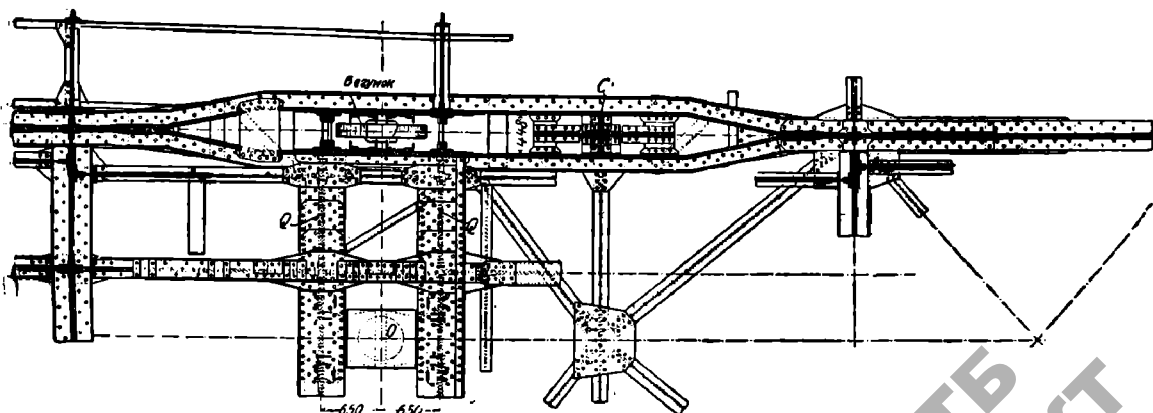


Противовес, помещенный в конце короткого рукава, состоит из бетона, армированного рельсами, и заполняет собой пространство между балками проезжей части в пределах двух панелей. Помимо того часть баласта помещена под нижними поясами ферм (фиг. 170). Для поддержания баласта к основной решетке ферм добавлены вспомогательные раскосы.



Фиг. 166.

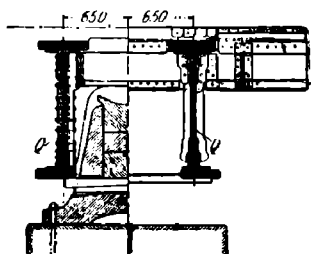
На протяжении четырех панелей фермы короткого рукава защиты волнистым железом. Это сделано для уравнивания действия ветра при повороте.



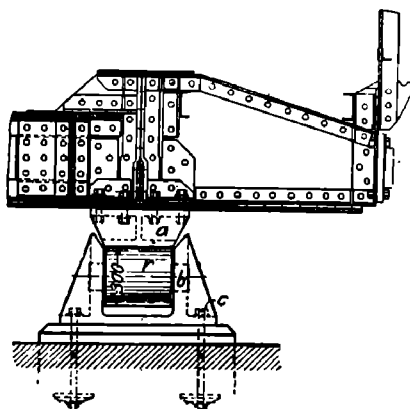
Фиг. 167.

Все опоры ферм—подвижные. Из них опоры А (на конце короткого рукава) с домкратным механизмом, катковые, опоры С—тангенциального типа (фиг. 166), а опоры В (на конце длинного рукава) состоят из одного катка, сидящего на неподвижной оси, и опорной подушки, опирающейся на каток (фиг. 169).

Продольная неподвижность пролетного строения в целом обеспечивается осью вращения O , которая хотя и освобождена от действия вертикальных сил, но может принимать горизонтальные силы.

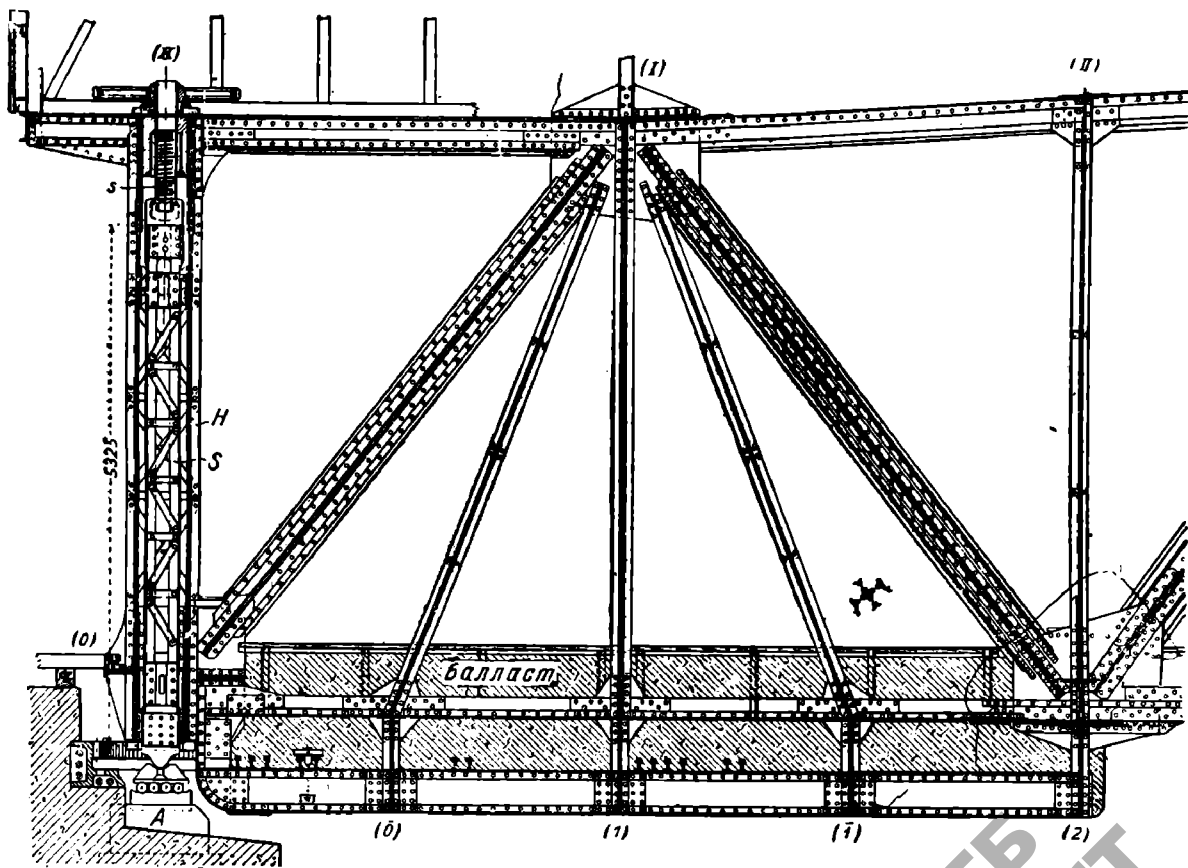


Фиг. 168.



Фиг. 169.

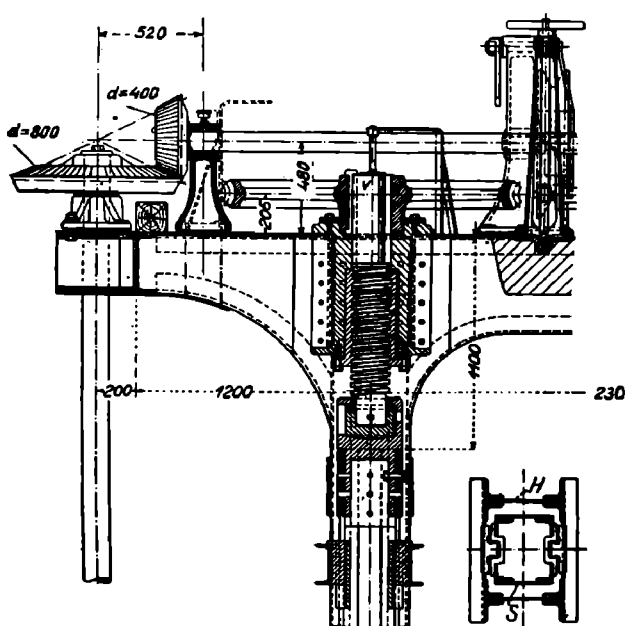
Домкратный механизм опор A расположен на верхнем поясе ферм и состоит из винта, который может вращаться в неподвижной гайке, перемещая тем самым вверх и вниз трубчатую клепаную стойку. Последняя находится внутри опорной стойки фермы и оканчивается внизу сферической подушкой, входящей в чашку нижней отливки (фиг. 171 а, б).



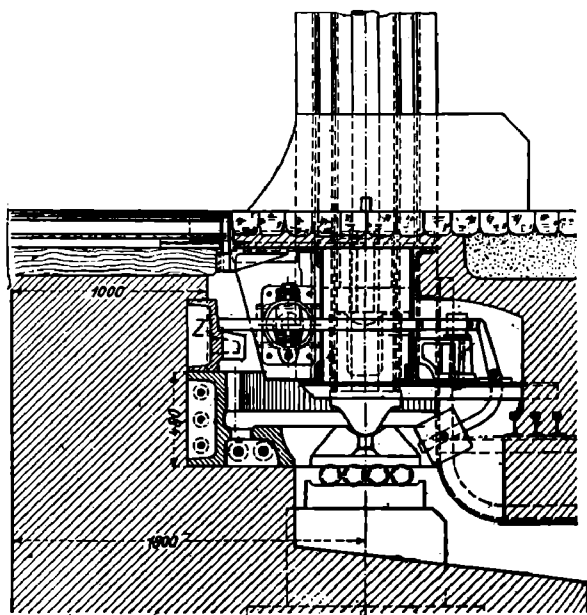
Фиг. 170.

Интересна конструкция той части опоры, которая остается при открывании моста на устой. Она состоит из двух отливок и четырех цилиндрических катков (фиг. 172). Подвижная отливка удерживается двумя стальными полосами, играющими роль пружин. Верхние части стальных полос повернуты на 90° по отношению к нижним.

Механизмы вращения собраны в будке на верхнем поясе короткого рукава. Вращение пролетного строения осуществляется при помощи двух шестерен, зацепляющих за зубчатую дугу (фиг. 173).

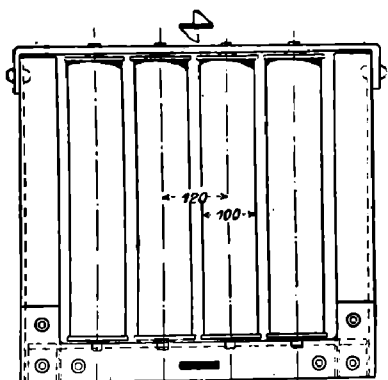
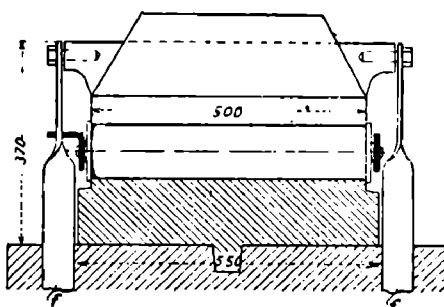
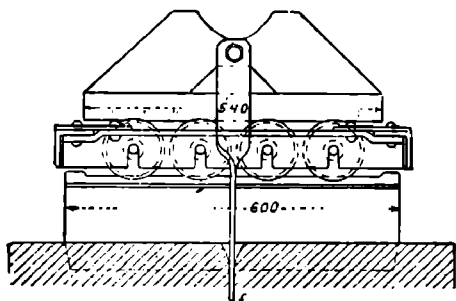


Фиг. 171-а.



Фиг. 171-б.

Для поглощения живой силы при остановке пролетного строения предусмотрены пружинные буфера, между которыми зажат небольшой рычаг. Выступающий конец этого рычага, попадая в углубление, сделанное в неподвижной балке с наклонными



Фиг. 172.

стояние между осями ферм 9,26 м. Высота ферм на средней опоре—13,4 м.

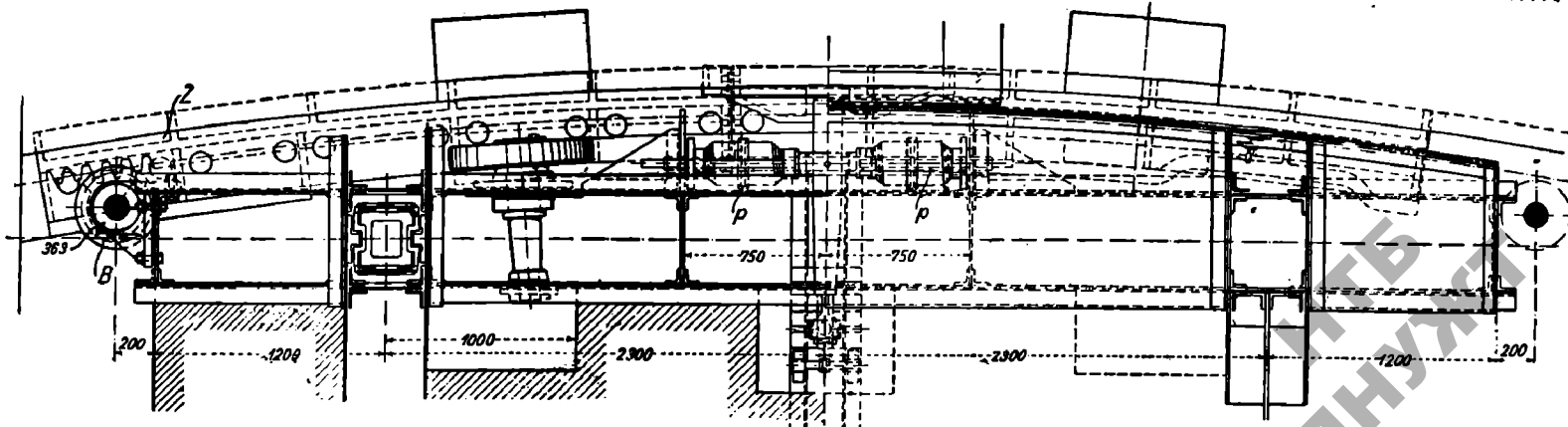
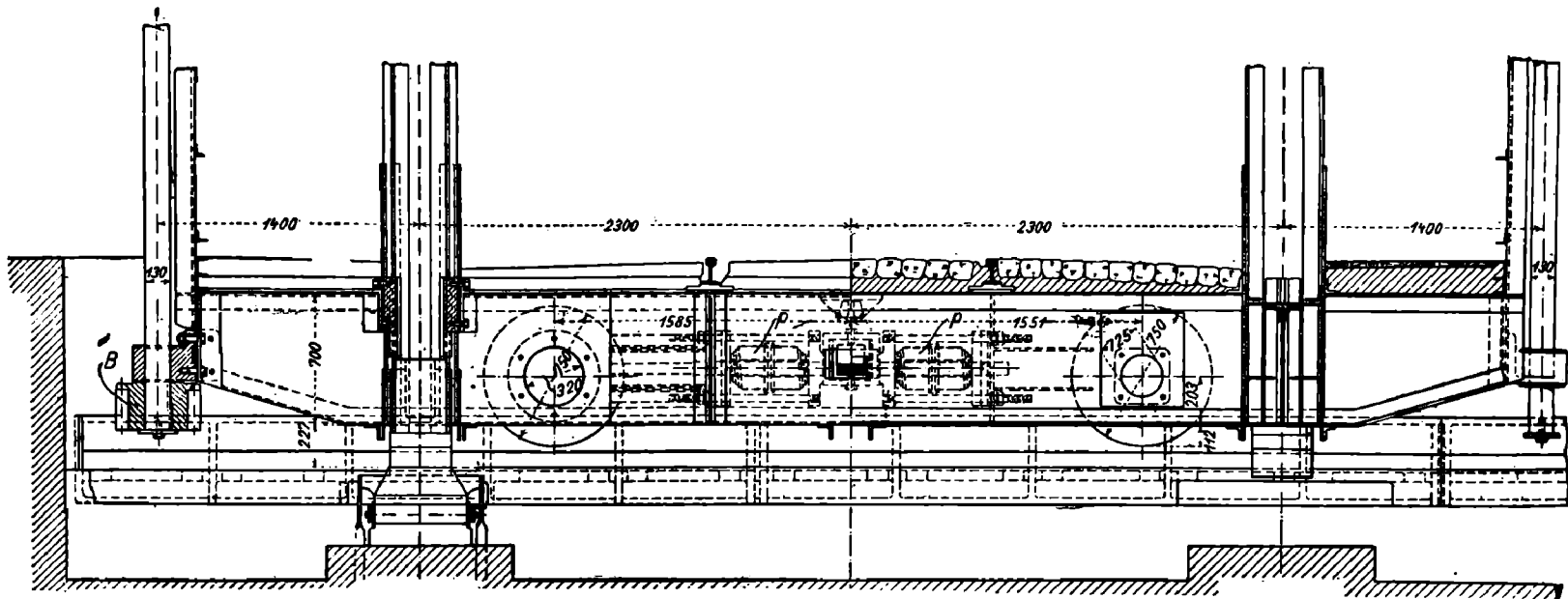
Общий вид разводной части показан на фиг. 174 и 175. Поворот пролетного строения совершается на пятнике, давление на который передается тремя средними

плоскостями, заставляет разводную часть плавно остановиться. Чтобы начать открывать мост, прежде всего необходимо поднять рычаг. Положение рычага должно быть связано с блокировкой моторов.

19. Мост через Caronte (Франция)¹. Разводная часть двухпутного ж.-д. моста через Caronte относится к поворотным системам, опирающимся во время вращения исключительно на ось вращения; поддерживающие колеса даны лишь для устойчивости.

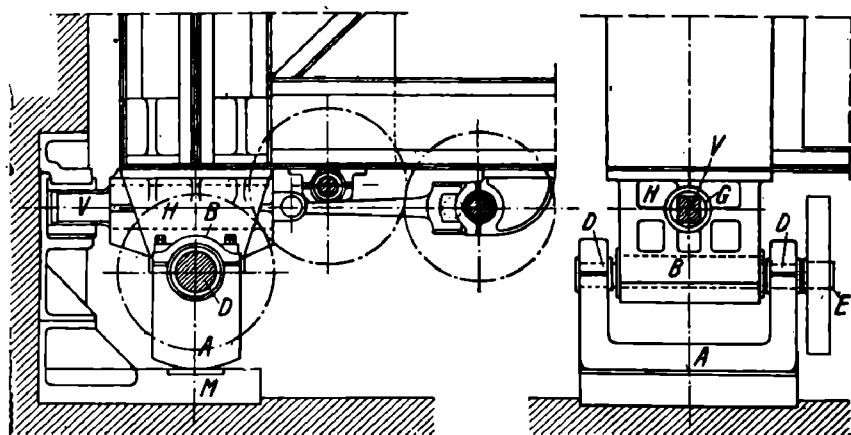
Мост—двухрукавный. Длина каждого рукава между центрами опор 56,5 м. Рас-

¹„Gente Civil“, 1916 г., т. 68.



Фиг. 173.

стоит из вертикального стержня, прикрепленного со свободным вертикальным ходом к опорной поперечной балке и имеющего (фиг. 183) колесико на нижнем конце. Колесико попадает в углубление между двумя наклонными плоскостями I_1 и I_2 , при-



Фиг. 182.

крепление которых к кладке быка выполнено при участии ресор. Последние рассчитаны на удар при остановке, способны вернуть, пролетное строение в нормальное положение при отклонениях его силами инерции и могут выдержать нагрузку ветром в 60 кг/м^2 , считая его действующим лишь на один рукав.

Чтобы поднять задвижку, необходимо

повернуть вал M (фиг. 183). Палец, которым снабжен этот вал, подходит под выступ P на задвижке, сообщает ей вертикальное перемещение и при дальнейшем вращении вала M снова отпускает стержень V . В этот момент, вследствие начавшегося поворота моста, колесико задвижки оказывается уже над наклонной плоскостью, по которой и скатывается вниз.

Механизмы поворота пролетного строения состоят из четырех ведущих шестерен и приводимой в движение двигателем внутреннего сгорания лебедки, которая помещена в будке наверху. Вращение от лебедки передается ведущим шестерням системой горизонтальных и вертикальных валов.

Мощность двигателя 100 л. с. Полный вес пролетного строения 1 450 т. Время поворота около $4\frac{1}{2}$ мин. Продолжительность всех операций по разводке или наводке моста—6 мин.

Глава II

РАСЧЕТ ПОВОРОТНЫХ МОСТОВ. ДАННЫЕ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ЭСКИЗНОГО ПРОЕКТА

§ 8. ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ ФЕРМ

20. Фермы поворотных мостов в отношении расчета представляют собой в закрытом состоянии чаще всего неразрезные балки на четырех или на трех опорах в зависимости от того, происходит ли при открывании опирание на катки или на ось вращения. Двойные поворотные мосты (фиг. 80 и 81) являются балками с консолями, соединенными шарниром.

Расчет перечисленных систем не представляет особых затруднений, делается по общим правилам строительной механики и потому здесь не рассмотрен. Кроме расчета ферм для закрытого состояния моста необходимо проверить их на постоянную нагрузку при открывании.¹

¹ Примеры расчета поворотных мостов см. Bau-technik 1927 (мост через Прегель), Zeitsch. Vereines Deutsch Ing. 1900 г. т. 44. (мост Neuhof).

Высота ферм существующих поворотных мостов колеблется в больших пределах. На средней опоре обычно дается высота в $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{8}$ длины большого рукава. В некоторых мостах высота доходит до $\frac{1}{3}$ и даже бывает больше (мост в Отава в Америке $\frac{h}{l} = \frac{1}{2,5}$, мост через Harlem $\frac{h}{l} = \frac{1}{2,9}$). Встречаются мосты и с меньшей высотой ферм на средней опоре: в $\frac{1}{9}$ — $\frac{1}{10}$ длины большого рукава. На крайних опорах высота ферм уменьшается до 0,5—0,8 высоты на средней опоре, если позволяет габарит. При большой высоте на средней опоре (20—30 м) отношение высот (на средней и крайней опорах) понижается до 0,3—0,4. Назначение высоты должно быть сделано на основании тех же соображений, какими следует руководствоваться в мостах неподвижных, т. е. исходя из условий достаточной жесткости ферм и стремясь к наименьшему их весу. При этом не следует забывать, что фермам поворотных мостов приходится работать в условиях консолей при открывании моста.

В таблице 1 приведены некоторые данные из практики о высотах ферм поворотных мостов.

§ 9. ВЕС ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ПОВОРОТНЫХ МОСТОВ

21. Предварительное задание веса пролетного строения поворотного моста может быть выполнено по одному из изложенных ниже способов.

Вес проезжей части определяется как для постоянного моста. Для выяснения веса ферм в тех случаях, когда система ферм—неразрезная балочная, можно воспользоваться формулой Шведлера для крайних пролетов неразрезных ферм:

$$p = \frac{F \cdot R + 31,94 kl \left(0,077 \frac{l}{h} + 0,50 \right)}{R - 16,38 \left(0,077 \frac{l}{h} + 0,50 \right)},$$

где

p —вес пог. метра в тоннах, F —вес пог. метра проезжей части в тоннах, R основное допускаемое напряжение в m/m^2 , l —пролет в метрах, h —высота ферм в метрах, k —эквивалентная нагрузка в тоннах на пог. метр.

Некоторые указания о весе поворотных мостов находим у Ваделла¹. Ваделл дает график процентного изменения веса пролетных строений поворотных мостов по сравнению с пролетными строениями неподвижных мостов.

График соответствует следующим формулам (l —пролет в метрах):

$$a = [96,6 - (l - 30) \cdot 0,17] \% \text{—для центральноопертых систем;}$$

$$a = [103,1 - (l - 30) \cdot 0,19] \% \text{—для систем с центральным барабаном.}$$

Формулы годны для пролетов от 30 до 170 м. Вес проезжей части надлежит исчислять отдельно.

Новеу² дает для веса американских поворотных мостов следующие формулы в функциях от длины пролетного строения l между крайними опорами.³

Однопутные ж.-д. поворотные мосты с центральной пятой:

$$p = (43,55l + 417,2) \text{ кг/м моста.}$$

Формула выведена для поворотных мостов спроектированных на нагрузку $E50$, $E55$ и $E60$, в среднем на нагрузку $E55$.

Однопутные ж.-д. поворотные мосты с центральным барабаном:

$$p = (43,94l + 334,84) \text{ кг/м моста.}$$

Расчетная нагрузка $E40$, $E45$ и $E50$, в среднем $E45$.

Двухпутные ж.-д. поворотные мосты с центральной пятой:


$$p = (25,98l + 7589,7) \text{ кг/м моста.}$$

¹ Waddell, Bridge Engineering, V. II, стр. 1249.

² Hovey, Movable bridges, 1926. V. I, стр. 68.

³ Формулы пересчитаны на метрическую систему.

Данные о поворотных участках

№ по пор.	Название и местонахождение моста	Назначение моста и положение езды	Длина поворотной части $L_1 + a + L_2$	Выс. ферм на ср. опоре h_1	Выс. ферм на конце дл. рукава h_2		$\frac{h_2}{h_1}$
1	Через Caronte на линии Miramas-l'Estaque-Marseille	ж. д. понизу	$2 \times 56,50$	13,7	7,6	$\frac{1}{4,13}$	0,56
2	Мост через Прегель в Кенигсберге	об. дор. и ж. д. двухрусн.	$2 \times 28,7$	4,6	4,6	$\frac{1}{6,23}$	1,0
3	Мост Neuhoft через Reitherstieg	об. дор. понизу	$50,8 + 24,2$	7,0	6,0	$\frac{1}{7,15}$	0,86
4	Через Hunte в Oldenburg.	ж. д. понизу	$2 \times 28,75$	7,85	5,06	$\frac{1}{3,66}$	0,65
5	Мост Bahr-el-Aama в Каире	об. дор. поверху	$26,91 + 10,38 + 26,91$	4,45	3,05	$\frac{1}{6,05}$	0,68
6	Мост Равенства в Ленинграде	городской поверху	$29,36 + 18,02 + 29,36$	3,6	1,8	$\frac{1}{8,15}$	0,5
7	Мост Interstate в Omaha	ж. д. понизу	$2 \times 79,25$	32,05	10,8	$\frac{1}{2,47}$	0,34
8	Мост в Industriehafen в Мангейме	об. дор. ж. д. понизу	$2 \times 28,60$	9,0	7,5	$\frac{1}{3,28}$	0,83
9	Мост в Ludwigshafen через Hafenmündung	городской понизу	$32,0 + 19,0$	7,5	3,0	$\frac{4}{4,27}$	0,4
10	Мост Rheinstrasse в Мангейме	городской понизу	$22,2 + 19,2$	6,5	2,1	$\frac{1}{3,42}$	0,32
11	Мост через р. Harlem в Нью-Йорке	ж. д. понизу	$56,4 + 5,76 + 56,4$	19,51	7,62	$\frac{1}{2,88}$	0,39
12	Мост через Dee у Hawarden	ж. д. понизу	$51,32 + 35,53$	9,78	2,6	$\frac{1}{5,25}$	0,27
13	Мост Baaken в Гамбурге	ж. д и улица понизу	$2 \times 26,52$	5,75	2,05	$\frac{1}{4,6}$	0,36
14	Мост Rendsburg через Нордостзейск. канал.	об. дор. поверху	$55,05 + 3,64 + 33,21$	7,0	4,9	$\frac{1}{7,85}$	0,7
15	Мост в Старой Гавани в Сухавен	об. дор. поверху спл. стенка	$19,09 + 17,09$	1,45	0,77	$\frac{1}{13,1}$	0,53
16	Мост через Jewfish-Creek во Флориде	ж. д. поверху спл. стенка	$14,16 + 1,98 + 14,16$	1,54	1,54	$\frac{1}{9,2}$	1
17	Мост через Nordseekanal в Zaandam	ж. д. понизу	$60,3 + 7,33 + 60,3$	15,76	8,0	$\frac{1}{3,82}$	0,51

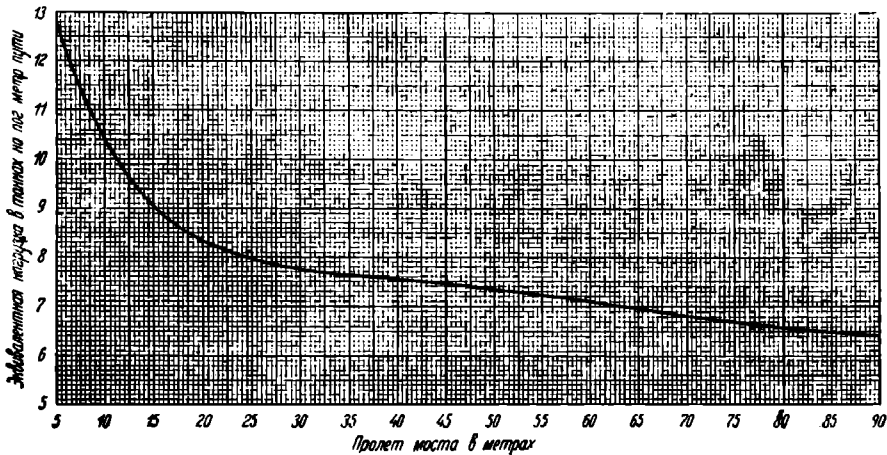
Расчетная нагрузка—E55, E60.

То же с центральным барабаном.

$$p = (53,22l + 4583,6) \text{ кг/м моста.}$$

Расчетная нагрузка—E50, E60.

Чтобы иметь возможность переходить к весу поворотных мостов, спроектированных по иным нормам, на фиг. 184 приведен график эквивалентных нагрузок, соответствующих нагрузке E40. Для всех остальных американских нагрузок эквивалентные нагрузки получаются умножением на соответствующий коэффициент, например для E55, на $\frac{55}{40}$ и т. д.



Фиг. 184.

Допускаемые напряжения, положенные в основу проектов, к коим относятся приведенные выше формулы Howe, в большинстве случаев были взяты по американским нормам 1910 г. Основное напряжение по этим нормам— $1\ 125 \text{ кг/см}^2$. Динамический коэффициент принимался по американской формуле $1 + \mu = 1 + \frac{300}{300 + L}$, где L — пролет ферм в футах.

Для поворотных мостов под обыкновенную дорогу с центральной пятой Howe дает такую формулу веса:

$$p = (3,86l + 111,20) \text{ кг/м}^2.$$

Для аналогичных мостов, но с центральным барабаном, под легкую нагрузку:

$$p = (2,81l + 113,91) \text{ кг/м}^2.$$

Вес поворотных мостов, с центральным барабаном, городских, под тяжелую нагрузку:

$$p = (1,07l + 726,86) \text{ кг/м}^2.$$

Согласно указаниям Howe, для получения веса на пог. метр необходимо учитывать или ширину экипажного проезда (в мостах без тротуаров) или ширину экипажного проезда плюс ширина одного тротуара (в мостах с двумя тротуарами).

Если поворотный мост несимметричный, то за пролет следует считать длину большого рукава.

Формулы Howe дают полный вес металла в разводной части вместе с механизмами (за исключением двигателей).

Приблизительный вес механизмов в процентах от веса металла в пролетном строении дает таблица 2, заимствованная также у Howe.¹

Определение веса поворотных мостов по эмпирическим формулам, приведенным выше, дает лишь первое, довольно грубое, приближение. Это и понятно, т. к. условия проектирования чрезвычайно разнообразны, и нет возможности охватить все случаи ограниченным числом формул.

Кроме того, большинство формул дает суммарный вес, между тем как для решения некоторых вопросов проектирования, небезинтересно знать распределение веса по пролету.

¹ Howe, Movable bridges, 1926, т. I, стр. 79.

Вес механизмов (за исключением двигателей) поворотных мостов в процентах от веса металла в конструкции

Тип разводной части	Длина пролетн. стр. между крайн. опорами в метрах			
	30—60	60—90	90—120	120—150
Ж.-д. мосты				
С центральной пятой:				
однопутные	17	15	13	11
двухпутные	18	15	12	10
С центральным барабаном:				
однопутные	23	22	19	17
двухпутные	22	20	18	16
Мосты под обыкн. дорогу				
С центральной пятой	15	14	13	12
С центральным барабаном	22	17	17	17

Дальнейшие приближения в определении веса ферм поворотных мостов могут быть получены методом конструктивных коэффициентов.¹

При эскизном проектировании достаточно выяснить вес на пог. метр лишь в некоторых наиболее характерных местах, например, на средней опоре, вблизи крайней опоры и посредине пролета. Изменение веса между этими сечениями можно принять по закону прямой линии.

§ 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ПЯТЫ ПОВОРОТНЫХ МОСТОВ С ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПЯТОЙ, РАЗМЕРОВ И ЧИСЛА КАТКОВ ПОВОРОТНЫХ МОСТОВ С ЦЕНТРАЛЬНЫМ БАРАБАНОМ

22. Одним из важных вопросов при проектировании поворотных мостов является вопрос о величине опорной поверхности центральной пяты или, в мостах с центральным барабаном, вопрос о числе и размерах катков.

При опирании пролетного строения в открытом состоянии на пяту происходит касание двух сферических поверхностей. Величина напряжения могла бы быть подсчитана по формулам Герца. Однако, помимо условий необходимой прочности при проектировании опорной пяты, должны быть приняты во внимание соображения, связанные с условиями вращения: достаточная стойкость истиранию, отсутствие нагреваемости и т. д. Поэтому лучше руководствоваться при определении размеров пятника данными практики. Последние дают допускаемую величину давления на квадратную единицу горизонтальной проекции поверхности опирания.

Данные практики чрезвычайно разнообразны.

По Smith'у допускаемое давление 56 кг/см^2 , по Fischer'у— 726 кг/см^2 . По нормам проектирования разводных мостов, составленных Schneider'ом² в 1908 г.— 245 кг/см^2 , по Waddell'у³— 210 кг/см^2 (сталь по бронзе):

Давление на пяту в осуществленных мостах дает приведенная ниже таблица.

Таблица 3.

Давление на 1 см^2 горизонтальной проекции пяты в осуществленных поворотных мостах

№ по пор.	Название моста	Год построения	Давление на пяту РТ	Диаметр пяты м	Площадь горизонт. проекц. м ²	Р кг/см ²	Примечание
1	Через Прегель в Кенигсберге	1925	1156	0,50	0,196	590	
2	Через Caronte Франция).	1915	1450	0,83	0,51	270	
3	Haddam (Америка)	1911	1230	0,85	0,92	135	
4	В Wilhelmshafen'e	1904	203	0,35	—	211	
5	Через Refeizstieg в Гамбурге.	—	762	—	—	400	
6	Copenhav. n в Дании:	1908	850	1,50	2,87	30	} с гидравл. пятой
7	Lübec Германия)	1895	350	1,20	1,84	19	
8	Sonneant Harbor (Америка)	1911	1223	0,85	0,92	135	

¹ См. Патон. Стальные мосты; Стрелецкий Курс мостов.

² Transition of the American Society of Civil Eng. V, 60, 1908.

³ Waddell, Bridge Engineering, Vol. 2.

Как видно из таблицы 3, величина допущенных давлений на пяту колеблется в больших пределах. Нормальным допускаемым давлением можно считать 200—300 кг/см². В случае настоятельной необходимости допускаемое давление можно несколько повысить.

На катки поворотных мостов с центральным барабаном по германским данным допускается от 8 до 16 кг/см² горизонтальной проекции катка.¹

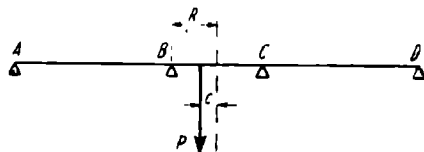
По американским данным (технические условия, цитированные выше):

На чугунные катки	14 кг/см ²
На катки из углеродистой стали	28 »
На катки из машинной стали	35 »
На катки из высококортовой стали (ванадиевой, хромовой и т. д.)	56 »
На катки закаленной спец. стали	70 »

Такие же цифры дает и Waddell.²

23. Нагрузка на катки в поворотных мостах с центральным барабаном в открытом состоянии моста определяется делением полного веса пролетного строения на число катков.

В закрытом состоянии моста сила, приходящаяся на каждый каток, зависит от величины опорных давлений на центральный барабан. Если нагрузка расположена симметрично и опорные реакции B и C (фиг. 185) между собой равны—катки попрежнему нагружаются равномерно, и давление на каждый из них найдется как $\frac{B+C}{n}$, где n —число катков.



Фиг. 185.

Если же имеем дело с несимметричной нагрузкой, то следует определить эксцентриситет c (выяснив точку приложения равнодействующей реакций B и C). Наибольшее давление на единицу длины круга катания выразится в этом случае такой величиной

$$p = \frac{P}{2\pi R} + \frac{M \cdot R}{I} = \frac{P}{2\pi R} + \frac{PcR}{I},$$

Полагая

$$I = \pi R^3,$$

имеем:

$$p = \frac{P}{2\pi R} \left(1 + \frac{2c}{R} \right). \quad (a)$$

Наиболее нагруженные катки окажутся под давлением

$$D = p \cdot \frac{2\pi R}{n} = \frac{P}{n} \left(1 + \frac{2c}{R} \right).$$

В этих формулах— P сумма реакций B и C .

Формула (а) справедлива лишь до тех пор, пока нагрузка распределяется между всеми катками, т. е. пока $c \leq \frac{R}{2}$.

В противном случае имеем задачу о нахождении нулевой линии при внецентренном сжатии, которая легко решается известным из строительной механики графическим путем.³

§ 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРА КРУГА КАТАНИЯ

24. В поворотных мостах, опирающихся на катки, диаметр круга катания зависит прежде всего от числа катков, которое требуется разместить. Число катков определяется по допускаемому давлению (§ 10), причем размерами катков приходится задаваться (о размерах катков см. § 3).

При большом числе катков для уменьшения диаметра круга катания рекомендуется шахматное расположение катков (Мост в Омаха, фиг. 107).

¹ Bernhard, Eiserner Brücken, 1911.

² Waddell, Bridge Engineering, 1916, т. II.

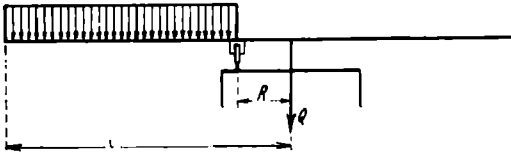
³ См. Hotopp, Bewegliche Brücken, 1926, 2 ч., стр. 21. Keck-Hotopp, Elastizitätslehre, т. I, 1-е изд., стр. 227.

Вторым фактором, определяющим диаметр круга катания, а также отчасти и число катков, является размер барабана.

В § 3 рассмотрены различные схемы передачи давления на барабан и указаны способы уменьшения его диаметра.

Наконец величина круга катания должна удовлетворять условиям устойчивости пролетного строения в открытом состоянии.

Это условие (фиг. 186).



Фиг. 186.

$$\frac{v(l-R)^2}{2} = a \cdot Q \cdot R,$$

откуда:

$$R = \left(l + \frac{aQ}{v} \right) - \sqrt{\left(l + \frac{aQ}{v} \right)^2 - l^2}.$$

Здесь:

Q — вес всего пролетного строения,

l — длина рукава,

a — коэффициент запаса 1,40 — 1,50,

v — случайная перегрузка одного рукава по сравнению с другим.

Случайная перегрузка обычно принимается равной 25 кг/м².

По американским данным (Waddell), добавочная опрокидывающаяся нагрузка не должна быть больше 50—75 кг/м², в зависимости от местных условий (коэффициент запаса при этом может быть равен 1).

В поворотных мостах с центральной пятой диаметр круга, по которому расположены поддерживающие колеса, определяется исключительно по условиям устойчивости на опрокидывание аналогично изложенному выше. Необходимо лишь обратить внимание на то, что в мостах системы Шведлера равнодействующая веса приложена не по оси вращения, а сдвинута в сторону поддерживающих колес.

Нетрудно убедиться, что в мостах с центральной пятой диаметр круга катания, вообще говоря, получается меньше, чем в мостах с центральным барабаном.

В среднем диаметр круга катания при пролетах свыше 30 м делается около $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{15}$ длины поворотной части. Есть примеры еще относительно меньших кругов катания: мост в Jefferson City под обыкновенную дорогу при длине обоих рукавов $L = 132$ м имеет диаметр опорного барабана всего 6,6 м, т. е. $\frac{1}{20} L$, однако в этом мосту применено уже анкерное закрепление болтами, препятствующее опрокидыванию.

В поворотных мостах малых пролетов отношение диаметра круга катания к длине поворотной части больше: $\frac{1}{7}$ — $\frac{1}{5}$ (при пролетах в 15 — 20 м).

В несимметричных и одорукавных поворотных мостах указанные отношения следует применять к удвоенной длине большого рукава.

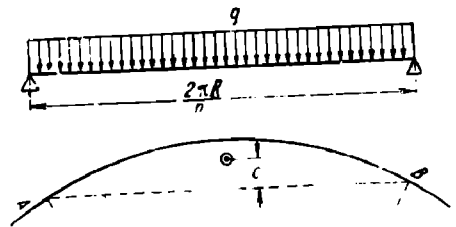
В таблице 4 приведены отношения диаметров круга катания к длине поворотной части для некоторых из существующих мостов.

§ 12. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЦЕНТРАЛЬНОГО БАРАБАНА

25. Центральный барабан, передающий нагрузку от ферм на катки, можно рассматривать как балку, нагруженную снизу равномерно распределенной нагрузкой (реакция катков) и имеющую опоры в местах передачи давления от ферм на барабан.

Вследствие криволинейности очертания участка барабана между предположенными опорами, кроме изгиба поперечные сечения опорного барабана будут испытывать еще и кручение.

Если число точек передачи давления на барабан и схема передачи давления такова, что нагрузка распределяется между всеми опорными точками в одинаковой доле и если наибольшее суммарное давление на барабан P , то наибольший изгибающий



Фиг. 187.

Отношения диаметров круга катания к длине поворотной части

№ по пор.	Наименование моста	Система поворотной части	Дл. поворот. части или удвоен. длина больш. рукава) L	Диаметр круга катания d	$\frac{d}{L}$		Примечание
					1	2	
1	Мост в Willameth	С центрально-барабаном	162,0	13	$\frac{1}{12,5}$		2 ж.-д. пути
2	Мост Interstate в Omaha	То же	158,5	11,2	$\frac{1}{14,2}$		ж.-д.
3	Мост через Nordseekanal у Zaandam .		127,93	10,20	$\frac{1}{12,5}$		под 2 ж.-д. пути
4	Мост через р. Harlem в Нью-Йорке		118,56	17,07	$\frac{1}{6,65}$		под 4 ж.-д. пути
5	Через реку Saronte во Франции	С центрально-пятой	113,0	12,5	$\frac{1}{9}$		ж.-д.
6	Мост через р. Делавар в Филадельфии .	То же	98,5	9,10	$\frac{1}{10,8}$		под 2 ж.-д. пути
7	Мост в Wilhelmshafen .	Шведлера	79,50	8,80	$\frac{1}{9}$		об. дор.
8	Через Бузан и Болду	С центрально-барабаном	75,2	7,92	$\frac{1}{9,5}$		ж.-д.
9	Мосты на Kansas City Southern Rv.	То же	68,58	5,18	$\frac{1}{13,7}$		ж.-д.
10	Мост через Reiherstieg в Гамбурге	Шведлера	45,8	5,730	$\frac{1}{8}$		под 2 ж.-д. пути
11	Мост через Rheinstrasse в Мангейме	С центрально-пятой	41,4	6,4	$\frac{1}{6,5}$		городской
12	Мост через Alten Hafen в Сисхавен	Шведлера	36,18	6,58	$\frac{1}{5,5}$		городской
13	Мост через Jewish-Creek во Флориде.	С центрально-барабаном	30,3	1,98	$\frac{1}{15,2}$		ж.-

момент (фиг. 187), учитывая неразрезность барабана, как балки на многих опорах, получаем равным:

$$M_{\max} = \frac{1}{12} \cdot \frac{P}{n} \cdot \frac{2\pi R}{\pi} \quad [\alpha]$$

Наибольшая перерезывающая сила:

$$Q = \frac{P}{2n} \quad [\beta]$$

Наибольший скручивающий момент:

$$M_k = \frac{P}{2n} \cdot c = \frac{P}{2n} R \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} - \cos \alpha \right) \cdot \cos \alpha \quad [\gamma]$$

Здесь c — расстояние от линии, соединяющей опорные точки A и B с центром тяжести дуги AB .

Величины M_{\max} , Q и M_k для некоторых частных случаев приведены в таблице 5.

Таблица 5
Величины M_{\max} , Q и M_k

Число точек передачи давления	Наибольший изгиб момента M_{\max}	Наибольшая перерезыв. сила Q	Наибольший скручивающий момент M_k
4	$0,034 PR$	$\frac{1}{8} P$	$0,017 PR$
6	$0,015 PR$	$\frac{1}{12} P$	$0,0065 PR$
8	$0,008 PR$	$\frac{1}{16} P$	$0,0029 PR$
12	$0,0036 PR$	$\frac{1}{24} P$	$0,0009 PR$

При несимметричном нагружении обоих рукавов поворотного моста в формулы $[\alpha]$, $[\beta]$

и $[\gamma]$ вместо $\frac{P}{n}$ следует подставить $p \cdot \frac{2\pi r}{n}$, где p — наибольшее

давление на единицу длины, определенное как указано в § 10.

26. Для определения напряжений при совместном действии на двутавровое сечение изгибающего и скручивающего моментов можно пользоваться формулой:

$$\sigma = \frac{3}{8} \cdot \sigma_n + \frac{5}{4} \sqrt{\left(\frac{\sigma_n}{2}\right)^2 + \tau_1^2}$$

Нормальное напряжение определяется как обычно:

$$\sigma_n = \frac{M}{W}.$$

Касательное напряжение от скручивающего момента приближенно можно найти следующим путем¹ (фиг. 188).

Предполагаем, что скручивающий момент уравнивается парой сил T , представляющих собой сумму касательных напряжений, распределенных по полкам двутавра. Вертикальной стенкой пренебрегаем. В таком случае

$$T = \frac{M_k}{h - \delta}.$$

Сила T вызывает наибольшие касательные напряжения в сечении посредине ширины полки (m):

$$\tau_m = \frac{T \cdot S}{\delta \cdot I} = \frac{T \cdot \frac{\delta b^2}{8}}{\delta \cdot \frac{\delta b^3}{12}} = \frac{3}{2} \frac{T}{\delta \cdot b}.$$

Это напряжение относится к оси, проходящей через середину толщины полки. В наиболее же удаленной от оси xx точки касательное напряжение от скручивающего момента можно считать равным:

$$\tau_1 = \tau_m \cdot \frac{h}{h - \delta} = \frac{3}{2} \cdot \frac{M_k \cdot h}{(h - \delta)^2 \cdot \delta \cdot b}.$$

§ 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ВРАЩЕНИЯ ПОВОРОТНЫХ МОСТОВ

27. Сопротивление движению складывается из следующих причин: 1) инерция движущихся масс, 2) ветер и сопротивление воздуха, 3) трение.

Работа, необходимая для сообщения поворотной части равномерной угловой скорости ω за период времени τ_1 , как известно, равняется

$$A_1 = \frac{I \cdot \omega^2}{2},$$

где I — момент инерции движущейся массы.

¹ Hotopp, Bewegliche Brücken, II часть, стр. 24.

Точное определение величины I —довольно хлопотливо, да и нет надобности в этом, т. к. работа на преодоление сил инерции составляет незначительный процент в общей работе, затрачиваемой на открывание или закрывание моста. Достаточно приближенного вычисления.

Приближенно момент инерции можно просто вычислить, принимая пролетное строение поворотного моста за параллелепипед постоянной плотности (фиг. 189). Тогда

$$I = \delta \int_{-l_1}^{l_2} \cdot \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} (x^2 + y^2) dx \cdot dy \cdot \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} dz.$$

Произведя интегрирование и прибавляя момент инерции противовеса, получим:

$$I = \left[\frac{1}{3} (l^2 - ll_1 + l_1^2) + \frac{1}{12} b^2 \right] \cdot \frac{G}{g} + \frac{Q \cdot q^2}{g},$$

где:

G —полный вес пролетного строения,

g —9,81 м/сек²—ускорение силы тяжести,

Q —вес противовеса и

q —расстояние центра тяжести противовеса от оси вращения.

Для симметричных поворотных мостов:

$$J = \frac{1}{3} \left(l^2 + \frac{1}{4} b^2 \right) \frac{G}{g}.$$

Угловая скорость ω определяется тем же способом, как и для раскрывающихся мостов (см. стр. 209).

Период ускорения можно взять в 10—15 секунд.

28. Сопротивление воздуха при обычных скоростях составляет совсем небольшую величину и часто не учитывается вовсе.

По американским данным¹ при скорости v фут/сек. давление на кв. фут в англ. фунтах принимается равным:

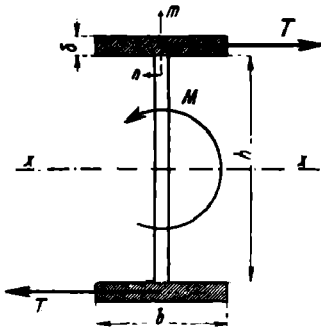
$$p = \frac{v^2}{250}.$$

В метрической системе это дает:

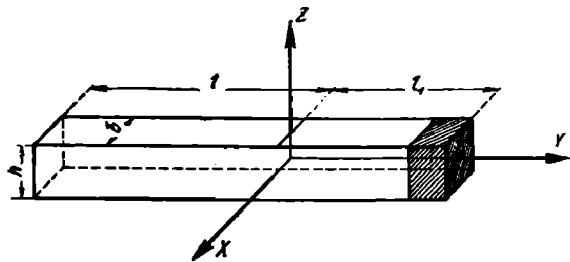
$$p = av^2 = 0,210 v^2 \text{ кг/м}^2.$$

Если скорость на окружности зубчатого сектора радиуса r будет v , то скорость на расстоянии x от оси вращения — $\frac{v}{r} \cdot x$. Давление на элементарную площадку $h \cdot dx$ на расстоянии x :

$$dp = \frac{a \cdot v^2 x^2 h}{r^2} dx;$$



Фиг. 188.



Фиг. 189.

момент элементарного давления относительно оси вращения:

$$dM = \frac{a \cdot v^2 \cdot h \cdot x^3}{r^2} dx.$$

Полный момент сопротивления воздуха для одного рукава:

$$M = \int_0^l \frac{a \cdot v^2 \cdot h \cdot x^3}{r^2} dx = \frac{a}{4} \cdot \frac{v^2 \cdot h \cdot l^4}{r^2}.$$

¹ Howe, Movable bridges, 1127 г., т. II, стр. 6.

Соответствующая работа для одного рукава:

$$A = \frac{\alpha}{4} \cdot \frac{v^3 \cdot h \cdot l^4}{r^3} = \frac{\alpha}{4} \cdot \omega^3 \cdot h \cdot l^4,$$

где:

ω — узловая скорость вращения,
 l — длина рукава,
 h — высота ферм.

Аналогично можем определить сопротивление воздуха и в случае вращения при ветре, введя в рассмотрение для одного рукава — скорость на расстоянии x от оси вращения $w + \frac{vx}{r}$ и для другого рукава $w - \frac{vx}{r}$ (w — скорость движения ветра).

Приведенный выше расчет легко применить как к симметричным, так и к несимметричным мостам.

Чаще, однако, сопротивление ветра учитывается по величине расчетного давления ветра, не принимая во внимание скорости движения пролетного строения.

Давление ветра, нормальное к поверхности, на которую он действует, принимается равным

$$w = p \cdot \sin \varphi,$$

где

p — интенсивность давления ветра,
 φ — угол между направлением ветра и рассматриваемой плоскостью.

Предположим, что угол между направлением ветра и осью моста — β и что пролетное строение повернуто на угол α (фиг. 190). Тогда момент ветра, действующего на один рукав, будет равен

$$M_w = F \cdot c \cdot p \cdot \sin(\alpha + \beta).$$

В этом выражении

F — площадь, подверженная действию ветра,
 c — плечо ветровой нагрузки; остальные обозначения даны ранее.

Работа на преодоление сопротивления ветра может быть найдена, как соответствующий интеграл:

$$A = \int_0^l F \cdot c \cdot p \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot da = F \cdot c \cdot p (\cos \beta + \sin \beta).$$

Наибольшее значение величина A получает при $\beta = 45^\circ$:

$$A_{\max} = F \cdot c \cdot p \cdot \sqrt{2}.$$

В несимметричных двухрукавных мостах следует вычислять полную работу на преодоление сопротивления ветра, рассматривая его действие на оба рукава (с разными знаками) и полагая $p = 40-50 \text{ кг/м}^2$. В симметричных поворотных мостах сопротивление от ветра теоретически равно нулю; однако ввиду возможной заветренности одного крыла рассчитывают на одностороннее (на один рукав) действие ветра, принимая его интенсивность около 25 кг/м^2 .

Для уменьшения работы на преодоление силы ветра в несимметричных поворотных мостах можно принимать меры к уравновешиванию действия ветра на оба рукава (см. § 2).

29. Силы трения в поворотных мостах с центральным барабаном развиваются, при вращении главным образом в катках и в незначительной степени в центрирующей отливке (оси вращения), при ветре и случайных перекосах.

Сопротивление катков движению определялось неоднократно опытным путем для разных по конструкции и по состоянию поворотных мостов, вследствие чего наблюдается большое разнообразие опытных коэффициентов.

Момент относительно оси вращения трения в катках выражается обычно ф-ой

$$M_f = \mu \cdot G \cdot R,$$

где:

G — полный вес пролетного строения,

R — радиус круга катания,

μ — опытный коэффициент.

По германским данным (Dietz, Bernhard)

$$\mu = 0,003;$$

Smith дает

$$\mu = 0,004 - 0,008.$$

По Boller'у и Schumacher'у

$$\mu = 0,0035.$$

По Cooper'у

$$\mu = 0,0038.$$

Waddell рекомендует брать

$$\mu = 0,006.$$

Технические условия Shneider'a, цитированные выше (§ 10), дают:

$$\mu = 0,006.$$

В системах, опирающихся во время вращения на ось, момент трения равен-

$$M_f = \mu_1 G_1 \cdot r,$$

где:

G_1 — вес пролетного строения, переданный на ось вращения,

r — радиус пятника,

μ_1 — опытный коэффициент.

Для μ_1 Smith дает величину

$$\mu_1 = 0,09.$$

По наблюдениям Shneider'a

$$\mu_1 = 0,067$$

при старте и

$$\mu_1 = 0,045$$

во время движения.

По другим опытам (американским)

$$\mu_1 = 0,115$$

в начале движения и

$$\mu_1 = 0,08$$

при установившемся движении.

Waddell полагает

$$\mu_1 = 0,06.$$

В некоторых расчетах величина μ_1 поставлена в связь с центральным углом α той сферической поверхности, по которой происходит опирание.

Так, например, при вычислении мощности двигателей поворотного моста в Wilhelmshafen'e была принята ф-ла

$$M_f = f \cdot G_1 \cdot r \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha + \sin \alpha \cdot \cos \alpha}.$$

здесь

$f=0,15-0,17$ —коэффициент трения первого рода,

r —радиус горизонтальной проекции пятника.

В мостах системы Шведлера следует еще учесть трение в поддерживающих колесах.

Момент этого трения относительно оси вращения

$$M_f' = \frac{fr + a}{R_1} g \cdot \varrho,$$

где:

r — радиус оси колеса,

R_1 — радиус самого колеса,

ϱ — расстояние от колеса до оси вращения,

g — нагрузка, передающаяся на колеса,

$f=0,15-0,17$ — коэффициент трения в осях колес,

a — коэффициент трения при катании.

НТБ
ДНУЖТ

Зная момент трения, нетрудно определить работу, затрачиваемую на преодоление трения. Она равна:

$$A_f = M_f \cdot \varphi,$$

где φ — угол поворота в радианах.

30. Суммируя все найденные выше частные работы (на преодоление сил инерции, сопротивления ветра, трение и т. д.) будем иметь общую работу, произвести которую необходимо для полного поворота пролетного строения.

$$A_{\Sigma} = A_i + A_w + A_f.$$

Суммируя же все моменты сопротивляющихся сил и деля сумму моментов на радиус зубчатого круга, найдем силу, которую необходимо приложить на окружности зубчатого круга для приведения разводной части во вращение:

$$P = \frac{\Sigma M}{R}.$$

По этим данным можно определить мощность двигателя

$$N = \frac{A}{75 \cdot \eta^n \cdot t} \text{ л. с.},$$

необходимое число его оборотов и передаточное число лебедки (см. подробнее об этом в § 38, п. 91).

Здесь

η^n — коэффициент полезного действия,⁷⁾

n — передача,

t — время, в течение которого должен совершаться поворот моста, приведенное к равномерной скорости.

Заметим, что в среднем на 1 л. с. мощности приходится около 15 m движущейся массы.

§ 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ В ОПОРНЫХ МЕХАНИЗМАХ

31. **Опоры клинового типа.** Если угол трения φ , угол клина α , давление на клин D , то сила P , которую необходимо приложить, чтобы привести клин в движение, равна

$$P = D \cdot \operatorname{tg}(\alpha + 2\varphi).$$

Сила D меняется от 0 до наибольшего своего значения D (равного опорной реакции в закрытом состоянии моста) по закону

$$D = Cy = C \cdot x \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

где:

y — высота подъема опоры в рассматриваемый момент,

x — соответствующее горизонтальное продвижение клина,

C — коэффициент пропорциональности.

Полная работа, затрачиваемая на подъем на высоту y_0 :

$$A = \int_0^{y_0 \operatorname{ctg} \alpha} P \cdot dx = \frac{Cy_0^2}{2} \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha (\alpha + 2\varphi)}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{D_0 y_0}{2} \cdot \frac{\operatorname{tg}(\alpha + 2\varphi)}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Наименьшее значение величина A имеет при $\alpha = 45^\circ - \varphi$. Однако, назначение угла α связано еще условием $\alpha < 2\varphi$, т. е. чтобы клин был самотормозящим. Наиболее употребительны в практике клиновые опоры, имеющие $\operatorname{tg} \alpha = 1/5 - 1/7$.

Полагая

$$y_0 = 10 \text{ см}, \quad \alpha = 8^\circ, \quad \operatorname{tg} \varphi = 0,08$$

(при хорошей смазке), получим:

$$A = \frac{D \cdot 10}{2} \cdot \frac{\operatorname{tg}(8^\circ + 9^\circ)}{\operatorname{tg} 8^\circ} = 10,35 D \cdot \text{кг} \cdot \text{см};$$

при плохой смазке

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,14$$

и

$$A = 15,80 D.$$

32. **Опоры вращательного типа.** а) **Роликовый кулачек.** Давление на опору меняется от 0 до наибольшей величины D_0 . Для расчета можно принять среднее значение $\frac{D_0}{2}$. Обозначения размеров см. фиг. 191.

Работа, затрачиваемая для подъема на высоту ¹ $y_0 = R_1 (1 - \cos \varphi_0)$:

$$A_1 = \frac{D_1}{2} R_1 (1 - \cos \varphi_0).$$

Полный угол поворота ролика:

$$\psi_0 = \frac{R_1}{R_2} \cdot \sin \varphi_0.$$

Работа трения качения ролика при коэффициенте трения μ :

$$A_2 = \frac{D_1}{2} \cdot \mu \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot \sin \varphi_0;$$

работа трения в оси ролика:

$$A_3 = \frac{D_1}{2} \cdot \frac{f \cdot r_2}{R_2} \cdot R_1 \sin \varphi_0,$$

где f — коэффициент трения в оси. Наконец работа трения в оси вала:

$$A_4 = \frac{D_1}{2} \cdot f \cdot r_1 \cdot \varphi_0.$$

Полная работа

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4.$$

Как видно из приведенных выше выражений работ, для уменьшения затрачиваемой энергии при подъеме на одну и ту же высоту следует уменьшать R_1 и увеличивать R_2 .

Возьмем, как и в предыдущем примере,

$$y_0 = 10 \text{ см.}$$

Далее, положим:

$$R_1 = 300 \text{ мм, } R_2 = 150 \text{ мм, } r_1 = r_2 = 70 \text{ мм.}$$

Тогда:

$$\cos \varphi_0 = \frac{300 - 100}{300} = 0,667; \quad \sin \varphi_0 = 0,745; \quad \varphi_0 = 48^\circ 10'$$

и по приведенным выше формулам:

$$A_1 = \frac{D_1}{2} \cdot 10 = 5 D_1 \text{ кг} \cdot \text{см};$$

$$A_2 = \frac{D_1}{2} \cdot 0,005 \cdot \frac{30}{15} \cdot 30 \cdot 0,745 = 0,0037 D_1 \text{ кг} \cdot \text{см};$$

$$A_3 = \frac{D_1}{2} = \frac{0,10 \cdot 7}{15} \cdot 30 \cdot 0,745 = 5,215 D_1 \text{ кг} \cdot \text{см};$$

$$A_4 = \frac{D_1}{2} \cdot 0,10 \cdot 7 \cdot 0,841 = 0,294 D_1 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

При вычислении были приняты следующие значения коэффициентов трения:

$$\mu = 0,005 \text{ см};$$

$$f = 0,10.$$

Полная работа:

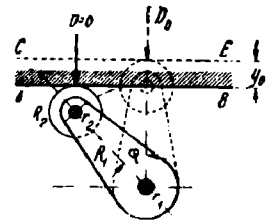
$$A = (5 + 0,004 + 5,215 + 0,294) D_1 = 10,513 D_1 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

б) Коленчатый рычаг. (фиг. 192). Обозначим длину каждого колена через a , радиус шарниров в A , B и C через r , угол между стержнями AB или BC и вертикалью через α , коэффициент трения в шарнирах через f .

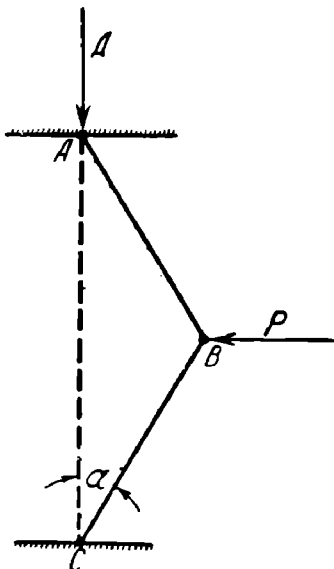
Давление на опору D пропорционально высоте подъема:

$$D = Cy = C (2a \cos \alpha - c),$$

¹ У Dietz'a (Bevegliche Brücken) и у проф. Стрелецкого (Разводные мосты) высота подъема принята ошибочно равной $R_1 \cos \varphi_0$.



Фиг. 191.



Фиг. 192.

где c — первоначальное (т. е. при $D = 0$) расстояние между точками A и C .

Движущая сила P равна:

$$P = 2C(2a \cdot \cos \alpha - c) \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \delta),$$

причем $\delta = \frac{2rf}{a}$ — приведенный угол трения.

Работу, приняв во внимание, что $dx = a \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha$, получим равной:

$$A = \int_0^{\alpha_0} P \cdot dx = \int_0^{\alpha_0} P \cdot a \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha.$$

Интегрирование можно произвести по одному из приближенных методов. В качестве примера возьмем:

$$y_0 = 10 \text{ см}, \quad a = 25 \text{ см}, \quad c = 2 \cdot 25 - 10 = 40 \text{ см}, \quad r = 3 \text{ см}, \quad f = 0,1.$$

Тогда:

$$\frac{2r}{a} \cdot f = \frac{2 \cdot 3}{25} \cdot 0,1 = 0,024; \quad \delta = 1^\circ 22'.$$

Коэффициент пропорциональности C найдется из условия что при $y = y_0 = 10 \text{ см}$, $D = D_0$:

$$C = \frac{D_0}{y_0} = 0,1D_0.$$

Движущая сила:

$$P = 0,2(50 \cdot \cos \alpha - 40) \cdot \operatorname{tg}(\alpha + 1^\circ 22') \cdot D_0.$$

Наибольшее значение угла α :

$$\alpha_0 = \operatorname{arccos} \cos \frac{c}{a} = \operatorname{arccos} \cos \frac{20}{25} = 37^\circ.$$

В таблице 6 помещены значения $\frac{P}{D_0}$ и $\frac{P}{D_0} \cos \alpha$, вычисленные для разных углов α .

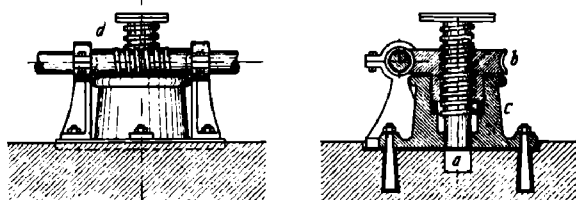
Таблица 6

Значения $\frac{P}{D_0}$ для разных углов α

$\alpha =$	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	37°
$\frac{P}{D_0}$	0,048	0,219	0,371	0,487	0,547	0,527	0,402	0
$\frac{P}{D_0} \cos \alpha$	0,048	0,218	0,365	0,470	0,514	0,478	0,348	0

Производя интегрирование по правилу трапеций, получим полную работу

$$A = a \int_0^{37^\circ} P \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha = 25 \cdot 0,217 D_1 = 5,425 D_1 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$



Фиг. 193.

33. Опоры домкратного типа. Основная часть опор домкратного типа — винт, имеющий возможность вертикального перемещения, и гайка, приводимая во вращение червячной передачей (фиг. 193).

Введем следующие обозначения:

D — давление на опору D ,

η — уклон винтовой нарезки,
 r — средний радиус винта,
 R — радиус зубчатого колеса, соединенного с гайкой,
 r_1 — средний радиус спорной поверхности червяка,
 r_2 — средний радиус кольцевой площадки, которой втулка c опирается на станину механизма;
 μ — коэффициент трения винта,
 μ_1 — коэффициент трения втулки по опорной площадке.

Сила P_1 , которую нужно приложить к окружности зубчатого колеса должна быть равна:

$$P = \frac{r \cdot D}{R - \mu_1 r_1} \left(\frac{\eta + \mu}{1 - \mu(2\eta + \mu)} + \frac{\mu r_2}{r} \right).$$

Соответствующая работа, если считать силу D меняющейся от 0 до значения D_1 по закону прямой линии, будет равна:

$$A = \int_0^{y_1} \frac{P \cdot R}{\eta \cdot r} \cdot dy = \frac{D_1 R \cdot y_1}{2\eta(R - \mu_1 r_1)} \left(\frac{\eta + \mu}{1 - \mu(2\eta + \mu)} + \frac{\mu r_2}{r} \right).$$

Пример. Положим:

$$y = 10 \text{ см}, \quad \eta = 0,067, \quad r = 5 \text{ см}, \quad r_1 = 8 \text{ см}, \quad r_2 = 6,5 \text{ см}, \quad \mu = 0,1, \\ \mu_1 = 0,08, \quad R = 15 \text{ см}.$$

Тогда:

$$A = \frac{15 \cdot 10 D_1}{2 \cdot 0,067 (15 - 0,08 \cdot 8)} \left(\frac{0,067 + 0,1}{1 - 0,1 (0,134 + 0,1)} + \frac{0,08 \cdot 6,5}{5} \right) = 21,4 D_1 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

34. В заключение даем сводку работы величины A , затрачиваемой в подъемных опорных механизмах различных типов при одной и той же высоте подъема (10 см) для разобранных выше примеров. Для сравнения в последнем столбце приводим величины работы, приняв работу в случае коленчатого рычага за 100.

Клиновой механизм при хорошей смазке	10,35 D_1	191
То же при плохой смазке	15,80 D_1	292
Роликовый кулочок	10,513 D_1	194
Коленчатый рычаг.	5,425 D_1	100
Домкрат.	21,4 D_1	394

Приведенные формулы относятся исключительно к работе в самом подъемном устройстве. Затрата энергии на вредные сопротивления в передаточных частях от двигателя к опорному механизму должна быть учтена особо.

НТБ
ДНУЖТ

РАСКРЫВАЮЩИЕСЯ МОСТЫ

Глава III

РАСКРЫВАЮЩИЕСЯ МОСТЫ С НЕПОДВИЖНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ И ЖЕСТКО ПРИКРЕПЛЕННЫМ ПРОТИВОВЕСОМ

§ 15. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

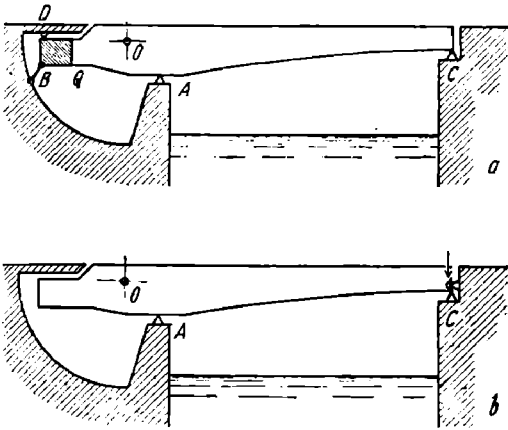
35. Раскрывающиеся мосты разводятся вращением пролетного строения вокруг горизонтальной оси. Могут быть однокрыльми (фиг. 194) или двукрыльми (фиг. 195).

Однокрылые раскрывающиеся мосты применяются для перекрытия сравнительно небольших судоходных отверстий. Их достоинство, по сравнению с двукрыльми системами, заключается главным образом в большей жесткости ферм, представляющих собой в закрытом состоянии балки на трех или двух опорах. Кроме того некоторое удобство может представлять расположение всех механизмов вместе с одной стороны пролета.

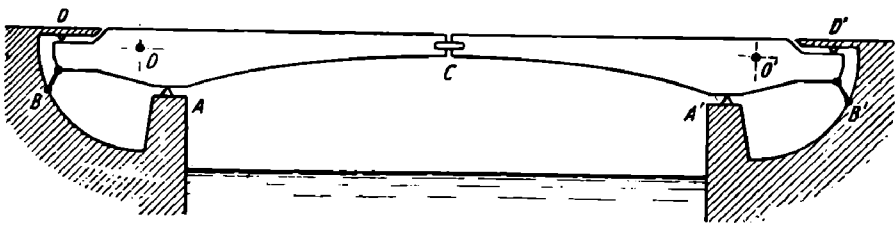
Однако сопротивление вращению, оказываемое ветром, в однокрылых мостах больше, чем в двукрылых, и растет пропорционально квадрату длины крыла; вся постоянная нагрузка передается на одну ось вращения, что при большом весе усложняет конструкцию последней. Ширина быка при значительных пролетах может оказаться чрезмерной. Да и в эстетическом отношении однокрылые мосты хуже двукрылых. Необходимость дать больший про-

стор в высоту под разводной частью, в закрытом состоянии, в интересах судоходства, также может заставить остановиться на двукрылой системе.

Наиболее простой системой из группы раскрывающихся мостов является система с неподвижной осью вращения и жестким креплением противовеса (фиг. 197 и 198).



Фиг. 194.



Фиг. 195.

Фермы таких раскрывающихся мостов имеют две основных части: *крыло* от оси вращения в сторону пролета и *хвостовую часть*—от оси вращения к противовесу *Q*.

Противовес связан с пролетным строением в одно целое и подобран так, что центр тяжести всей системы совпадает с осью вращения. Последняя при движении крыла

НТБ
ДНУЖТ

никакого поступательного движения не имеет, остается на месте, что и дает основание называть подобного рода мосты—мостами с *неподвижной осью вращения* в отличие от систем, в которых мгновенный центр вращения перемещается по некоторой траектории.

По мотивам, изложенным в отделе поворотных мостов, ось вращения желательнее разгрузить от действия временной нагрузки. Для этой цели в подшипниках оси вращения оставляется небольшой зазор и одна из опор фермы снабжается особым механизмом, осуществляющим вертикальное перемещение опоры (*подклинивающий замковый механизм*).

Устройство опор в однокрылом раскрывающемся мосту делается тогда по одной из следующих схем (фиг. 194). В *A* помещается опора фермы для закрытого состояния, устроенная так, что верхняя часть опоры может свободно покинуть нижнюю при вращении крыла. Подклинивающий механизм находится или в точке *B* (фиг. 194а) или в точке *C* (фиг. 194б). В точке *D* устраивается отрицательная опора (заанкеренная в кладку) в том случае, если положительной реакции от постоянной нагрузки недостаточно для уничтожения отрицательной реакции от временной нагрузки, расположенной невыгоднейшем образом.

При схеме по фиг. 194 закрывание моста происходит в следующем порядке. В конце вращения пролетного строения фермы опираются в точках *A*; на опорах *C* и *D* имеется небольшой зазор. Приводится в действие хвостовой замковый механизм *B*, заставляющий все пролетное строение немного повернуться вокруг опоры *C*, тем самым разгружается ось вращения и в опорах *C* и *D* уничтожаются зазоры.

При схеме по фиг. 194б разгрузка оси достигается вращением пролетного строения также вокруг опоры *A*, но вызывается это вращение не хвостовым замком, а передним замковым механизмом *C*, который для этой цели должен действовать на фермы разводного пролета сверху вниз. Противовес при таком устройстве в закрытом состоянии моста, находясь на весу, может приходить в колебательное движение, что и представляет некоторый недостаток схемы 194б. Наличие отрицательной опоры при схеме по фиг. 194 не обязательно.

Замковые механизмы, хвостовой и передний, кроме описанного выше назначения разгрузки оси вращения, имеют еще другое—предохранить разводную часть от стремления раскрыться при пропуске временной нагрузки.

В *двукрылом раскрывающемся мосту*, кроме хвостовых замков, необходимо устроить *средний замок*, обеспечивающий совместный прогиб концов обоих рукавов (фиг. 195 и 198); средние замки могут быть: ригельные, передающие только поперечную силу, пальцевые, передающие также и момент, и шарнирные, превращающие фермы разводного пролета в трехшарнирные арки.

Схема закрывания двукрылого моста в остальном одинакова с таковой для однокрылого по фиг. 194.

Для разгрузки оси вращения Glatzmeyer'ом была предложена особая система, в которой операция подклиники осуществляется автоматически, вращательным движением самого крыла. Для этой цели фермы опираются на специальные качающиеся стойки (фиг. 202). Поворот крыла осуществляется перемещением хвостовой шестерни по цевочной дуге, уложенной вдоль задней стенки колодца. Шестерня приводится во вращение мотором. В закрытом состоянии моста ось вращения разгружена. Поэтому в первый момент после пуска в ход хвостовой шестерни происходит вращение вокруг нижнего шарнира стойки и она ложится на переднюю стенку. Дальнейший поворот совершается вокруг оси вращения крыла. Для обратной постановки стойки в вертикальное положение и разгрузки оси вращения служит особая вилка, приделанная к ферме, которая и увлекает стойку вместе с вращающимся крылом. Задвижка ригельного типа, предусмотренная на конце хвостовой части ферм, является лишь предохранительным от случайного раскрытия средством.

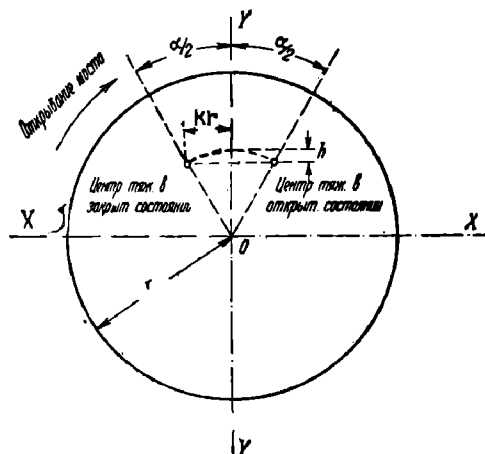
Разгрузка оси вращения, как уже говорилось, очень желательна, однако для упрощения конструкции целесообразно иногда в небольших мостах, оставлять ось вращения под нагрузкой и в закрытом состоянии. В качестве примера можно указать на построенный в 1921 г. раскрывающийся мост в Гамбурге, описанный ниже.

В американской практике разгрузка оси вращения, в целях упрощения механизмов, не применяется и хвостовые замки, как правило, отсутствуют. Во избежание появления моментов, стремящихся раскрыть мост, стык подвижной и неподвижной частей полотна делается впереди (в сторону пролета) оси вращения.

Как указывалось, центр тяжести всей системы должен совпадать с осью вращения; при закрывании и открывании разводной части энергия тратится только на вредное сопротивление и на преодоление момента ветра и неуравновешенной части настила.

С точки зрения удобства управления движением крыла имеет смысл несколько сдвинуть центр тяжести системы по отношению к оси вращения в сторону к пролету (фиг. 196). При такой проектировке вес системы в конце движения, как при закрывании, так и при открывании, действует в направлении движения, что позволяет выключить моторы и плавно остановить пролетное строение действуя одними тормозами.

Кроме того указанное расположение оси вращения способствует устойчивому положению разводной части в закрытом состоянии.



Фиг. 196.

Величину выноса центра тяжести можно найти из равенства моментов трения в оси вращения моменту веса пролетного строения (с противовесом) ¹:

$$P \cdot x = P \cdot kr,$$

где:

P — вес системы,
 k — коэффициент трения,
 r — радиус оси вращения.
 Следовательно

$$x = kr = 0,15r \div 0,2Cr.$$

Положение центра тяжести определяется пересечением радиуса, наклоненного к вертикали под углом, равным половине полного угла открытия, с прямой, отстоящей от вертикали, проходящей через ось вращения, на величину $x = kr$.

Несовпадение центра тяжести с осью вращения допускается и из иных побуждений. Примером может служить уже упоминавшийся мост в Гамбурге, где центр тяжести довольно сильно смещен внутрь пролета, что позволяет обойтись без замкового механизма.

§ 16. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСКРЫВАЮЩИХСЯ МОСТОВ С ЖЕСТКО ПРИКРЕПЛЕННЫМ ПРОТИВОВЕСОМ

36. Колодцы и их перекрытие. При открывании моста хвостовая часть прячется в *колодец* — специальное углубление, сделанное в быке или устое. Перекрытие колодца непосредственно хвостовой частью неудобно, т. к. требует замкового механизма значительной крепости (большая опорная реакция). Поэтому в большинстве случаев колодец перекрывается отдельной системой балок, а хвостовая часть несколько снижается (фиг. 197 и 198).

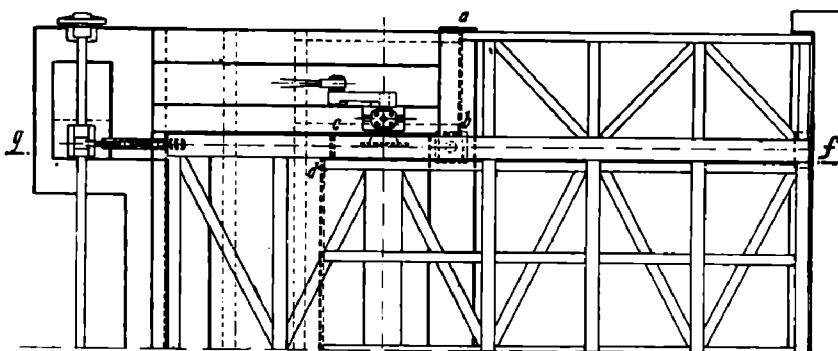
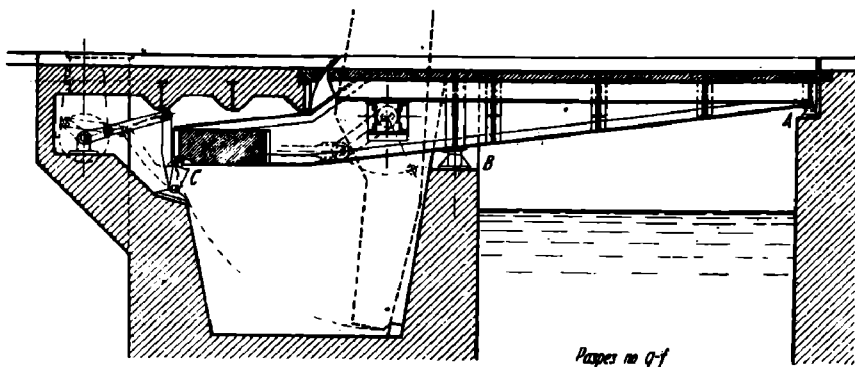
Стык полотна подвижной и неподвижной частей может быть устроен или позади оси вращения, или впереди нее. Во втором случае, для возможности движения ферм в полотне делаются прорезы, щели, перекрытые металлическими откидными планками (фиг. 198).

При расположении сопряжения подвижной и неподвижной части впереди оси вращения: 1) крыло получается несколько легче, т. к. меньше длина проезжей части, попавшей на разводной пролет; 2) вся грязь и все случайно оставленные на разводном пролете предметы не попадают при открывании моста в колодец; 3) колодец остается и при поднятом крыле закрытым от попадания воды сверху; 4) временная нагрузка не может открыть мост и, следовательно, хвостовой замок нужен лишь для разгрузки оси вращения, чем облегчается его конструкция.

Но зато: 1) затрудняется устройство проезжей части в районе оси вращения (откидные планки); 2) ухудшается система горизонтальных связей, которая не может быть доведена до оси вращения; некоторый промежуток позади оси вращения также остается без связей.

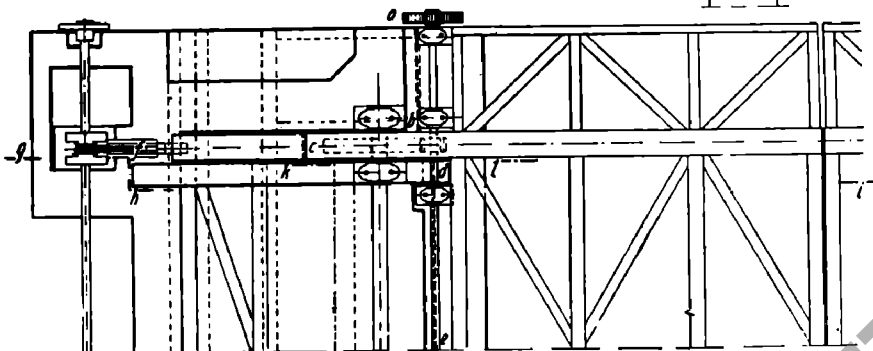
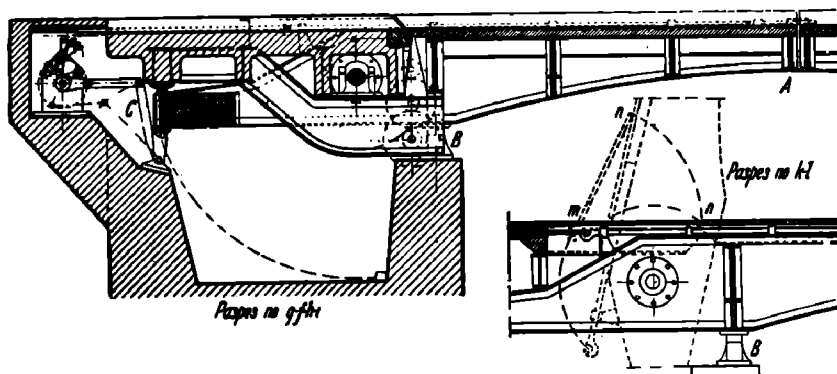
Поэтому расположение стыка подвижной и неподвижной части позади оси вращения заслуживает предпочтения. Против попадания грязи и воды в колодец принимаются специальные меры.

¹ Hool and Kinne, Movable and long-span steel bridges, 1923, стр. 54.



План без настила

Фиг. 197.



План без настила

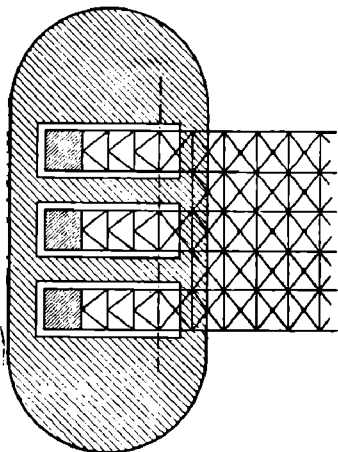
Фиг. 198.

НТБ
ДНУЖТ

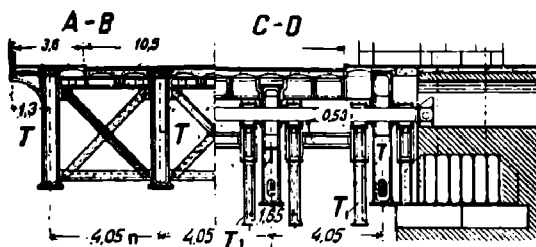
Стык в тротуарной части полотна без затруднений можно сделать впереди оси вращения, в особенности если тротуар расположен исключительно на консолях. Линия сопряжения подвижной и неподвижной части приобретает тогда ломаное очертание (фиг. 197, линия *abdce*).

При небольшой ширине моста устраивается один колодец; при этом все фермы соединяются связями в одну жесткую пространственную систему и снабжаются общим противовесом. Балки, перекрывающие колодец и ось вращения опираются на боковые стенки колодца (фиг. 197).

Если ширина моста большая, то перекрытие широкого колодца балками в один пролет становится затруднительным; в этом случае следует устроить несколько колодцев, объединив хвостовые части ферм в отдельные группы (например по две фермы). В каждой группе фермы соединены связями и имеют общий противовес. Между группами ферм остаются стенки, на которые опираются балки, перекрывающие колодец и ось вращения (фиг. 199). Для увеличения объема противовеса, для увеличения поперечной жесткости каждой группы ферм и для уменьшения литых частей оси вращения (см. об этом дальше) расстояние между осями ферм при такой схеме иногда делается неодинаковым. Так например в разводной части Охтенского моста в Ленин-



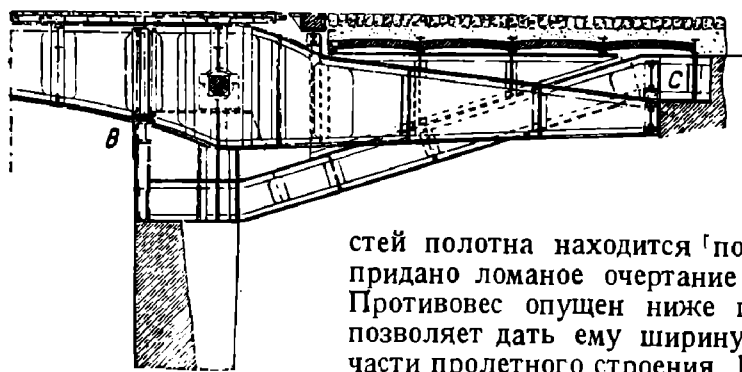
Фиг. 199.



Фиг. 200.

граде расстояние между фермами, соединенными вместе—5,70 м, а между фермами соседних групп—3,00 м. Тротуарные фермы имеют специальные противовесы (фиг. 238).

Другой прием создания опорных точек для оси вращения и для балок проезжей части (в пределах колодца) заключается в устройстве продольных балок, идущих с обеих сторон каждой главной балки и опирающихся на стенки колодца.



Фиг. 201.

Пример такого устройства—разводная часть Тоуэрского моста через Темзу в Лондоне (фиг. 200).

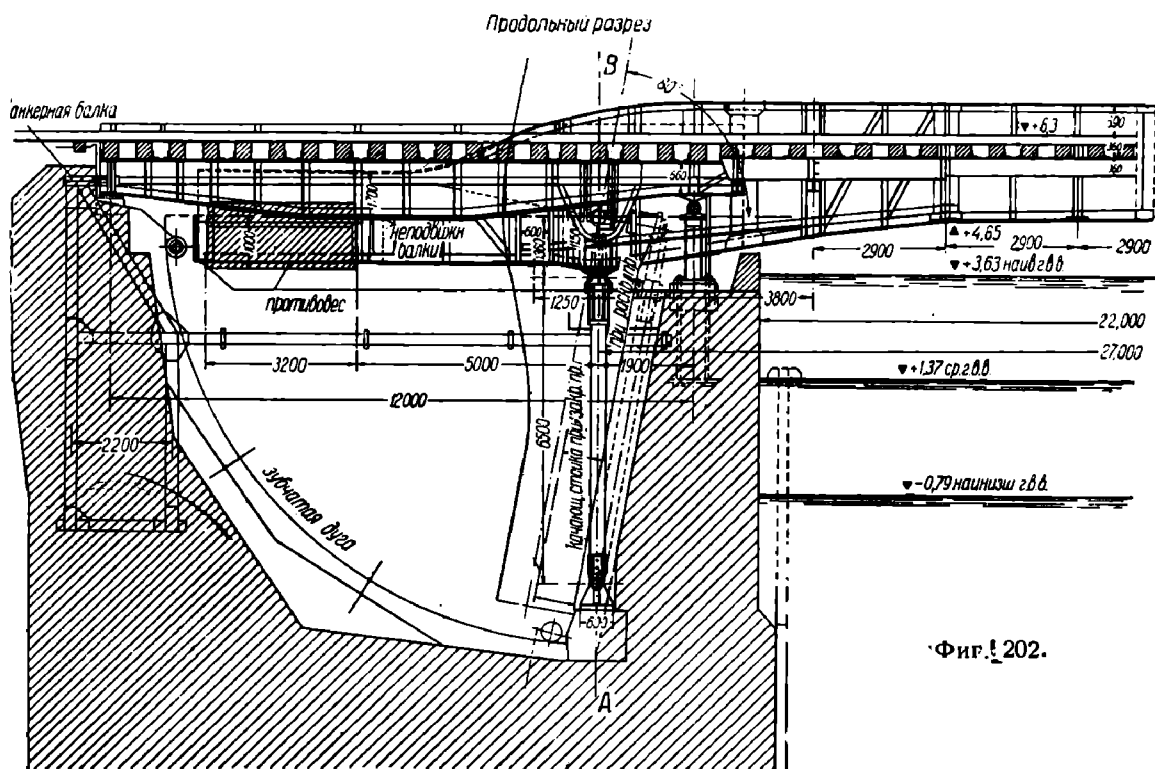
Так как поставленные рядом с фермами балки должны поддерживать проезжую часть, а стык подвижной и неподвижной частей полотна находится позади оси вращения, балкам придано ломаное очертание в вертикальной плоскости. Противовес опущен ниже поддерживающих балок, что позволяет дать ему ширину, равную ширине хвостовой части пролетного строения. Кроме того такое расположение противовеса обеспечивает поперечную связь между фермами в концевом сечении. Продольные связи в хвостовой части могут быть устроены лишь в плоскости нижнего пояса и притом на небольшом участке, чтобы не помешать повороту пролетного строения.¹

Другой пример более спокойного очертания поддерживающих балок показан на фиг. 201 (мост через Seekanal в Брюсселе, двукрылый $l=18$ м). Для поддержания проезжей части пришлось дать небольшие стойки.

Еще более простое очертание поддерживающих балок дано в мосту через Stög в Itzehoe (фиг. 202, 203 и 204), пролетом 22 м в свету (мост однокрылый). Поддержи-

¹ Представление о форме поддерживающих балок T_1 дает фиг. 198.

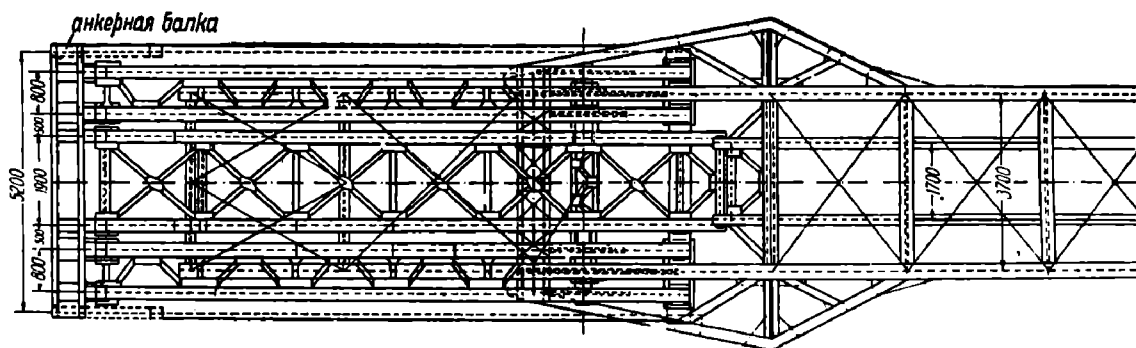
вающие балки в этом мосту опираются на переднюю стенку колодца посредством металлических стоек с шарниром наверху. Благодаря такому устройству, кроме упрощения формы поддерживающих балок, улучшается система нижних продольных связей в хвостовой части, но усложняется прикрепление подшипников оси вращения, которые должны быть подвешены снизу к поддерживающим балкам.



Фиг. 202.

стык подвижной и неподвижной частей расположен в этом мосту впереди оси вращения. Так как стойки поддерживающих балок мешают на некотором участке устройству продольных связей между фермами, то для передачи ветровых усилий и для увеличения поперечной жесткости пролетного строения устроены связи с наруж-

План



Фиг. 203.

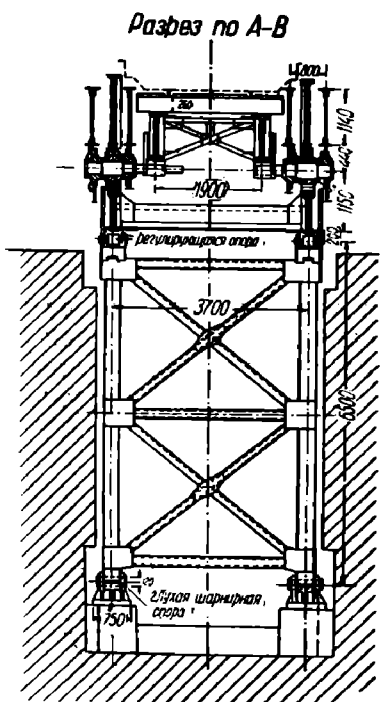
ной стороны главных балок (фиг. 203). В закрытом состоянии моста вес пролетного строения передается через специальные качающиеся стойки (система Glatzmeyer'a). Заметим, что такая же конструкция поддерживающих балок мыслима и при непосредственном опирании главных балок на переднюю стенку колодца.

Устройство поддерживающих балок по сравнению с устройством нескольких колодцев имеет лишь одно преимущество: позволяет развить противовес в ширину. Экономия, заключающаяся в замене стенок балками, едва ли может иметь существенное значение. Зато в отношении поперечной жесткости пролетного строения, по про-

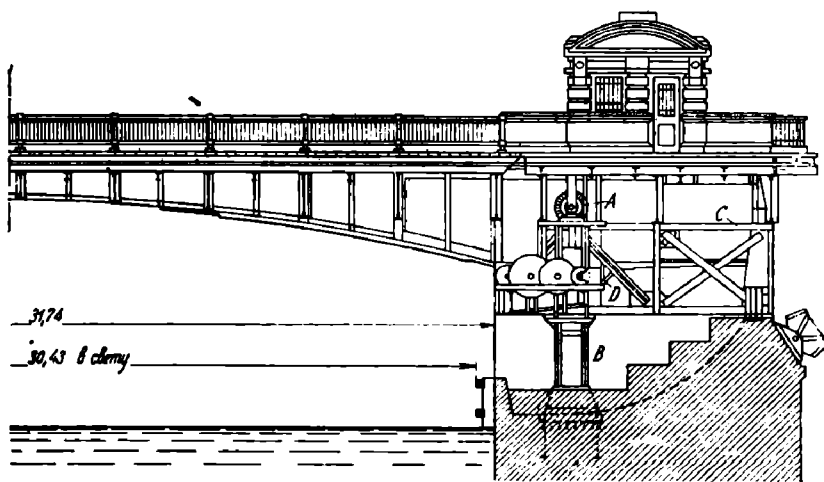
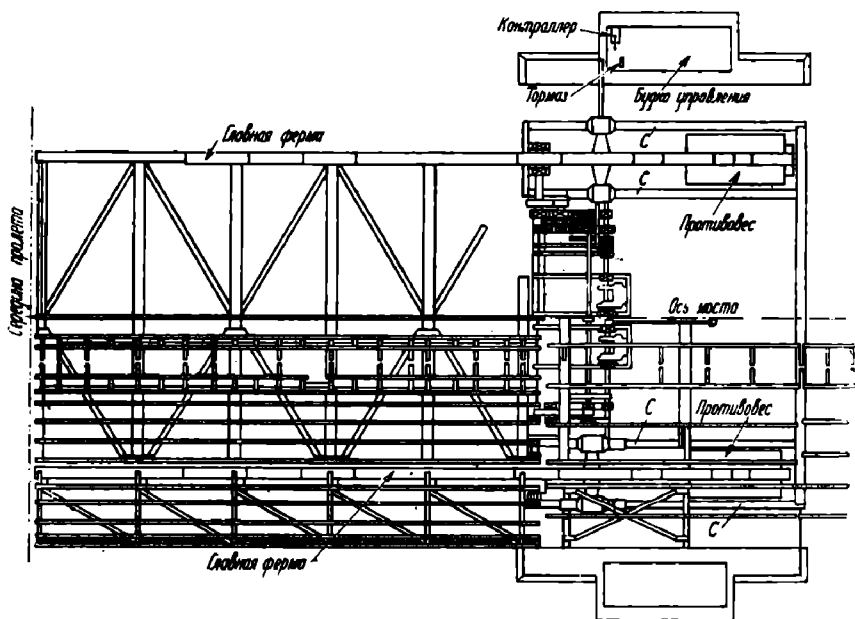
стоте и солидности конструкции, устройство нескольких колодцев с соединением главных ферм в группы заслуживает предпочтения.

Сказанное относится к тем конструкциям, в которых стык подвижной и неподвижной частей полотна расположен *позади оси вращения*. Иначе обстоит дело, если этот стык находится *впереди оси вращения*. В таких случаях объединение главных балок в отдельные группы, или, тем более, объединение всего пролетного строения в одно целое вызывает необходимость устройства очень широких откидных планок, а потому, насколько известно, не применяется.

Приводим еще один пример конструкции поддерживающих балок при расположении стыка полотна впереди оси вращения (фиг. 205, мост через Anacostia Creek в Вашингтоне). Поддерживающие балки—сквозные, очень простого очертания. Однако, простота очертания поддерживающих балок достигнута дорогой це-



Фиг. 204.



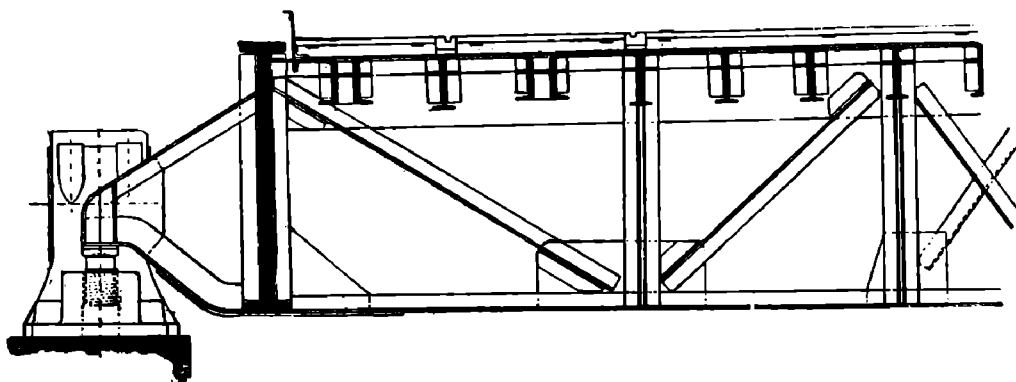
Фиг. 205.

ной: 1) совершенно отсутствуют связи между фермами в хвостовой части, 2) противовесы весьма небольшой ширины, что заставляет развивать их в длину (вдоль моста) и следовательно уменьшать плечо их действий, тем самым увеличивая их массу. Возникает также серьезный вопрос об устойчивости главных балок в хвостовой части вследствие отсутствия связей.

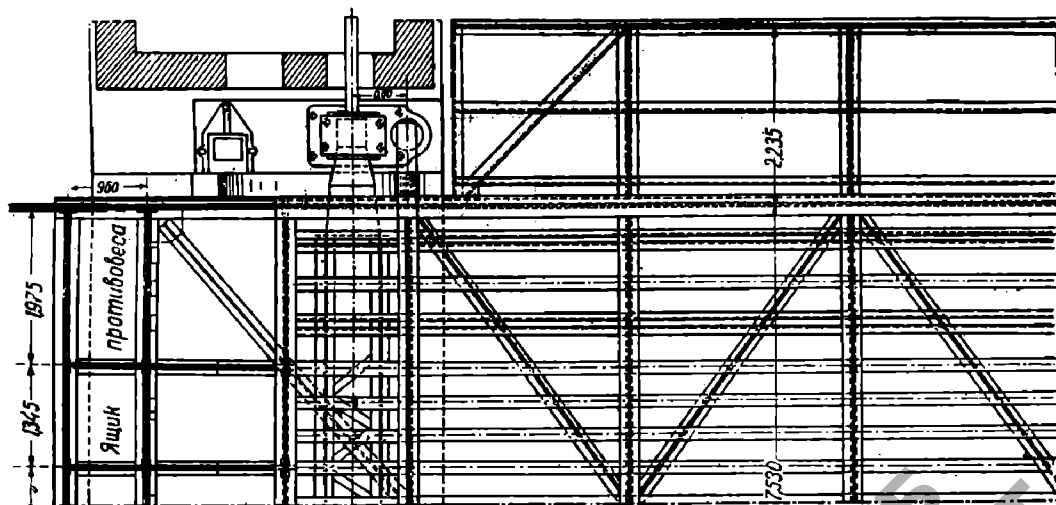
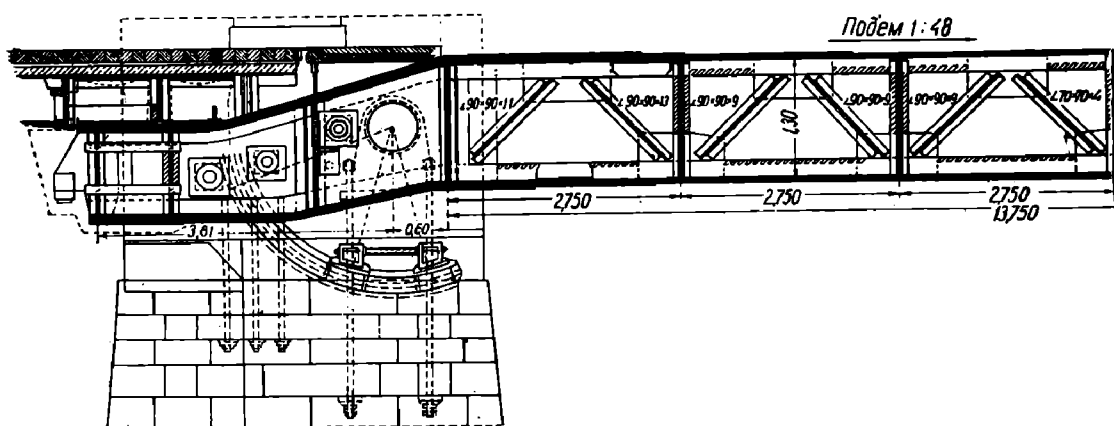
При сравнительно небольшой ширине полотна возможна конструкция, показанная на фиг. 198: балки, поддерживающие ось вращения, прикреплены с одной стороны к поперечной балке, перекрывающей колодец.

Интересное решение вопроса о поддержании оси вращения дано в мосту через канал Lake Washington в Seattle (см. § 19, фиг. 232). Ось опирается на железобетонные выступы из боковых стен колодца. Вместо устройства железобетонных консолей можно перекинуть с одной стены на другую поперечную балку.

37. Фермы разводной части обычно опираются в закрытом состоянии на переднюю стенку колодца. Вследствие этого передняя стенка должна быть сделана достаточных размеров, чтобы безопасно передавать иной раз весьма значительные опорные реак-



Фиг. 206 а.



Фиг. 206 б.

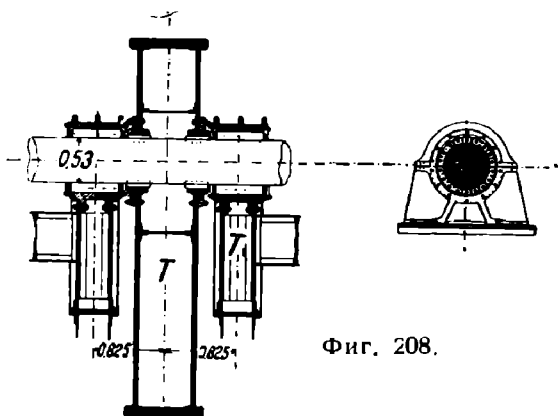
ции. Чем толще передняя стенка, тем дальше приходится отодвигать ось вращения от положительной опоры, дабы иметь возможность повернуть пролетное строение на один и тот же требуемый по судоходным условиям угол. Отодвигание оси вращения отражается невыгодно на толщине быка, если сохранять постоянное отношение длины

Действительно, в системе Glatzmeyer'a давление от ферм передается специальным качающимся стойкам; передняя стенка колодца служит лишь для прикрытия такого, для защиты его от воды и может быть сделана при благоприятных местных условиях малой толщины, в особенности, если применить в качестве материала стенки железобетон, и если стык подвижной и неподвижной частей полотна устроить не впереди оси вращения, как на фиг. 202, а позади нее.

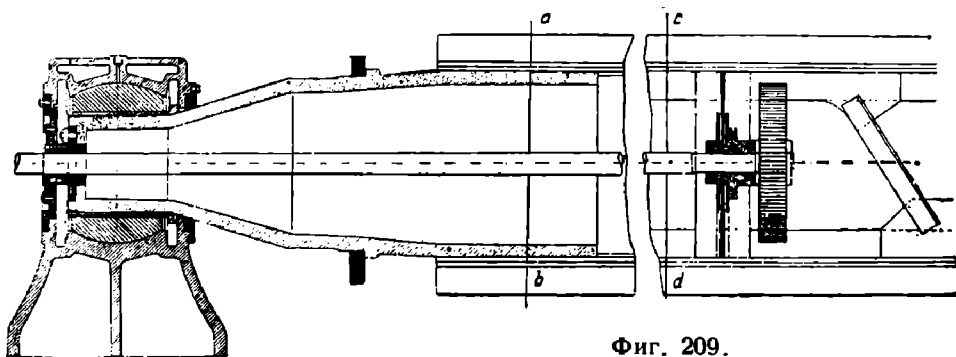
Еще один пример уменьшения ширины быка путем передачи давления от ферм на кладку через металлические стойки—разводная часть моста в Эльбинге по конкурсному проекту под девизом «Freier Blick III» (фиг. 207). К особенностям этого проекта следует отнести также и то, что ось вращения является опорой ферм в закрытом состоянии моста, что, как указывалось выше, не очень желательно. Ширина быка по проекту «Freier Blick III»—3,70 м вместо 4—4,5 м по другим проектам для того же моста (бык шириной 4,0 м для системы Шерцера).

38. Конструкция оси вращения раскрывающихся мостов. В первых раскрывающихся мостах современных типов математической оси вращения соответствовала по всей длине ее действительная материальная ось, большей частью сплошного сечения.

Такова ось Тоуэрского моста в Лондоне (фиг. 200, 208) диаметром 0,53 м, длиной около 15 м, идущая сквозь все фермы и опирающаяся на поддерживающие балки при помощи роликовых подшипников. К фермам ось прикреплена неподвижно.



Фиг. 208.



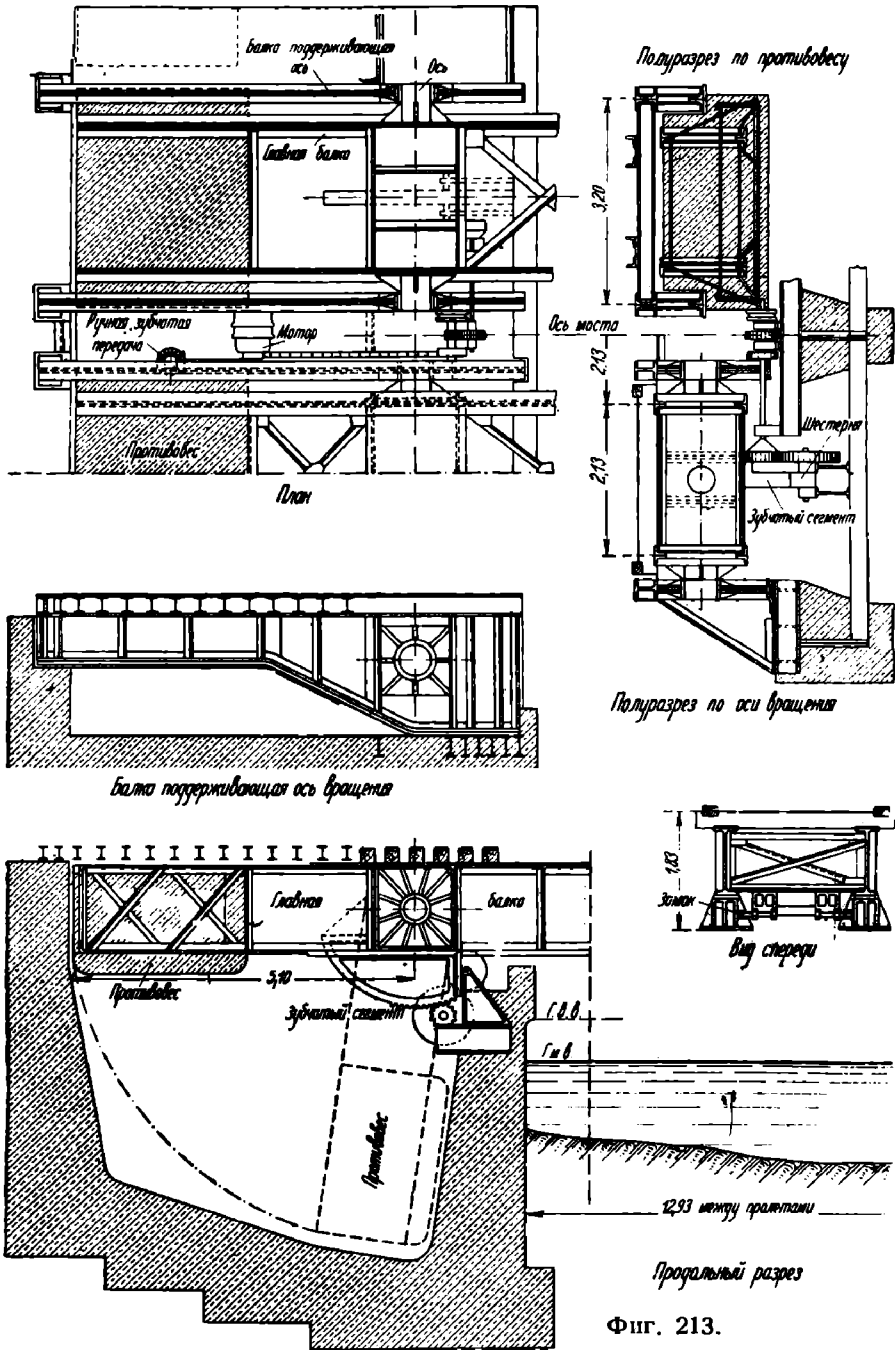
Фиг. 209.

Свое прямое назначение ось вращения в подобного рода конструкциях исполняет лишь на сравнительно коротких участках между подшипниками и фермой, на остальном же протяжении представляет лишь поперечную связь между фермами и могла бы быть заменена более дешевой и более солидной клепаной распоркой. А если, в нешироких мостах, ось вращения опирается исключительно на боковые стенки, то устройство оси вращения в виде сплошного литого вала становится еще более нерациональным, т. к. на участке между фермами ось должна работать на изгиб и иметь, следовательно, значительный диаметр.

По изложенным причинам ось вращения стали делать из отдельных коротких литых частей, предпочитая заменять частично материальную ось вращения клепаными распорками и балками. В то же время сплошной вал стал заменяться полый трубчатой осью. Кроме облегчения веса и улучшения качества отливки трубчатая ось имеет большое значение и для компоновки механизмов вращения, т. к. через нее может быть пропущен второй меньшего диаметра вал, передающий вращение от мотора.

Пример такой конструкции—ось вращения моста через р. Мемель в Тильзите (фиг. 206), показанная на фиг. 209. Литые части оси вращения оканчиваются с одной

дольным балкам. Интересна форма отливок, приближающихся к брусу равного сопротивления изгибу. Такая форма, помимо экономии материала, облегчает монтаж оси. В первом проекте отливки полые—для пропуска движущегося вала. Во втором—сплошные.



Фиг. 213.

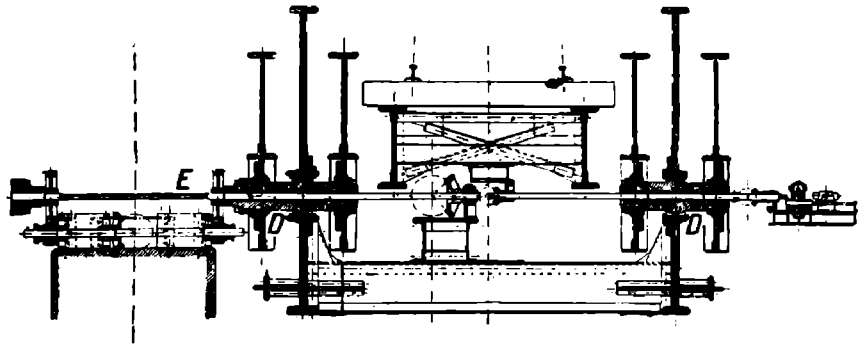
Во всех приведенных выше примерах оси вращения прикреплены *неподвижно к фермам*. Есть мосты с *подвижным* прикреплением ферм к *не вращающимся осям* (мост в Duisburg-Ruhrort'e ¹, мост через Stör в Itzehoe и др.). Последнее более сложно, чем первое, и применяется редко.

В качестве примера конструкции оси вращения в тех случаях, когда ось опирается на поддерживающие балки; на фиг. 216 приведен поперечный разрез по оси вращения моста через Stör в Itzehoe, о котором уже упоминалось (фиг. 202). Ось вращения закреплена неподвижно, посредством фланцев в поддерживающих балках.

¹ Hotopp. Bewegliche Brücken. 1913, ч. I, стр. 32.

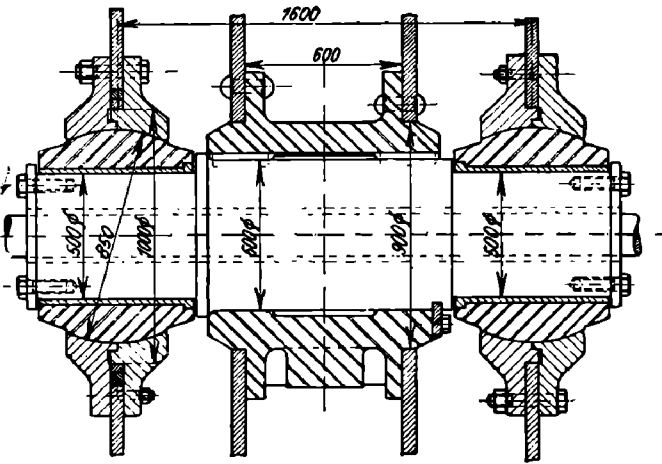
мостах, не нуждающихся по местным условиям в большой скорости раскрытия, ручное оборудование может заменить и механические двигатели.

Число возможных схем устройства механизмов вращения довольно велико. Однако, все их можно разделить на две основные группы: 1) схемы, в которых движущая сила приложена к оси вращения, 2) схемы, в которых движущая сила приложена непосредственно к пролетному строению.



Фиг. 216.

В первом случае ось вращения подвержена действию скручивающих моментов иной раз значительной величины, в особенности если двигатели расположены по одну сторону от пролетного строения (фиг. 219, a).



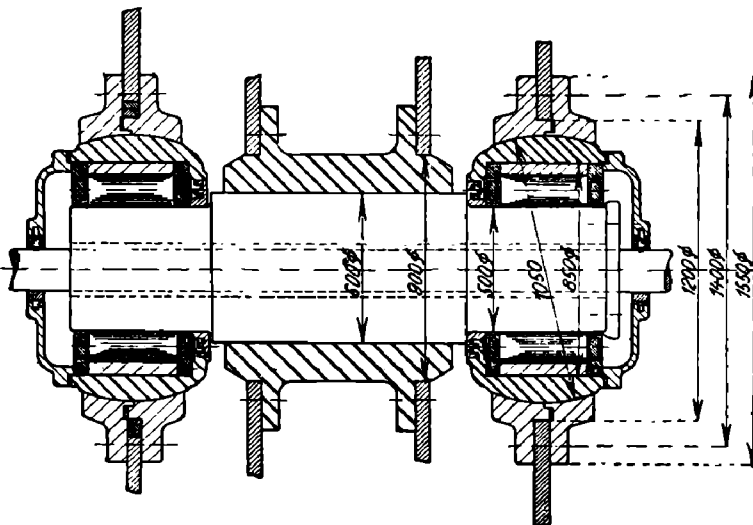
Фиг. 217.

Если расположить двигатель между фермами по оси моста или если разбить механизмы вращения на две отдельные группы, то ось вращения будет работать на скручивающий момент, соответствующий лишь половине общей мощности, причем при схеме по фиг. 219, b, участок оси между фермами работает на кручение весьма незначительно, лишь при неравномерной работе моторов. Тем не менее и в схемах 219, b и c ось вращения подвержена скручиванию.

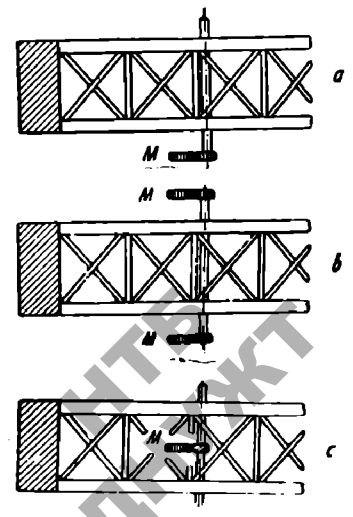
Главнейшие способы приведения разводной части в движение

с силами, приложенными к оси вращения, следующие:

1) К оси вращения прикрепляется зубчатый сектор, сцепленный с шестерней (фиг. 22), a, шестерня связана с двигателем (электромотор, двигатель внутреннего сгорания, ручная лебедка).



Фиг. 218.



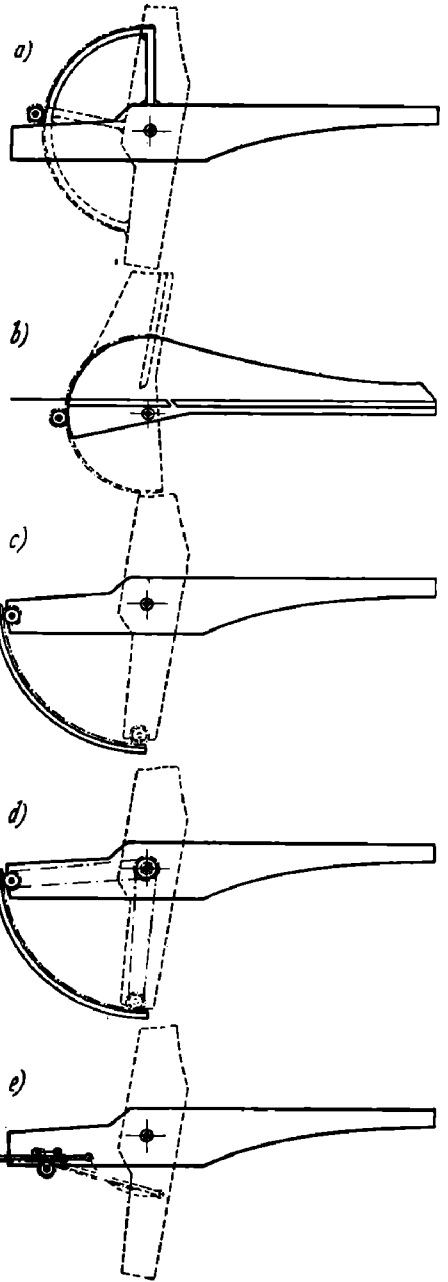
Фиг. 219.

2) На тот же сектор действует зубчатая рейка, получающая поступательное движение от поршня гидравлического пресса (фиг. 220, *b*).

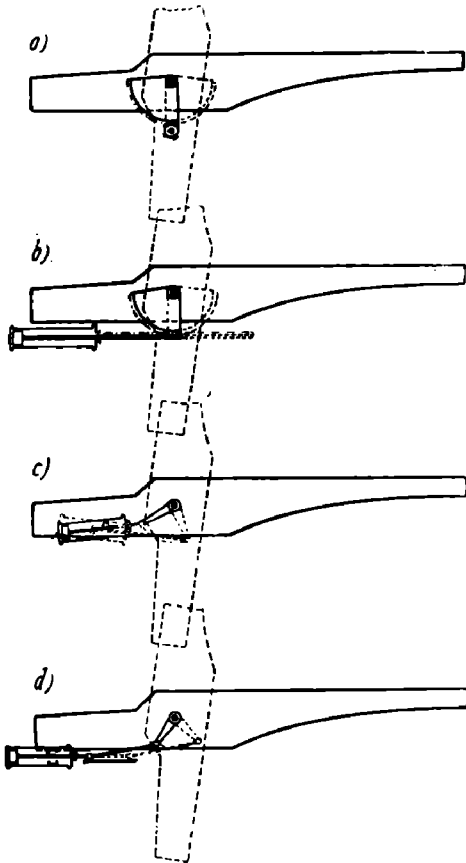
3) Ось вращения снабжается кривошипом, который приводится в вращательное движение от поступательного движения поршня гидравлического пресса. Цилиндр пресса может вращаться вокруг неподвижной оси (фиг. 220, *c*). Вместо вращающегося цилиндра можно применить механизм из ползуна, шатуна и кривошипа (фиг. 220, *d*).

4) На кривошип действует штанга, соединенная с гайкой, которая имеет поступательное движение при вращении винта (фиг. 207). Подобного рода механизм предложен в одном из проектов, представленных на конкурс моста в Эльбинге в 1924 г. под девизом «Freier Blick III». Достоинство такого устройства в том, что механизм — *самотормозящий*; крыло может быть остановлено в любом положении, не прибегая к тормозам.

К недостаткам перечисленных схем, кроме указанного выше, следует отнести относительно малое плечо действия силы и переменную (за исключением схем по фиг. 220, *a* и *b*)



Фиг. 221.



Фиг. 220.

величину составляющей силы, нормальной к радиусу. Кроме того изготовление зубчатого сектора или кривошипа при больших размерах таковых обходится дорого.

В силу указанных причин схемы механизмов вращения второй группы, т. е. те, в которых движущие силы приложены непосредственно к пролетному строению, заслуживают предпочтения.

К их числу относятся следующие схемы:

1) Вращение двигателя передается шестерне (через систему зубчатых колес). Шестерня соединена с зубчатой, в виде сектора, отливкой (фиг. 221, *a*). Таков способ приведения в движение Тоуэрского моста. Зубчатый сектор закрыт башней на быке.

Ввиду дороговизны изготовления зубчатого сектора и затруднительности его маскировки, механизмы вращения по схеме, примененной в Тоуэрском мосту, не получили широкого распространения. Зубчатый сектор может быть прикреплен и снизу ферм, а не сверху, как в Тоуэрском мосту (пример—мост через Paw-Paw, фиг. 213).

2) Зубчатая дуга, за которую зацепляет движущая шестерня, прикрепляется к поясу хвостовой части ферм; последней придается соответствующее очертание (фиг. 221, *b*). Примеры: мост в Milwaukee на Grand Avenue, мост через Schuylkill River в Филадельфии и т. д.

3) Движущая шестерня располагается на хвосте ферм, зубчатая дуга прикрепляется к кладке колодца. Двигатели (в этом случае пригодны исключительно электромоторы) находятся также на хвостовой части пролетного строения и участвуют в движении вместе с ним (Охтенский мост, фиг. 221, *c*).

4) Та же схема, но с тем различием, что двигатели располагаются на неподвижной части моста (быке, устое), а вращающий момент от них передается хвостовой шестерне посредством вала, *пропущенного сквозь полую ось вращения*. Передача от вала к шестерне осуществляется или системой других валов и конических зубчатых колес, или цепью Галля (фиг. 221, *d*). Примеры: ручное оборудование Охтенского моста в Ленинграде, мост через Stör в Itzehoe, мост в Duisburg-Ruhrort'e, конкурсные проекты моста в Эльбинге под девизом «Flöpnix», «Freier Blick I» и т. д.

5) На пролетное строение действует шарнирно прикрепленная к нему зубчатая штанга, связанная с шестерней, приводимой во вращение, и удерживаемая двумя направляющими роликами, которые посажены в общей с шестерней подвижной рамке. Примеры: мост в Чикаго на Eree Street (фиг. 221, *e*), конкурсный проект моста между Seeland и Amager в Копенгагене под девизом «Beslutsmohed» (фиг. 256).

В первом из указанных примеров двигатель и лебедка расположены на неподвижной части моста, во втором—на самом пролетном строении разводной части. Второй пример относится собственно к раскрывающимся мостам с шарнирным прикреплением противовеса, но это обстоятельство не меняет дела по существу разбираемого вопроса.

6) При гидравлическом оборудовании возможна схема по фиг. 222 (первоначальный проект механизмов Охтенского моста в Ленинграде). Два качающихся цилиндра укреплены на неподвижных осях. Поршни цилиндров заставляют пролетное строение вращаться.

Не останавливаясь на рассмотрении других схем механизмов вращения, встречающихся в единичных случаях (некоторые из них приведены в помещенных в следующих параграфах примерах), заметим, что наилучшими схемами следует признать те, в которых зубчатая дуга уложена в колодце, а движущая шестерня находится на хвосте ферм.

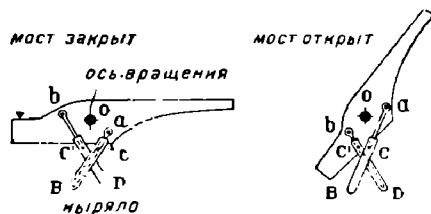
Достоинство этой системы: а) большое плечо действия силы, вследствие чего сама сила (давление на зубцы) становится меньше; б) постоянство вращающего момента; в) отсутствие дорогих, большого размера отливок (как напр. в схеме по фиг. 221, *a*); г) спокойное очертание ферм в хвостовой части (сравни с фиг. 221, *b*).

Если все механизмы вращения расположены в непосредственной близости от ведущей шестерни на пролетном строении моста, то коэффициент полезного действия установки увеличивается (меньше передаточных частей), но зато отнимается место от противовеса.

Что же касается до размещения двигателей и лебедки—на подвижной или на неподвижной частях моста, то этот вопрос решается в соответствии с общей компоновкой сооружения—наличием места на быках, размерами пролетного строения и т. д., и в соответствии с родом двигателя.

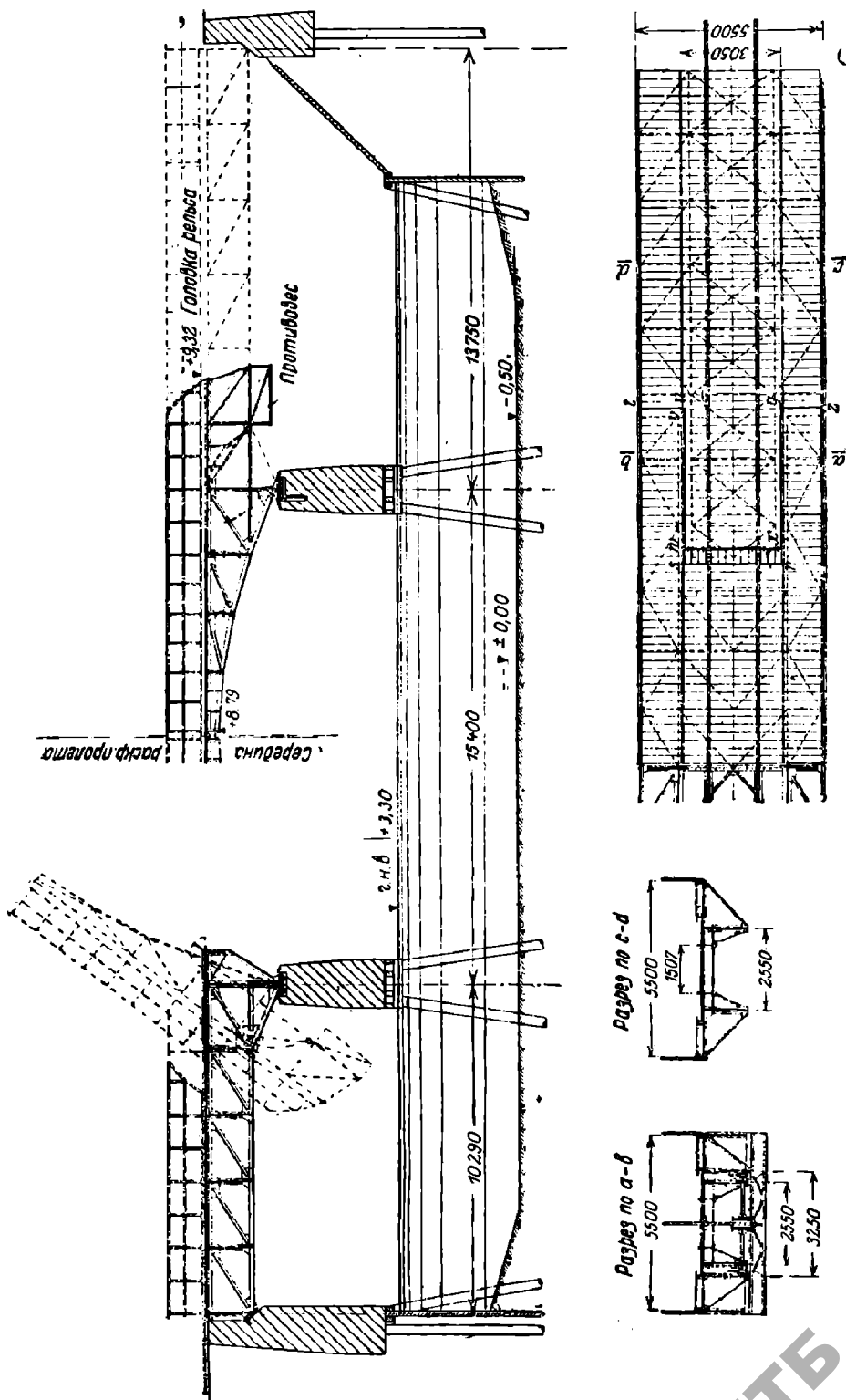
§ 18. ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИИ РАСКРЫВАЮЩИХСЯ МОСТОВ С ЖЕСТКО ПРИКРЕПЛЕННЫМ ПРОТИВОВЕСОМ С ЕЗДОЙ ПОВЕРХУ

40. Мост в Гамбурге в гавани Reiherstieg. В 1922 г. в Гамбурге построен мост через один из портовых бассейнов с разводной частью раскрывающейся системы. Разводная часть двукрылая, пролетом 15,4 м между центрами опор. Все сооружение интересно по своей легкости и экономичности (фиг. 223).



Фиг. 222.

В закрытом состоянии фермы разводной части представляют собой трехаршинные арки. Распор арок передается через фермы соседних неподвижных пролетов на устои, где и уравнивается давлением земли.

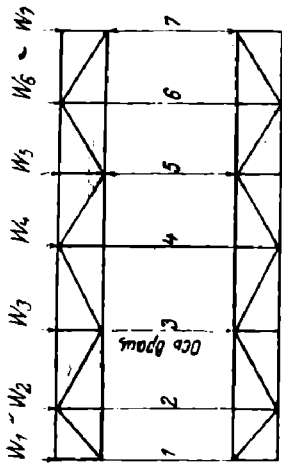


Фиг. 223.

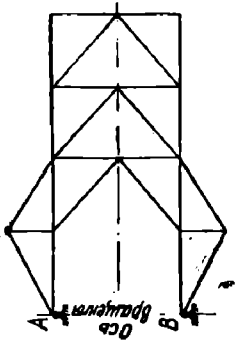
Пятовой шарнир служит одновременно и осью вращения. Центр тяжести всей движущейся части, включая противовес, смещен в сторону пролета на 0,69 м и кроме того находится выше оси вращения (фиг. 224).

Стык полотна расположен впереди оси вращения, стык тротуаров—позади нее (линия стыка $tuwxyz$, фиг. 223).

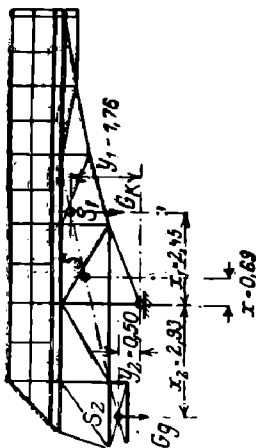
Расстояние между осями ферм разводного пролета 3,25 м, между осями неподвижных пролетов 2,55 м. Как видно из поперечных разрезов (фиг. 223), фермы разводной части находятся снаружи неподвижных ферм.



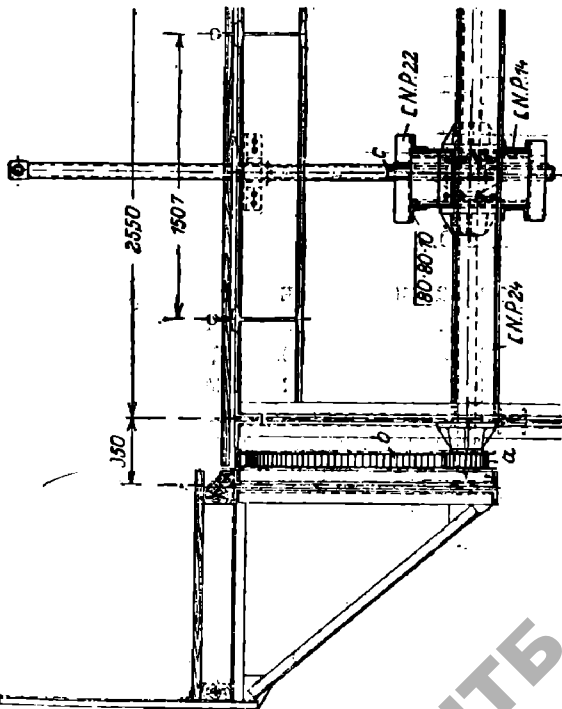
Фиг. 225.



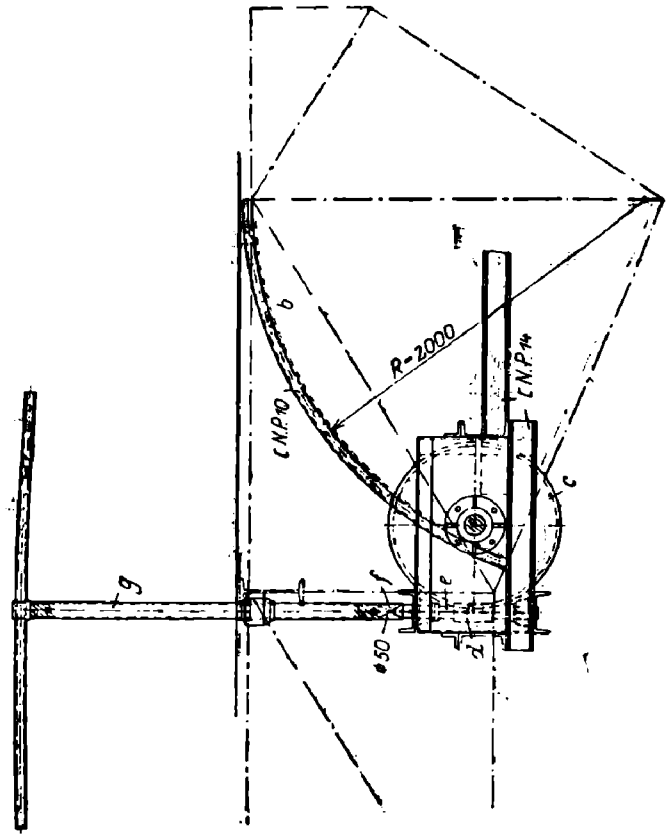
Фиг. 226.



Фиг. 224.



Фиг. 227.

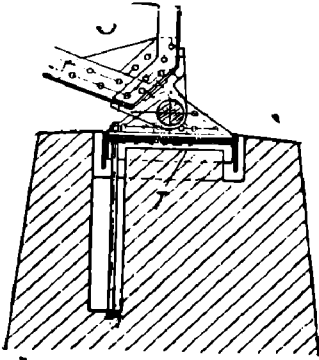


Фиг. 228.

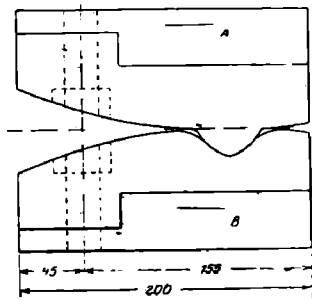
Связи, устроенные между верхними поясами ферм, показаны на фиг. 225, связи между нижними поясами—на фиг. 226.

Разводная часть рассматриваемого моста имеет целый ряд исключений из обычных приемов конструирования раскрывающихся мостов: центр тяжести системы не совпадает с осью вращения, колодец отсутствует, ось вращения остается нагруженной

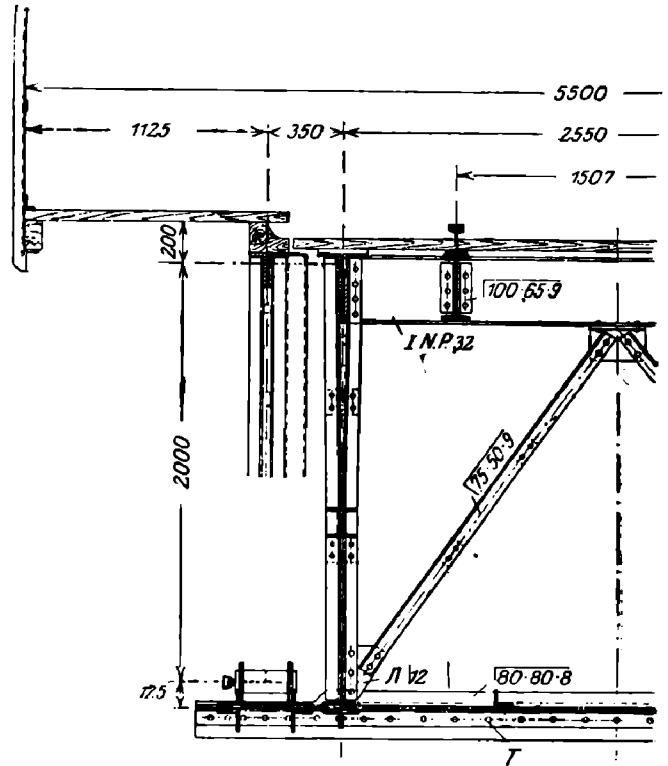
и в закрытом состоянии моста, стык тротуара отнесен за ось вращения. Тем не менее конструкция разводной части для данных местных условий в общем весьма целесообразна. Мост предназначен для пропуска портового крана и незначительного, преимущественно пешеходного, движения. Ширина бассейна, перекрываемого мостом, небольшая—около 35 м, пролет разводной части также невелик—15,4 м. Все эти обстоятельства, обуславливая небольшой вес разводной части (всего около 20 т), в связи с желанием избежать толстых быков, дорого стоящих и отнимающих много места от и без того узкого бассейна, привели к перечисленным особенностям конструкции разводной части. Смещение центра тяжести внутрь пролета и устройства стыка полотна впереди оси вращения позволяют обойтись без хвостового замка. Небольшое увеличение работы на открывание и закрывание места вследствие смещения центра тяжести не существенно в данном случае, т. к. разводная часть приводится в движение вручную: 1—2 человека производят одну операцию (откры-



Фиг. 229.



Фиг. 230.



Фиг. 231.

вание или закрывание) в течение одной минуты. Продолжение тротуаров за ось вращения обеспечивает устойчивость хвостовой части ферм и упрощает прикрепление противовеса. Наконец, совмещение оси вращения с пятовым шарниром и отсутствие колодца сокращает до минимума размер быков.

На фиг. 227, 228 показаны механизмы вращения. Рукояткой, вставляемой в специальное отверстие в полотне неподвижной части, приводят в движение червячную передачу d , зубчатое колесо a и шестерни (все расположено на неподвижном пролетном строении). Шестерни зацепляют за зубчатые дуги, прикрепленные к фермам разводного пролета. Полный угол открытия— 54° .

Фиг. 229 и 230 дают детали устройства пятового шарнира (оси вращения) и замкового шарнира. На фиг. 231 показано прикрепление пятового шарнира к неподвижным фермам.

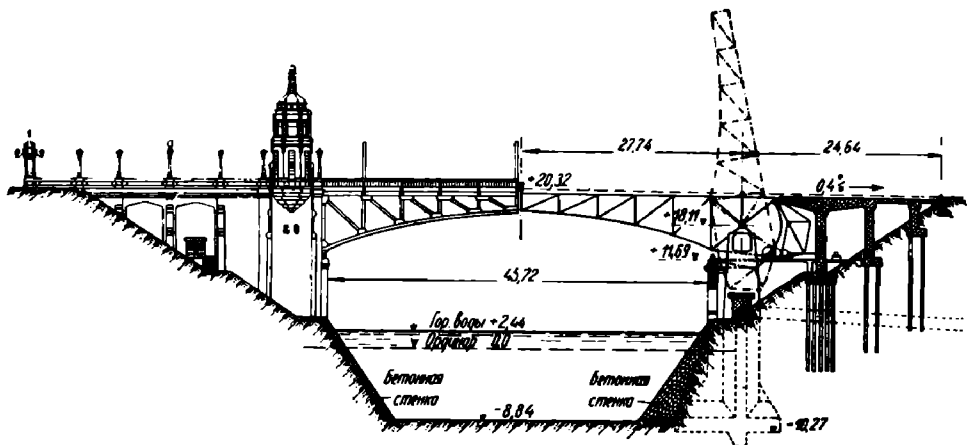
Прикрепление выполнено при участии горизонтальной балки T , передающей распор арок на балочные фермы.

Во время высокой воды противовес попадает частично в воду, что, конечно, представляет известный недостаток.

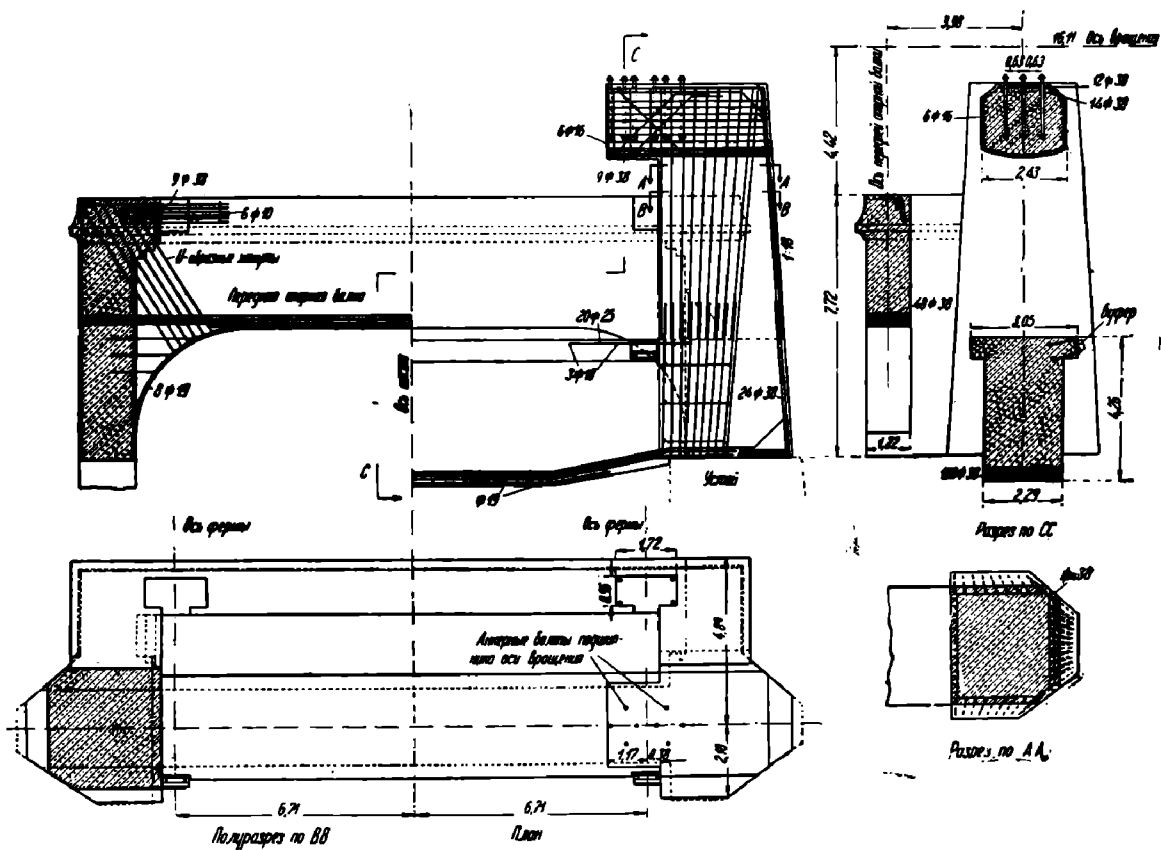
Стоимость моста 280 000 марок, из коих механизмы—55 000 марок (при стоимости тонны железа в деле 2500 марок).

41. Мост через канал Lake Washington в Seattle на Montlake Avenue. Мост—городской, состоит лишь из одного разводного пролета 45,72 м в свету с небольшими

железобетонными подходами. Ширина полотна 12,19 м между перилами. Уложены два трамвайных пути. Система разводной части—раскрывающаяся с жестким прикреплением противовеса, двукрылая. Расстояние между осями вращения 55,47 м. Общий вид и продольный разрез по оси моста показаны на фиг. 232.



Фиг. 232.



Фиг. 233.

Несколько необычен в этом мосту способ опирания оси вращения. Каждая ферма имеет самостоятельную ось вращения, опирающуюся на 2 подшипника. Последние находятся с обеих сторон фермы в непосредственной близости от нее и поставлены на железобетонные стойки, напоминающие букву Г (фиг. 233). В закрытом состоянии фермы опираются на железобетонную раму (фиг. 233, передняя опорная балка).

Стойки, поддерживающие подшипники, соединены как между собой, так и с передней рамой распоркой Т-образной формы (внизу).

Схема решетки ферм в хвостовой части такова, что верхние выступы стоек не мешают вращению ферм. Между поясами ферм оказалось возможным поставить связи.

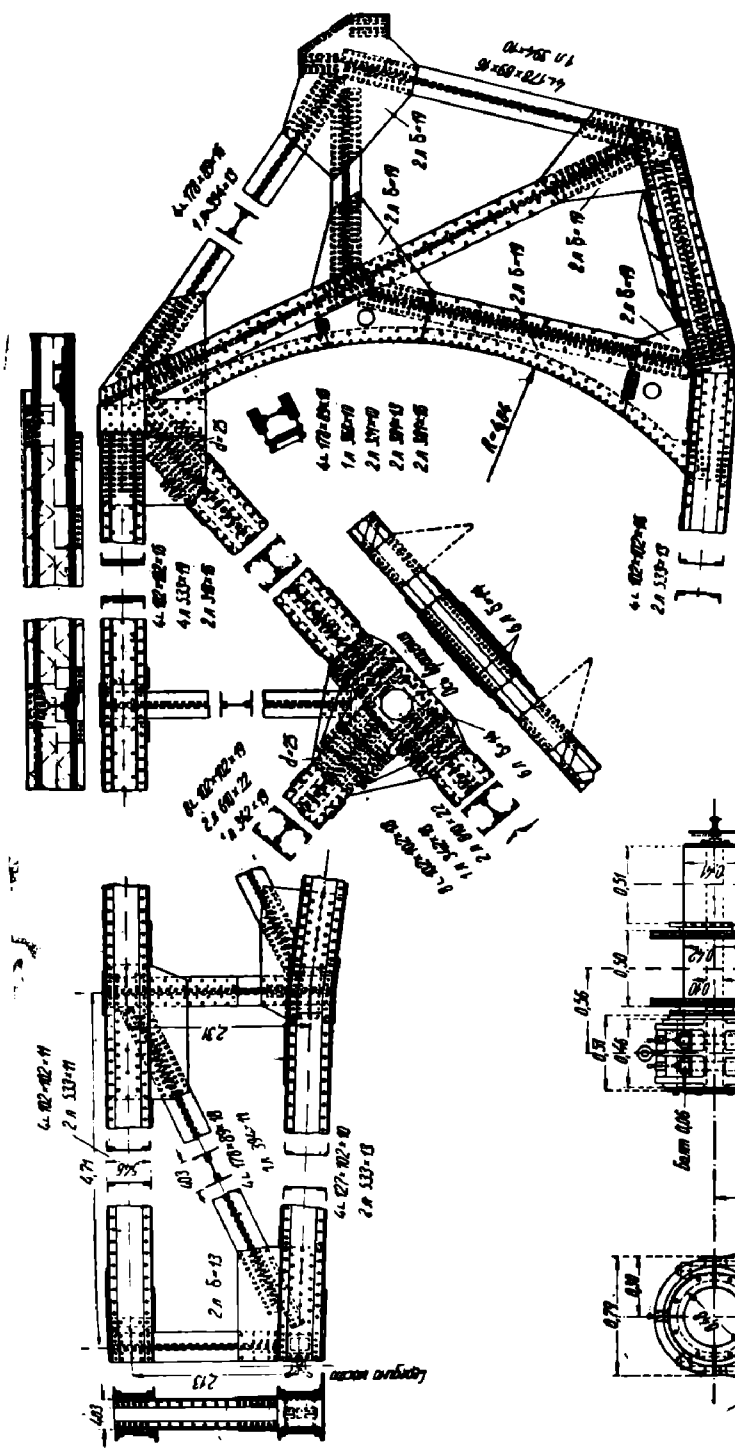
Детали конструкции ферм и прикрепления к ним оси вращения дает фиг. 234. Для передачи давления на ось сделано утолщение постановкой тройных фасонных листов. Сама ось вращения и ее подшипники показаны на фиг. 235.

Вращение разводного пролета происходит посредством двух шестерен, зацепляющихся за зубчатые дуги, прикрепленные к фермам (фиг. 232 и 234).

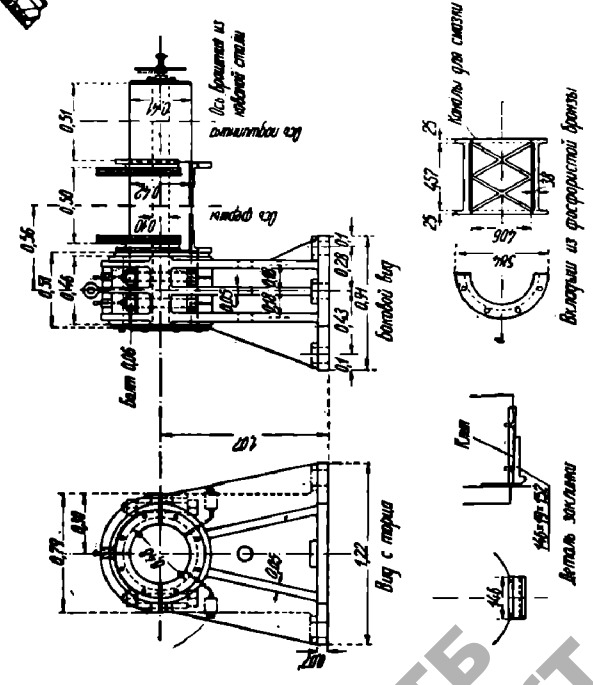
На фиг. 236 дана фотография одного крыла в поднятом состоянии. На фотографии видны: передняя рама и находящиеся на ней опорные части ферм, один из выступов, поддерживающих ось вращения, и пр.

Крылья соединены друг с другом средним замком, помещенным в плоскости нижнего пояса ферм.

42. Охтенский мост через р. Б. Неву в Ленинграде. Построен в 1911 г. Имеет двукрылую разводную часть пролетом в свету 42,7 м с жестко прикрепленными противовесами. Схема разводной части дана на фиг. 237. Основные размеры крыла указаны в таблице I (см. приложение).



Фиг. 234.



Фиг. 235.

Ширина ездого полотна 17,7 м, тротуары по 2,90 м, всего между перилами—23,50 м. Полотно поддерживается четырьмя фермами, кроме того имеются две тротуарные фермы.

Фермы соединены попарно, как указано на фиг. 238. Тротуарные фермы имеют хвост неполной длины (дать более длинную хвостовую часть этим фермам мешают фермы неподвижного пролета) и самостоятельные противовесы.

Все фермы со сплошной стенкой, двутаврового сечения. На фиг. 239 показана одна из средних ферм. Стыки вертикальных листов расположены довольно часто, вследствие значительной высоты ферм на опоре (3,31 м), а также вследствие кривизны нижнего пояса.

В хвостовой части верхний пояс ферм снижается. Колодцы перекрываются системой продольных и поперечных балок. Крайняя поперечная балка служит в то же время для восприятия отрицательной опорной реакции и имеет анкерное закрепление.

Балки, поддерживающие полотно над хвостовой частью ферм, опираются на колонны. Последние поставлены на стенки, разделяющие колодцы (фиг. 240, поперечный разрез быка).

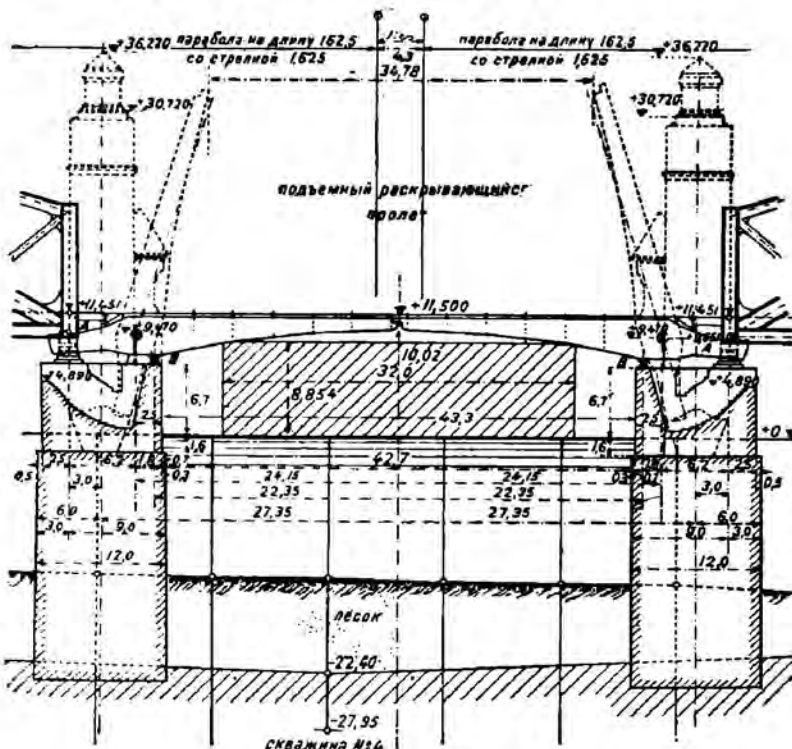
Ось вращения состоит из отдельных литых частей. Между фермами № 2 и № 3, № 2-бис и № 3-бис ось вращения заменена клепаной распоркой квадратного сечения, из сплошных листов и уголков (фиг. 210—212).

Баластный ящик (фиг. 239) образован поперечными балками и горизонтальными диафрагмами, так что получается коробка, достаточно жесткая при любом положении крыла. В диафрагмах для возможности клепки оставлены овальные отверстия.

Противовес состоит из чугунных болванок, промежутки между которыми



Фиг. 236.



Фиг. 237.

залиты свинцом. Кроме того к фермам сбоку прикреплены на болтах съемные чугунные блоки, позволяющие менять в небольших пределах вес баласта.

В закрытом состоянии разводной части ось вращения разгружается. Для этой цели на стенках колодца поставлены хвостовые замки. На фиг. 241 показан хвостовой замковый механизм, находящийся на средней стенке и подклинивающий сразу две фермы.

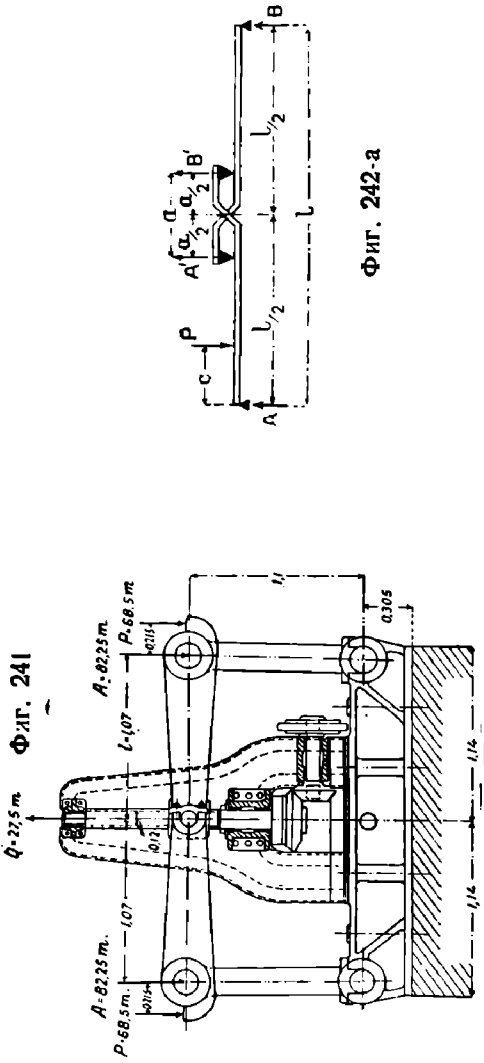
Основная часть механизма — вертикальный винт, на котором посажена гайка. Винт может быть приведен во вращение зубчатой передачей, идущей от общего

для всех хвостовых замков вала. Поступательного движения винт иметь не может. Гайка, наоборот, не может вращаться и имеет свободу движения лишь вверх или вниз. Для этого гайка

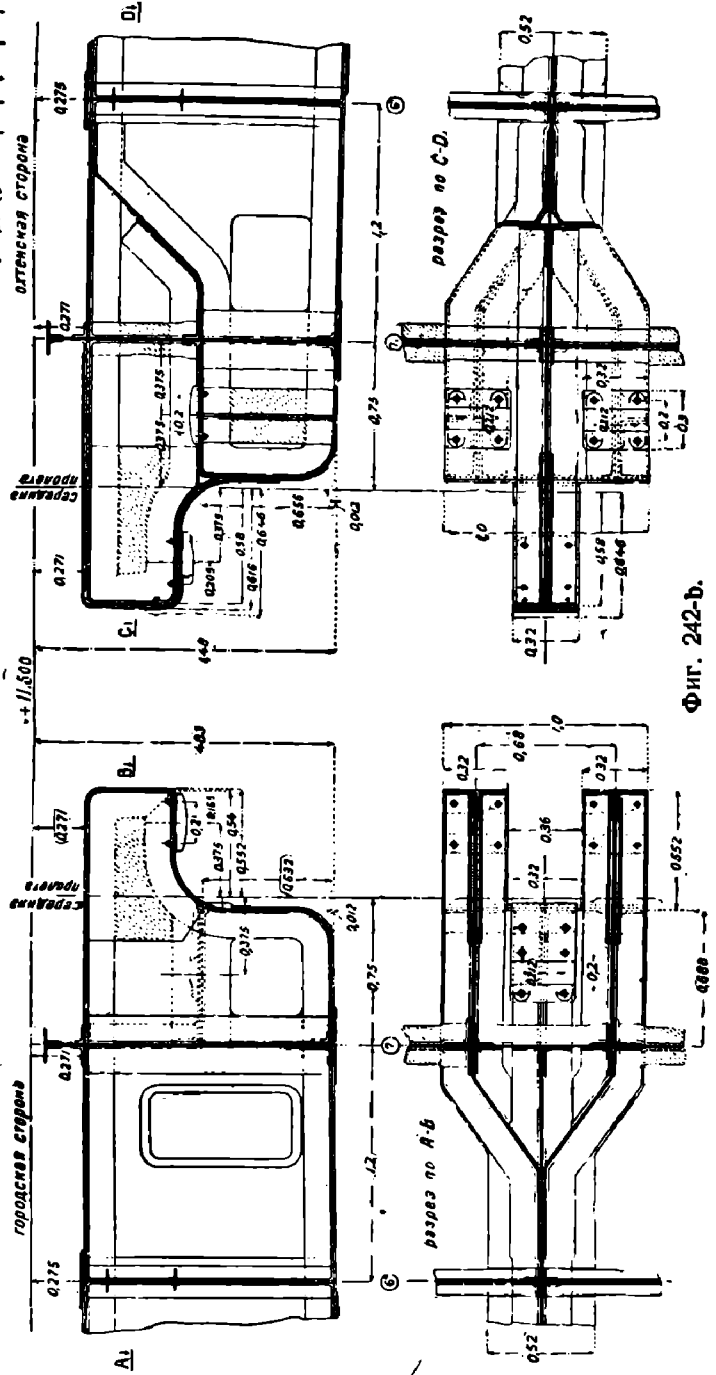
зажата между двумя направляющими плоскостями. С гайкой соединены шарнирно два коленчатых рычага: нижние шарниры рычагов укреплены на неподвижной станине; средние шарниры рычагов имеют стальные кулачки, упирающиеся при закрытом состоянии моста в особые отливки, приболченные к фермам сбоку.

Если, вращая винт, заставить гайку идти вверх, кулачки опускаются и уходят в сторону, освобождая путь для движения крыла. Обратное движение гайки осуществляет подклинку хвостовой части ферм.

Такие же механизмы, но не с двумя, а с одним коленчатым рычагом, стоят на боковых стенках.



Фиг. 242-а



Фиг. 242-б

Механизмы хвостовых замков обслуживаются небольшим мотором или ручной лебедкой.

Между собой крылья соединяются пальцевыми замками. Конструкция последних дана на фиг. 242 а, б.

Левое крыло имеет два выступающих вперед «пальца», правое — один «палец». Каждый палец опирается на небольшую выпуклую подушку, прикрепленную к противоположному крылу.

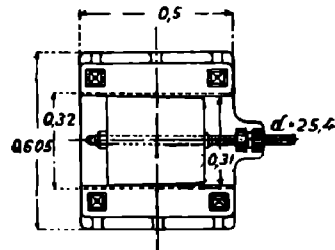
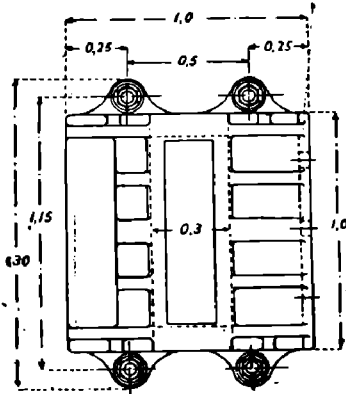
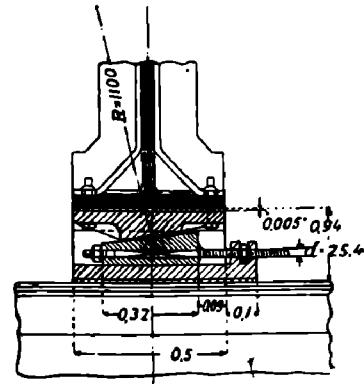
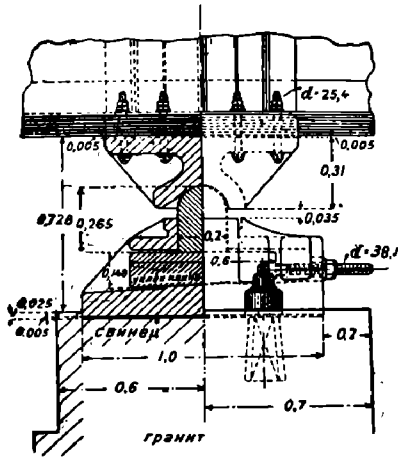
Чтобы образовать «пальцы» и опорные для них плоскости, к стенкам ферм приклепаны добавочные, отогнутые в сторону вертикальные листы, окаймленные угол-

ками. Листы расперты диафрагмами. Между «пальцами» соседних ферм даны поперечные связи в виде балок со сплошной стенкой.

В нужных местах сделаны лазы в вертикальных листах для производства клепки, осмотра и окраски.

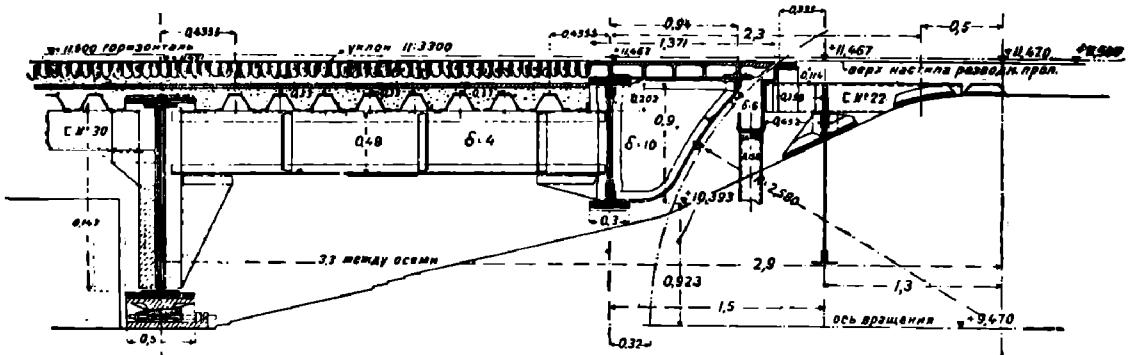
Детали опорных частей даны на фиг. 243 (положительная опора) и на фиг. 244 (отрицательная опора). Обе опоры снабжены регулирующим приспособлением в виде клина, который может быть передвинут вращением винта в неподвижной гайке.

Такое устройство имеет большое преимущество по сравнению с часто применяющимися в опорных частях двумя клиньями, перемещение которых осуществляется подбивкой, т. к. винт не позволяет регулировке расстраиваться.



Фиг. 243.

Фиг. 244.



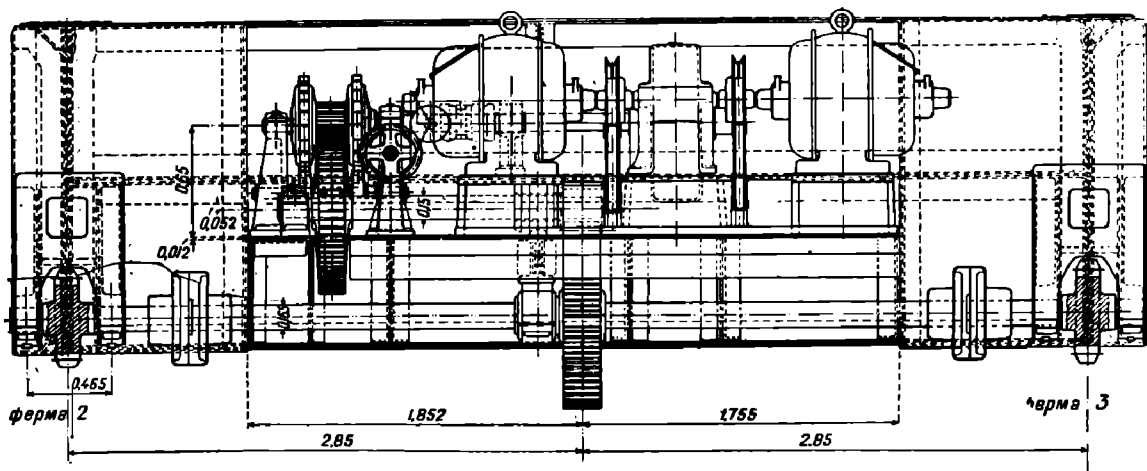
Фиг. 245.

При проектировании положительных опор по типу Охтенского моста необходимо следить за тем, чтобы очертание верхней подушки не находилось в противоречии с ее траекторией движения.

Детали сопряжения полотна подвижной и неподвижной частей даны на фиг. 245. На составленной из уголков и листа консоли уложены чугунные пустотелые плиты. Щель перекрыта планкой. Вода с разводного пролета перехватывается желобом и отводится трубкой.

Вращение каждого крыла производится 4 электромоторами по 29 л. с. Электромоторы размещены на особой площадке на хвосте ферм (фиг. 246) и через систему зубчатых колес действуют на поперечный горизонтальный вал (фиг. 247). Последний оканчивается шестернями, зацепляющимися за цевочные дуги, прикрепленные частью к кладке быка, частью к металлическим стойкам (фиг. 246).

Для вращения вручную пользуются лебедками. От лебедок идет передача (цепь Галля) на вал, пропущенный сквозь полую ось вращения (фиг. 248). Вал связан, как видно из фиг. 248, с хвостовыми шестернями.



Фиг. 247.

Угол поворота крыла 73° . Время поворота электромоторами—60 сек. при ветре 40 к/м^2 . Для поворота вручную каждое крыло обслуживается 8 рабочими (по 4 на лебедку), которые могут открыть или закрыть мост при ветре до 10 к/м^2 в 26 мин., без ветра—в 20 мин.

Вес каждого крыла $1\,041 \text{ т}$, из коих на баласт приходится— 547 т , что составляет $52,5\%$ от общего веса крыла.

§ 19. ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИИ РАСКРЫВАЮЩИХСЯ МОСТОВ С ЖЕСТКО ПРИКРЕПЛЕННЫМ ПРОТИВОВЕСОМ С ЕЗДОЙ ПОНИЗУ

43. Мост через р. Schuylkill в Филадельфии. Общий вид разводной части показан на фиг. 249. Мост под обыкновенную дорогу. Разводная часть двукрылая. Расстояние между осями быков 68 м . Расчетный пролет ферм разводного пролета $64,0 \text{ м}$. Расстояние между осями вращения $72,3 \text{ м}$. Ширина полотна $11,6 \text{ м}$ на неподвижных пролетах и $11,0 \text{ м}$ на разводной части; тротуары по $2,70 \text{ м}$ каждый.

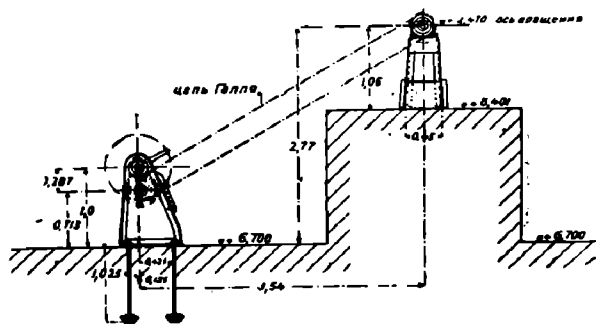
Мост запроектирован с весьма небольшой шириной быков. Колодцы для хвостовой части ферм отсутствуют.

Фермы разводного пролета в закрытом состоянии моста опираются в точке В (фиг. 250) на поперечную балку Q (фиг. 251), прикрепленную к выступающим за ось быка на $2,0 \text{ м}$ концам ферм неподвижного пролета.

При открывании моста фермы разводной части опираются на ось вращения. Подшипники последней укреплены с одной стороны на фермах неподвижных пролетов T, с другой—на поперечных балках Q. Ось вращения сдвинута по отношению к оси быка на $1,15 \text{ м}$ в сторону хвоста.

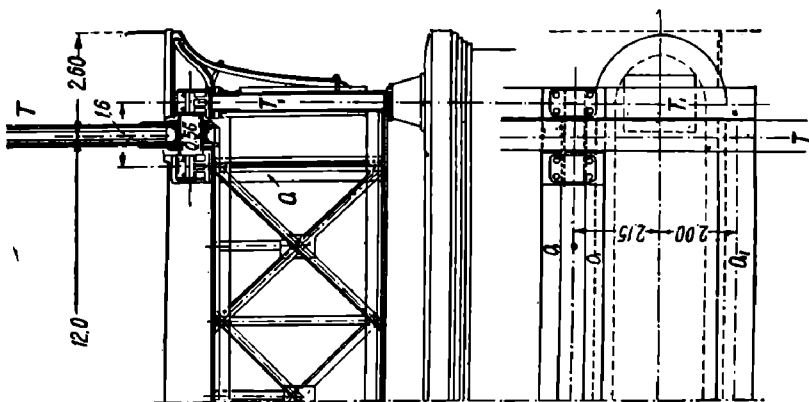
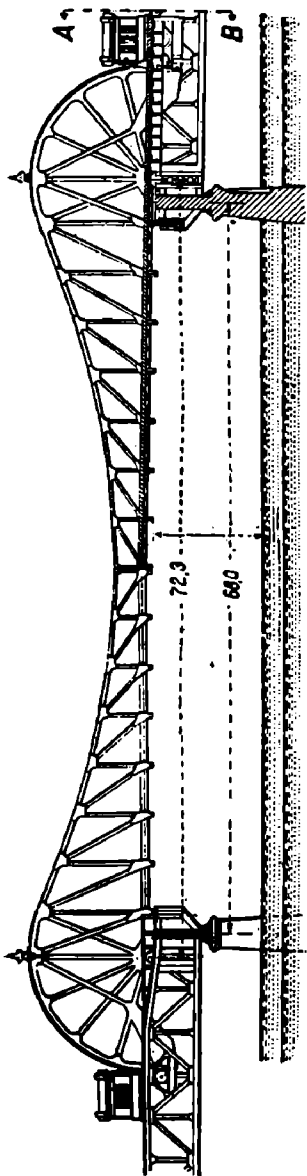
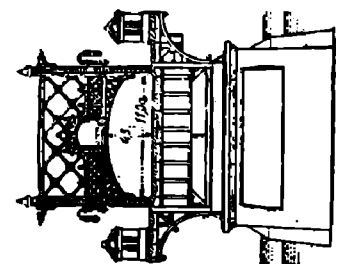
Расстояние между осями ферм разводного пролета— $12,0 \text{ м}$ между осями неподвижных ферм— $13,5 \text{ м}$.

Ось вращения состоит из коротких отливок сплошного сечения диаметром $0,56 \text{ м}$.



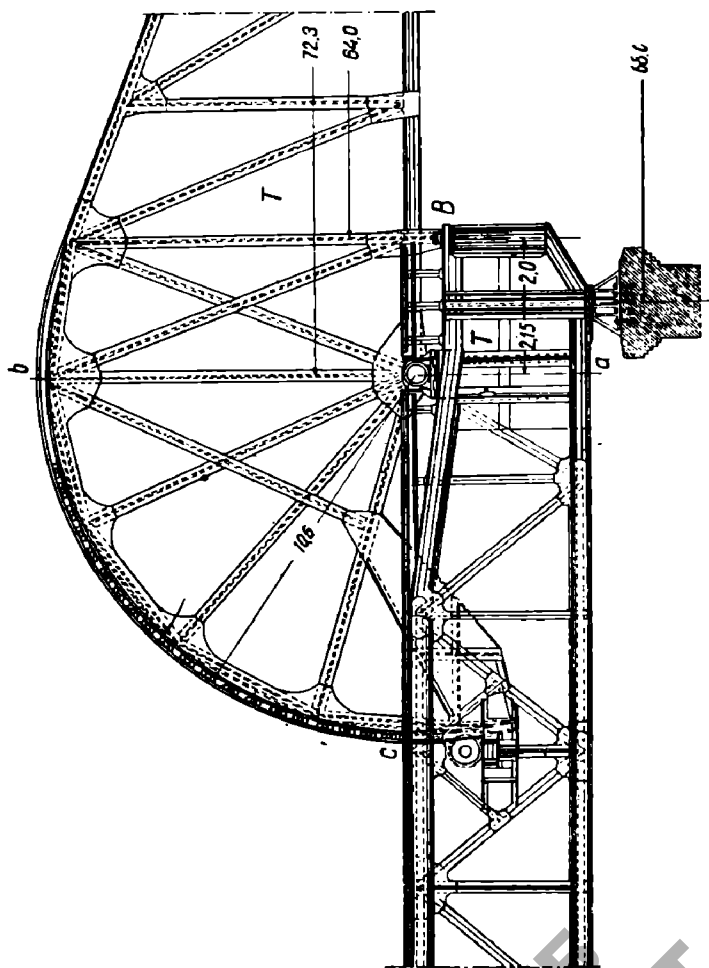
Фиг. 248.

Верхний пояс ферм в хвостовой части очерчен по дуге круга, радиусом 10,6 м. К верхнему поясу прикреплена цевочная дуга, за которую зацепляет шестерня, расположенная вместе с двигателем и лебедкой на специальной площадке на неподвижном пролете.



Фиг. 251.

Фиг. 249.



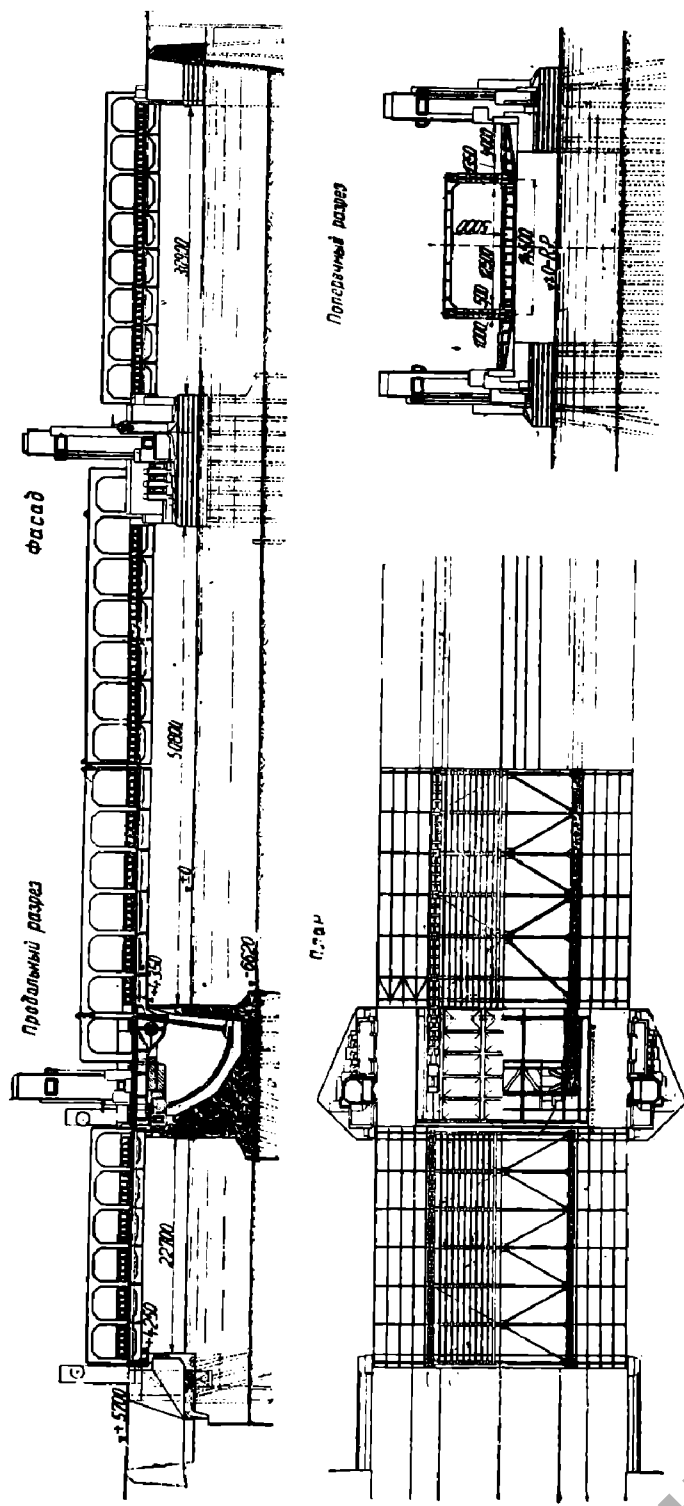
Фиг. 250.

Стык полотна подвижной и неподвижной частей находится впереди оси вращения около опоры *B*.

Вес каждого крыла, включая балласт—650 т.

Слабое место описанной конструкции—отсутствие связей между фермами неподвижных пролетов—на протяжении четырех панелей (от *C* до *B*) и между фермами разводной части—на всем протяжении хвоста (от *b* до *C*).

44. Конкурсный проект моста в Роттердаме. Оригинальный проект раскрывающегося моста с жестким креплением противовеса и неподвижной осью вращения с ездой понизу составлен для конкурса 1925 г. на постройку моста в Роттердаме (фиг. 252). Мост двукрылый. Фермы по эстетическим соображениям безраскосные. Высота их между осями поясов 6,0 м.



Фиг. 252.

В закрытом состоянии моста опорами ферм являются оси вращения. Между собой оба крыла соединяются шарниром, помещенным в верхнем поясе. Таким образом для временной нагрузки фермы представляют собой трехшарнирные арочные фермы пролетом 55,8 м; для постоянной—консольные балки. (Детали см. *Vauningenieur*, 1928 г., № 3).

РАСКРЫВАЮЩИЕСЯ МОСТЫ С ШАРНИРНО-ПРИКРЕПЛЕННЫМ ПРОТИВОВЕСОМ (СИСТЕМЫ ШТРАУСА).

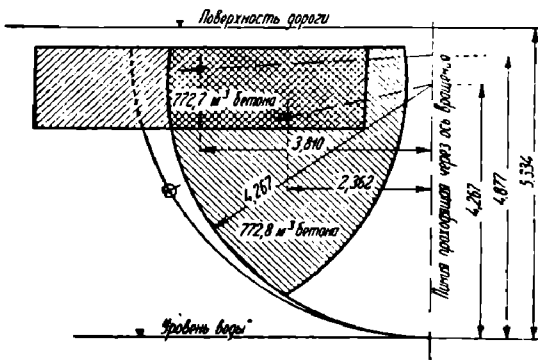
§ 20. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

45. Противовес, будучи прикреплен к хвостовой части раскрывающегося мост в отношении уравнивания всей системы, эквивалентен силе, приложенной в центре тяжести. Если же заставить действовать противовес в определенной точке подвесив его шарнирно, то плечо действия противовеса может быть увеличено и тем самым соответственно могут быть уменьшены вес баласта, при неизменной длине хвостовой части ферм, или длина хвостовой части, при неизменном противовесе. Уменьшение длины хвостовой части ферм ведет к уменьшению ширины быка, что в некоторых случаях чрезвычайно ценно.

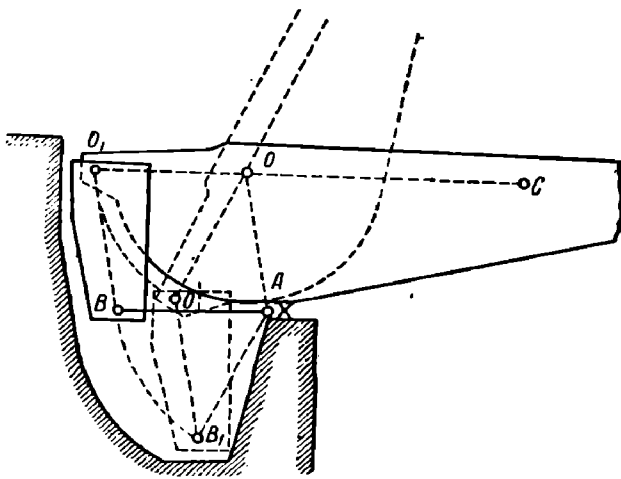
Раскрывающиеся мосты с шарнирным креплением противовеса известны под названием мостов системы Штрауса, имени впервые взявшей на них патент фирмы.

Фиг. 253 дает наглядное представление о сравнительном объеме бетонных противовесов при различных способах крепления—шарнирном и жестком, для одного частного случая. Экономия в объеме противовеса около 40%.

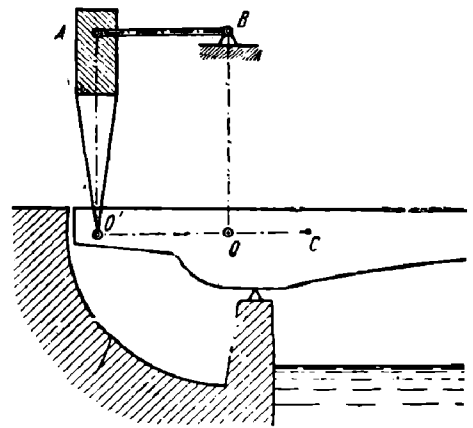
Шарнирно подвешенный к хвосту фермы противовес удерживается в устойчивом положении тягой AB , прикрепленной, тоже шарнирно, одним концом к противовесу другим—к неподвижной точке B (фиг. 254).



Фиг. 253.



Фиг. 254.



Фиг. 255.

Не трудно доказать¹, что для уравнивания движущихся масс необходимо соблюдение следующих условий:

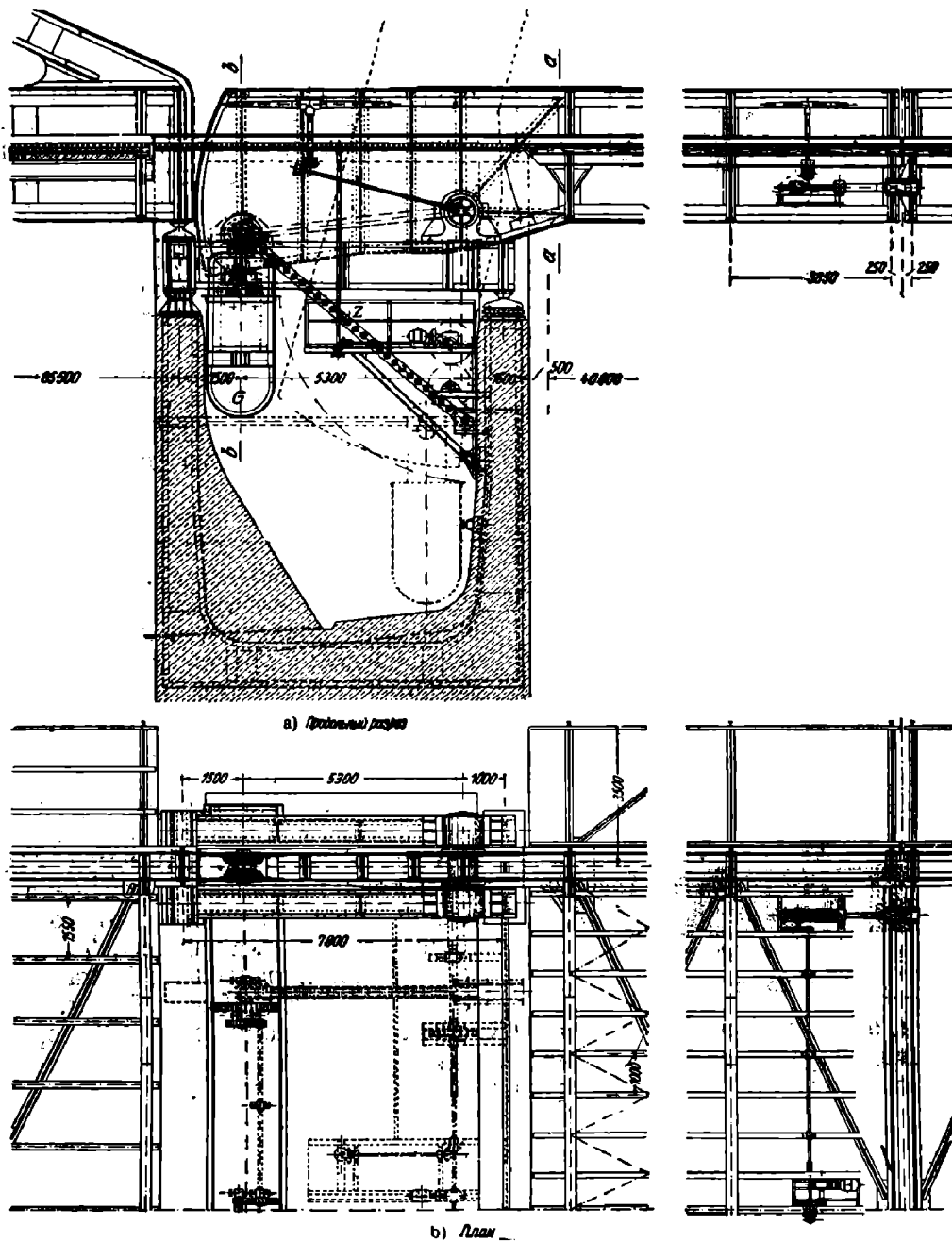
- 1) фигура OO_1BA должна быть параллелограммом;
- 2) ось вращения крыла, точка привеса противовеса и центр тяжести крыла (с учетом хвостовой части) должны лежать на одной прямой;
- 3) моменты: веса противовеса, считая его приложенным в шарнире O_1 , и пролетного строения относительно оси вращения крыла должны быть равны.

Кроме схемы по фиг. 254, возможна одинаковая с ней в кинематическом отношении схема по фиг. 255, с расположением противовеса над полотном моста. Здесь имеет такой же параллелограмм OO_1AB . Конструктивное выполнение этой схемы рассмотрено в дальнейшем на примерах.

¹ См. § 24 стр. 150.

Следует заметить, что наличие параллелограмма OO_1AB не является непременным условием шарнирного прикрепления противовеса.

На конкурсе моста между Seeland и Amager в Копенгагене был представлен проект (девиз *Beslutsofhed*) разводного пролета, в котором параллелограммная схема заменена треугольной.



Фиг. 256 а и б.

Фиг. 256 а, б, с и d, дают представление об этом проекте. Пролетное строение имеет две фермы с ездой понизу, со сплошной стенкой. Ось вращения опирается на балки, расположенные рядом с каждой фермой, по обе ее стороны. Стык полотна сделан впереди оси вращения.

Противовес подвешен к фермам шарнирно. На противовесе, сверху, находятся электромотор и лебедка. Шестерня последней, захватывая за цевочную рейку, укрепленную другим концом шарнирно к стенке быка, заставляет крыло поворачиваться. Та же рейка препятствует противовесу раскачиваться при движении всей системы. Шестерня соединена с прижимным устройством из двух связанных с ней роликов. Центр тяжести системы совмещен с осью вращения.

Стык полотна подвижной и неподвижной частей в раскрывающихся мостах с шарнирным креплением противовеса может быть устроен как впереди оси вращения, так и позади нее. По отношению к устройству стыка мостов системы Штрауса справедливо все то, что было сказано в § 16.

В некоторых мостах допущена езда по всей хвостовой части ферм, что упрощает их очертание и конструкцию. Однако, хвостовые замки при этом должны работать на большую опорную реакцию.

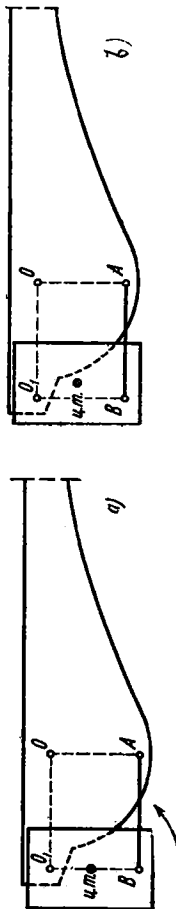
Весьма характерно сравнение разводной части Республиканского моста с проектом разводного пролета моста через р. Неву у Кузьминки. Обе разводных части весьма сходны как по системе, величине пролета, так и по многим деталям и принадлежат одному и тому же автору (инж. Пшеницкий). Но в Республиканском мосту вся хвостовая часть может быть загружена временной нагрузкой, а в мосту у Кузьминки, предназначенном для пропуска тяжелой ж.-д. нагрузки, хвост освобожден от ее действия почти полностью.

Противовес при шарнирном его креплении делается общим для двух соседних ферм.

Ось вращения в мостах системы Штрауса поддерживается отдельными стойками с обеих сторон каждой фермы (см. примеры конструкции § 22). Постановка нижних связей в хвостовой части ферм становится при этом невозможной.

Для поворота разводной части в системе Штрауса применяется преимущественно механизм из шестерни и зубчатой дуги. Шестерня вместе с лебедкой и двигателем помещаются на неподвижной части моста, а зубчатая дуга прикрепляется к нижнему поясу ферм, соответственно очерченному.

Фиг. 261 а и б.



Фиг. 260.

Не исключена возможность применения в системах с шарнирно-подвешенным противовесом и иных схем механизмов вращения. Так, например, в приведенном выше проекте разводной части для моста между Sceland и Amager (фиг. 256) механизм вращения состоит из шестерни и зубчатой рейки. Двигатель находится на противовесе.

Некоторые детали конструкций мостов системы Штрауса даны ниже, при описании существующих мостов.

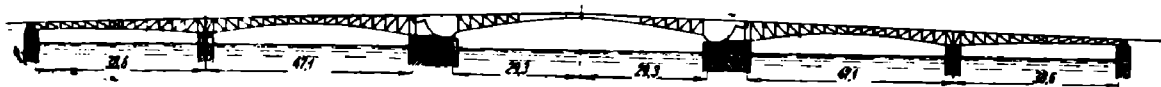
§ 21. ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИИ РАСКРЫВАЮЩИХСЯ МОСТОВ С ШАРНИРНО-ПРИКРЕПЛЕННЫМ ПРОТИВОВЕСОМ, РАСПОЛОЖЕННЫМ ПОД ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТЬЮ

47. Республиканский мост через р. Неву в Ленинграде. Общий вид Республиканского (бывш. Дворцового) моста дан на фиг. 262.

Средний пролет 57 м между гранями быков, разводной—раскрывающейся системы, двукрылый.

В закрытом состоянии фермы разводного пролета представляют собой шарнирные арки. Схема ферм показана на фиг. 259. Основные размеры указаны в таблице II (см. приложение).

Проезжая часть в пределах крыла состоит из системы продольных и поперечных балок, деревянных поперечин и двойного дощатого настила. В хвостовой части применены заполненные бетоном лотки.



Фиг. 262.

Стык подвижной и неподвижной частей полотна находится на конце хвоста.

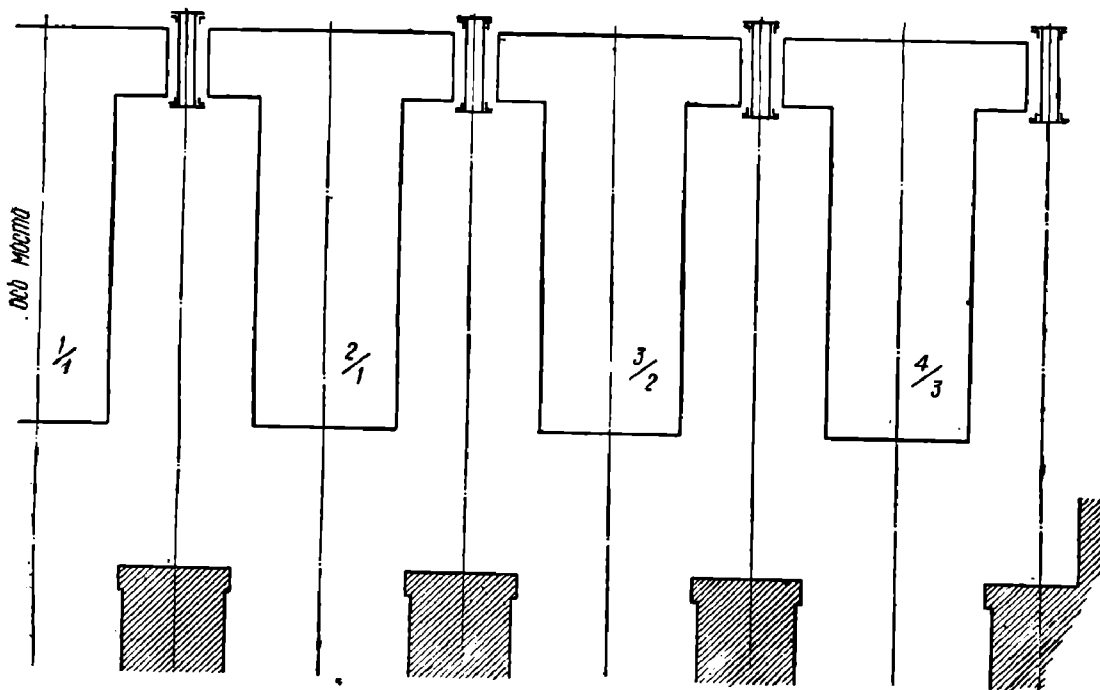
Число ферм 8 (фиг. 263). Расстояние между осями ферм 3,60 м. К фермам шарнирно подвешены противовесы (фиг. 264 и 265).

Каждый противовес прикреплен к двум фермам и имеет в поперечном сечении Т-образную форму.

Противовесы опускаются в отдельные колодцы. Между колодцами оставлены стенки, на которые опираются металлические стойки, поддерживающие оси вращения и механизмы хвостовых замков.

В нижней части к противовесам прикреплены шарнирно тяги $ТТ$. Другой конец каждой тяги $Т$ имеет овальный вырез, надетый на неподвижный шарнир.

Тяга может быть передвинута на величину овального выреза при помощи неравноплечего рычага $С$ (фиг. 264). Длинное плечо этого рычага имеет вид зубчатого сектора, за который зацепляет шестерня $И$. Вращением шестерни осуществляется подтягивание противовеса.



Фиг. 263.

В закрытом состоянии разводной части противовесы разгружены примерно на $\frac{2}{3}$ своего веса стойками S . Этого достаточно, чтобы заставить проходить равнодействующую всех сил, при самом невыгодном расположении временной нагрузки, между пятovým и замковым шарнирами арки.

Стойки S прикреплены шарнирно к противовесам и опираются на выдвижные опоры X (фиг. 265). Специальный механизм $У$ сообщает опорам X поступательное движение. Стойки S связаны попарно легкой решеткой.

Схема операций по раскрытию разводной части заключается в следующем. Приводится в действие шестерня n_1 и сектора $С$. Противовесы «подтягиваются». Вслед-

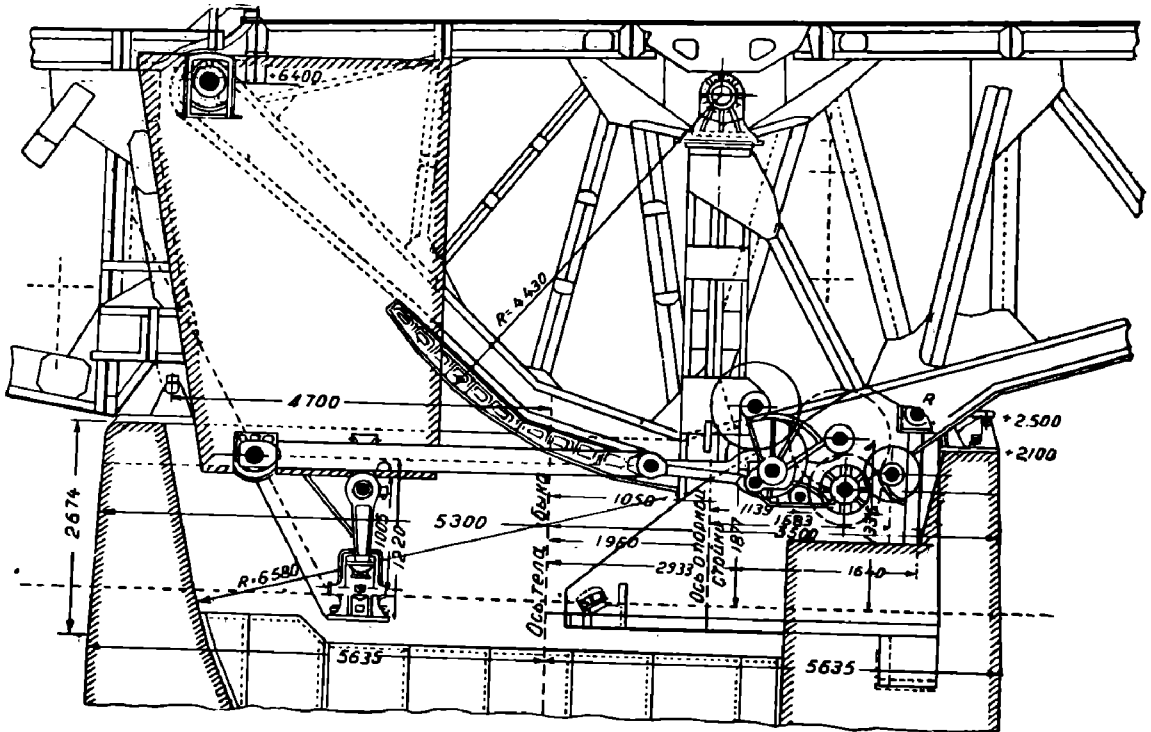
ствии этого стойки разгружаются, и опоры X могут быть легко убраны посредством механизмов У.

Путь для опускания противовесов становится свободным. Тяга отпускается обратно, противовесы начинают действовать на точки их привеса почти полностью, равнодействующая всех сил (центр тяжести системы) приводится в совпадение с осью вращения *O*. А так как к тому же фигура, образованная линиями, соединяющими ось вращения, точку привеса противовеса и оба шарнира тяги—параллелограм, то условия уравнивания будут соблюдены в любом положении крыла.

Поворот крыла совершается посредством зубчатой дуги, прикрепленной к нижнему поясу ферм, и шестерни, получающей вращение от электрической лебедки. Чтобы из-за подвешенных к противовесам стойкам не пришлось увеличивать глубину колодца, предусмотрено приспособление, устройство которого ясно из фиг. 264. В нижнем положении противовеса стойка *S* оказывается подтянутой к нему.

Закрывание моста идет в обратном порядке.

Вес каждого крыла 700 т, вес противовеса—1 060 т. Противовесы составляют 60% от общего веса движущейся части.



Фиг. 264.

Некоторые детали разводной части Республиканского моста, как-то: конструкция оси вращения, пятового и ключевого шарниров и т. д., аналогичны соответствующим деталям мостов через р. Неву у Кузьминки, описанным ниже.

На фиг. 266 показана деталь сопряжения полотна разводного и постоянного пролетов.

Полоса рифленого железа 440×8 мм поддерживается через каждые 1,5 м особой формы отливками. Последние одним концом опираются на разводной пролет, другим концом шарнирно закреплены на неподвижном пролете.

Нижняя, языкообразная часть отливки, допуская небольшие повороты соединительной планки, не позволяет ей (планке) упасть при открывании разводной части.

48. Проект разводной части моста через р. Неву у Кузьминки. Мост спроектирован для предполагавшейся к постройке ж.-д. линии. На фиг. 267, 268, 269 показана разводная часть этого моста.

Система разводной части и схема ее действия такие же, как и в описанном ранее Республиканском мосту ¹. Ниже мы помещаем некоторые детали конструкции.

Фиг. 270 дает чертеж ферм в хвостовой части. Как и в Республиканском мосту, фермы разводного пролета, в закрытом состоянии, трехшарнирные арки. В отличие

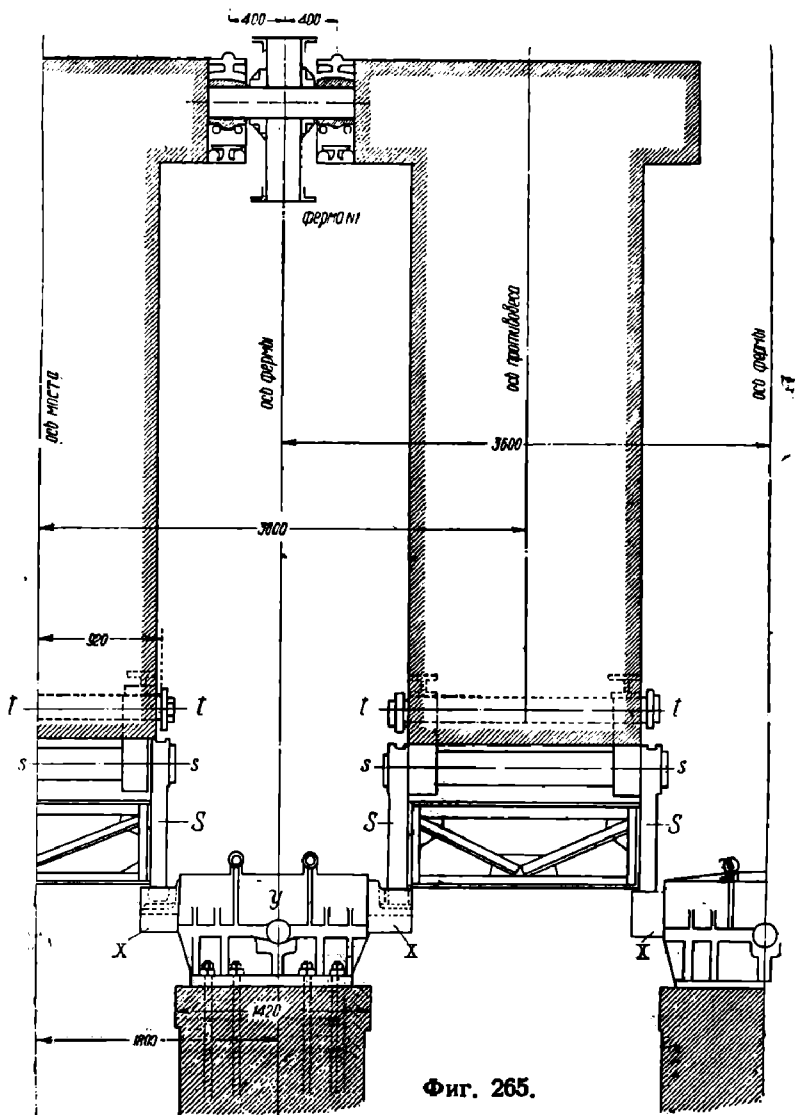
¹ Оба моста спроектированы проф. Пшеницким.

от Республиканского моста верхний пояс хвостовой части снижается. Вблизи узла № 1 сделан стык подвижной и неподвижной частей полотна, что уменьшает нагрузку на механизмы, разгружающие ось вращения (качающиеся стойки).

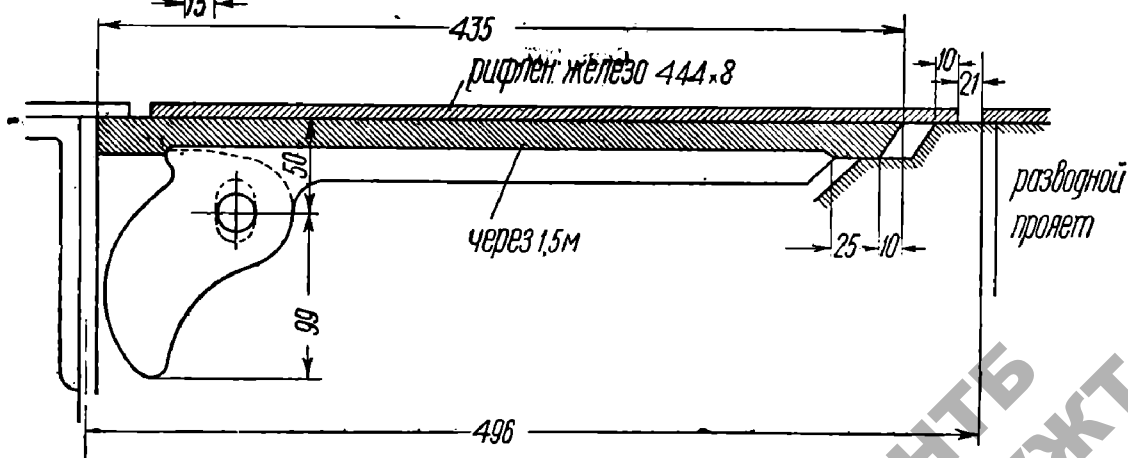
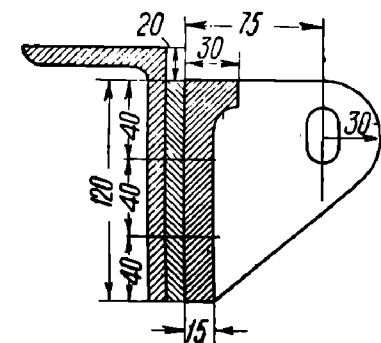
Сечения поясов — коробчатые. Следует отметить недостаточную ширину коробки—240 мм, затрудняющую клепку. В особенности трудное в этом отношении место — прикрепление оси вращения. Высота фасонки доходит здесь до 1980 мм.

Поперечные разрезы по стойке № 1 и по оси вращения даны на фиг. 271.

На фиг. 272а показаны детали устройства подшипника оси подвеса противовеса. Подшипник состоит из двух свинчивающихся отливок. Отливки прикрепляются к фермам разводного пролета. Ось неподвижно соединена с противовесом.



Фиг. 265.

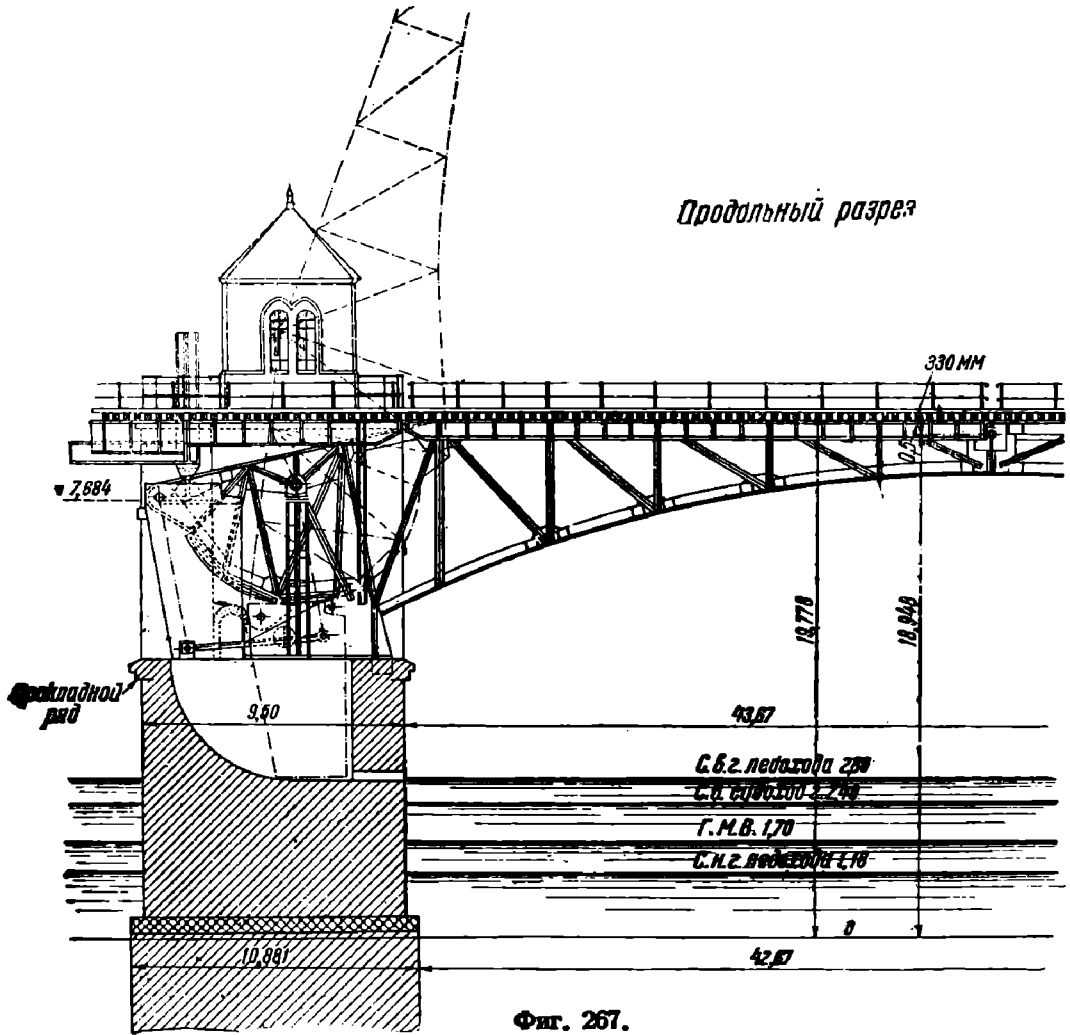


Фиг. 266.

Противовес (фиг. 272, б) представляет собой металлический ящик Т-образной формы, заполненный чугунными болванками. Промежуток между болванками заполняется бетоном. Стенки ящика усилены уголками.

Пятовой шарнир изображен на фиг. 273 а, б. Цилиндрическая часть шарнира прикреплена к ферме, а опорные подушки поддерживаются металлическими стойками, поставленными на бык.

Ключевой шарнир дан на фиг. 274. Шарнир состоит из двух отливок, прикрепленных одна к левому крылу, другая—к правому. Правая отливка имеет выступающую вперед часть, срезанную тремя наклонными плоскостями. Угол наклона плоскостей к вертикалям 30° , причем две боковых плоскости и средняя плоскость наклонены в разные стороны, так что угол между плоскостями получается равным 60° . Левая отливка имеет цилиндрический вкладыш, также срезанный по трем наклонным плоскостям.



Фиг. 267.

В закрытом состоянии моста обе отливки соприкасаются между собой по указанным выше плоскостям. Цилиндрический вкладыш может поворачиваться. Против выпадания вкладыша дан выступ, входящий в гнездо на вкладыше с зазором, достаточным для поворота вкладыша в нужных пределах.

Чтобы обеспечить правильное замыкание шарнира, устроено улавливающее приспособление в виде выступающего вперед языка (на правой отливке).

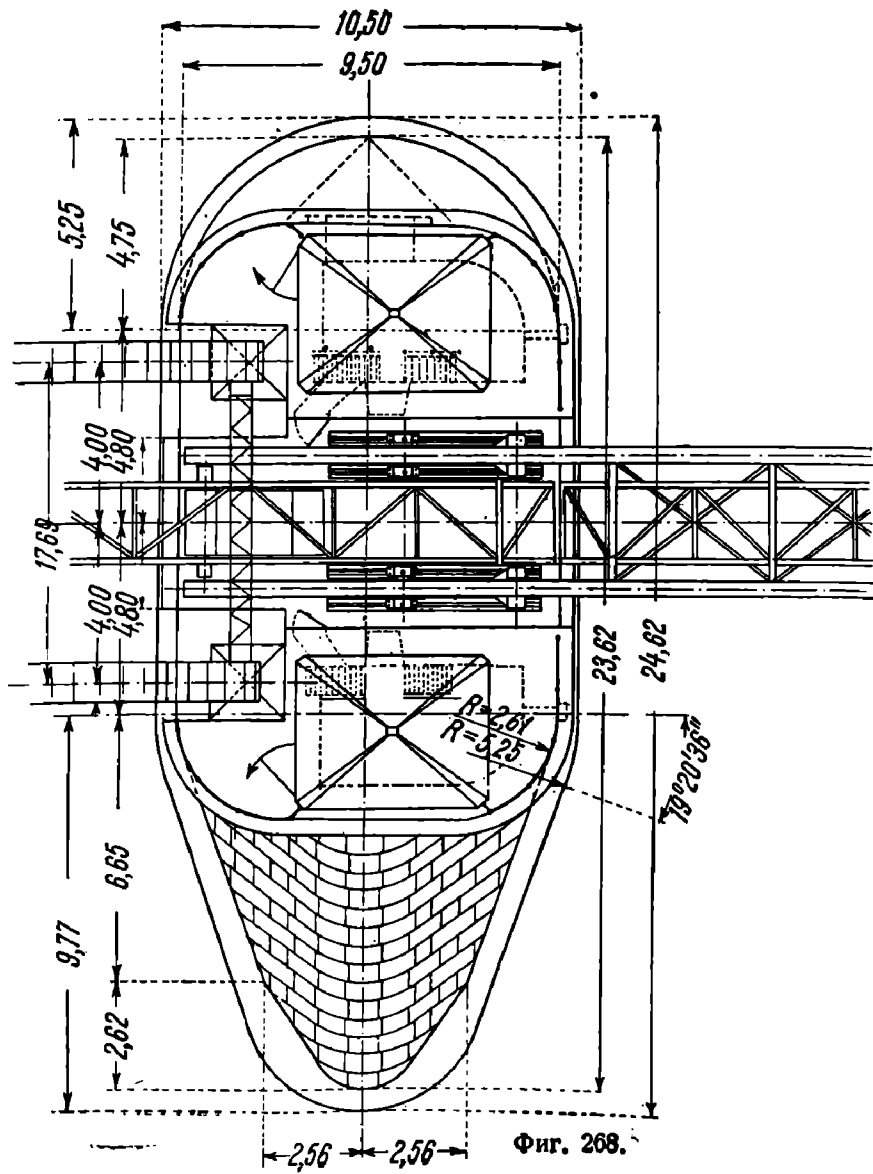
Конструкция описанного шарнира сложна. В § 34 приведены примеры более простых ключевых шарниров.

§ 22. ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИИ РАСКРЫВАЮЩИХСЯ МОСТОВ С ШАРНИРНО-ПРИКРЕПЛЕННЫМ ПРОТИВОВЕСОМ, РАСПОЛОЖЕННЫМ НАД ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТЬЮ

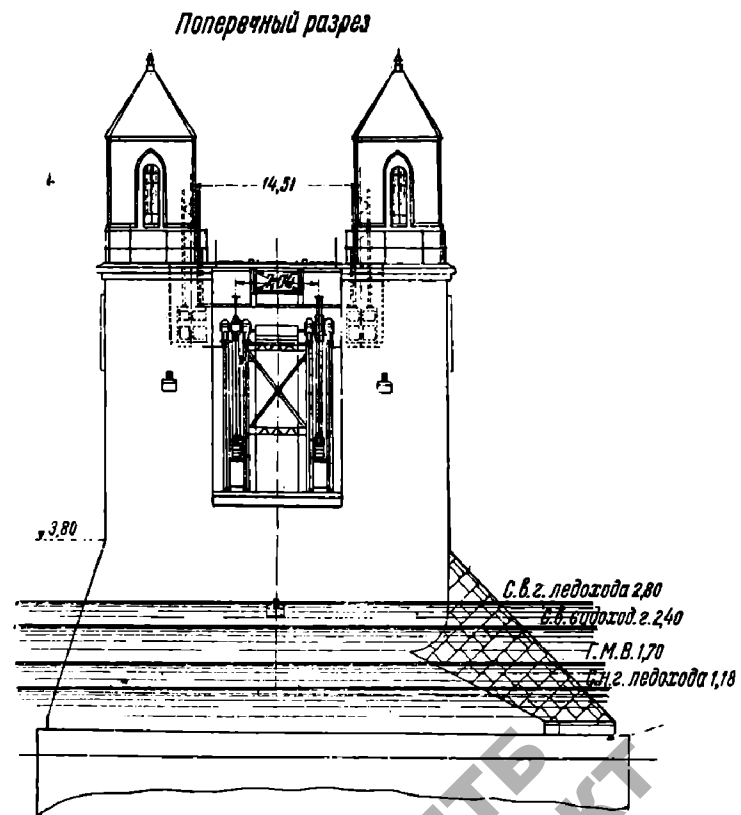
49. Мост через Swan Creek в Толедо (фиг. 275, 276, 277). Разводная часть моста через Swan Creek в Толедо имеет пролет в 19,20 м.

Мост косой. Для пропуска судов открывается просвет в 13,40 м. Мост предназначен для однопутной железной дороги.

Неподвижная часть моста состоит из пролетов, перекрытых балками со сплошной стенкой высотой 2,0 м, удаленными ось от оси на 2,3 м. В разводной части со-



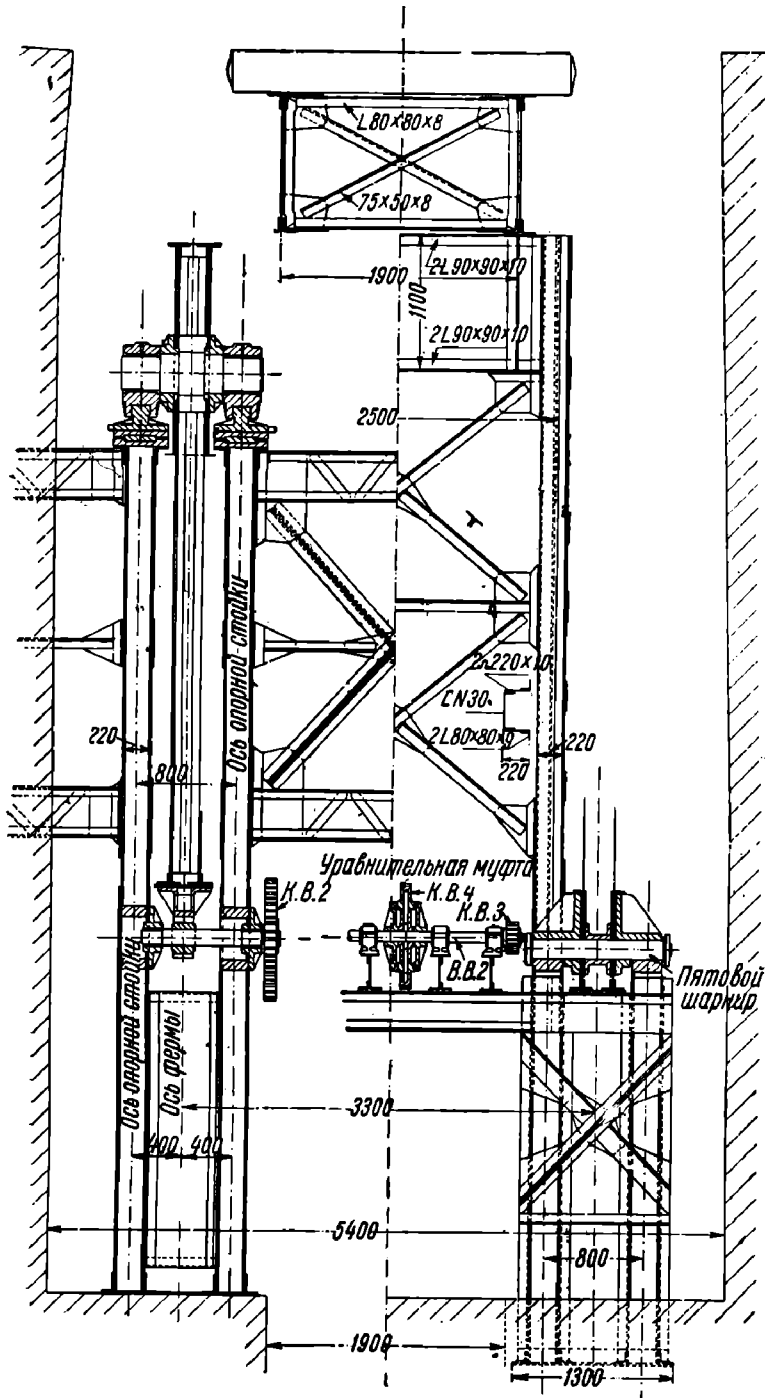
Фиг. 268.



Фиг. 269.

хранены те же балки T , но на протяжении примерно полупролета даны дополнительные фермы T_1 . Расстояние между осями последних—5,0 м.

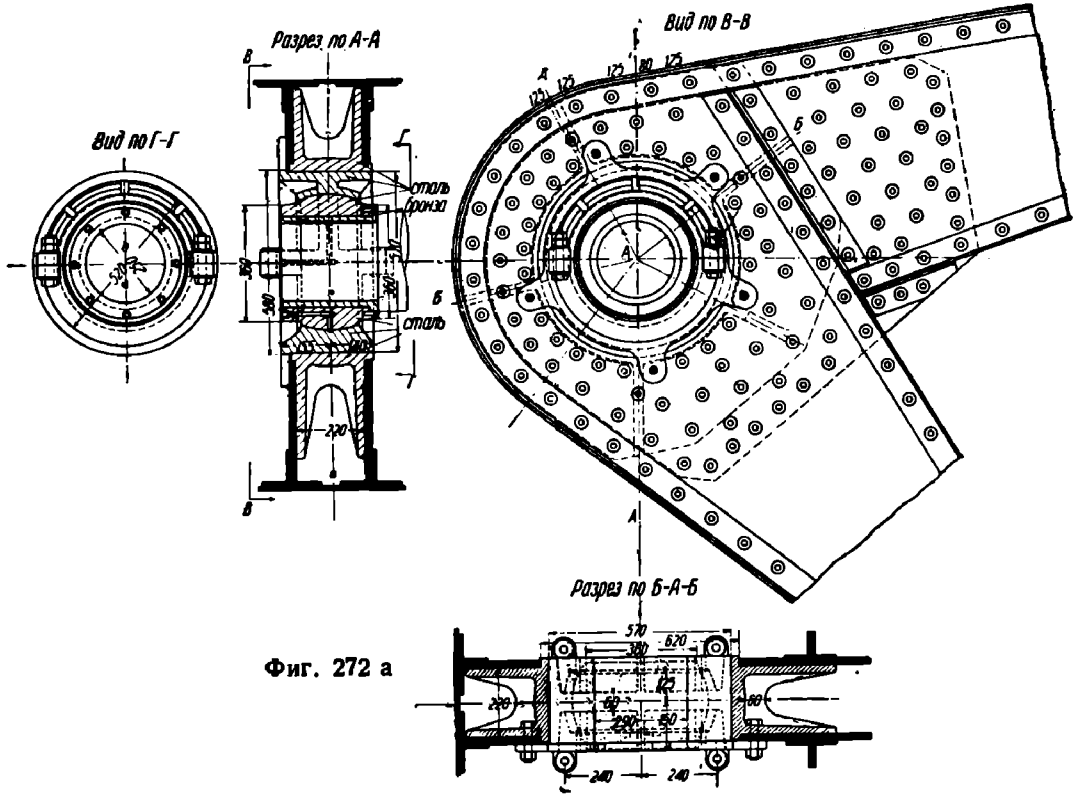
Фермы T_1 в A имеют оси вращения, поддерживаемые металлическими стойками. Железобетонный противовес поднят на высоту, достаточную по условиям габарита. Нижняя часть противовеса соединена с шарниром O ; верхняя часть—тягой CD



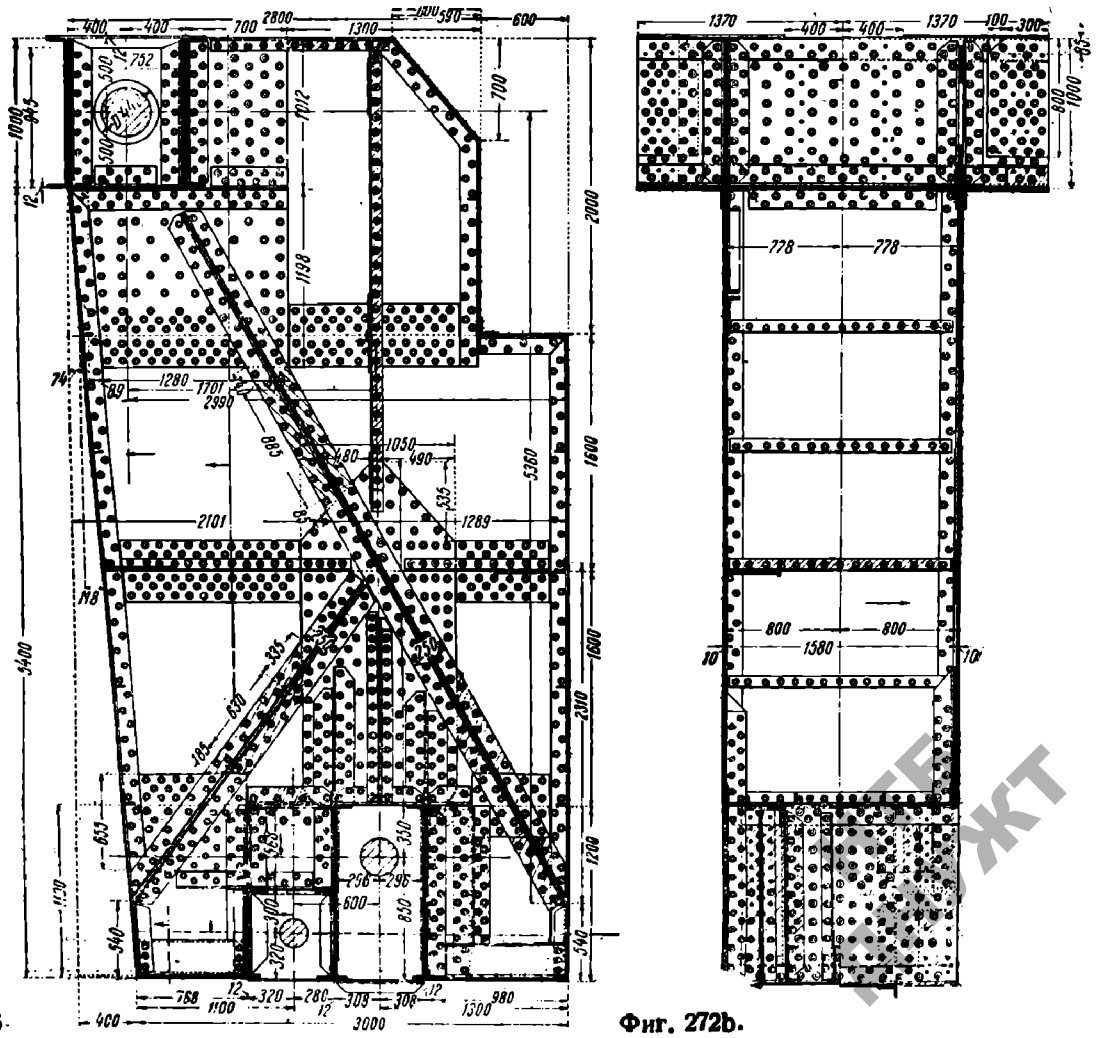
Фиг. 271.

с башнями, поставленными рядом с фермами T_1 на бык. Длина хвостовой части 3,66 м. Длина крыла 22,40 м. Таким образом хвостовая часть составляет всего 0,163 от длины крыла.

Передний конец пролетного строения снабжен подклинивающим механизмом, состоящим из коленчатого рычага (фиг. 277) и передаточных валов. Коленчатый рычаг подходит снизу под выступ на соседнем постоянном пролетном строении и заставляет разводной пролет опускаться немного вниз.



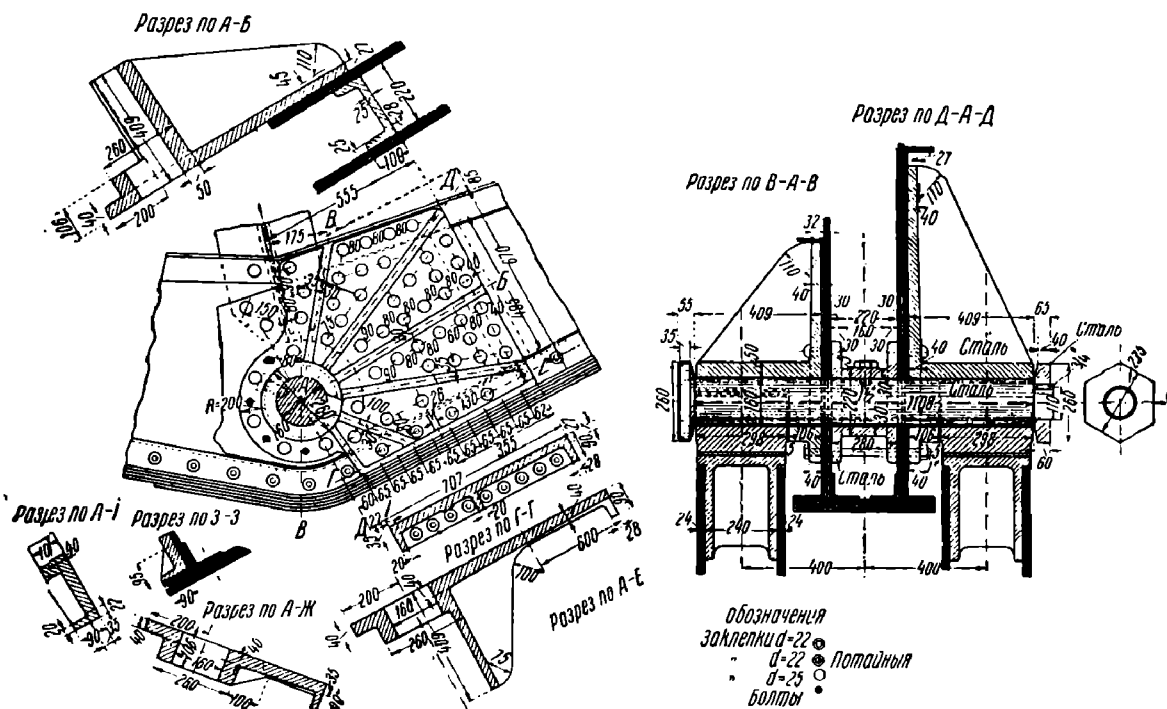
Фиг. 272 а



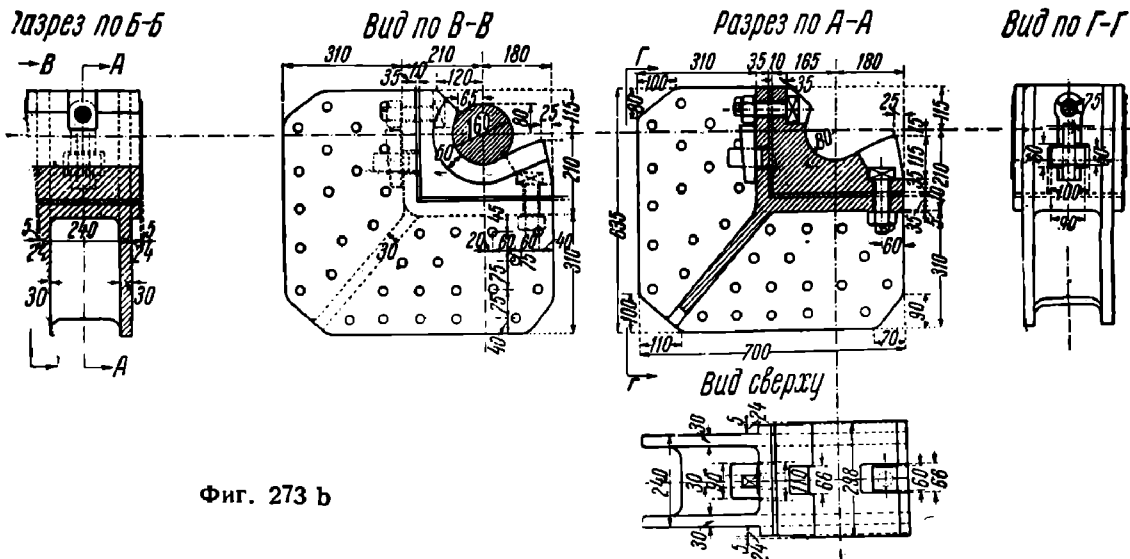
Фиг. 272б.

Поворот, крыла вокруг оси вращения совмещается при помощи зубчатой дуги, приболченной к нижнему поясу ферм, и шестерни, приводимой во вращении электромотором в 25 л. с.

Управление движением моста сосредоточено в будке на быке рядом с пролетным строением (фиг. 278).



Фиг. 273 а.



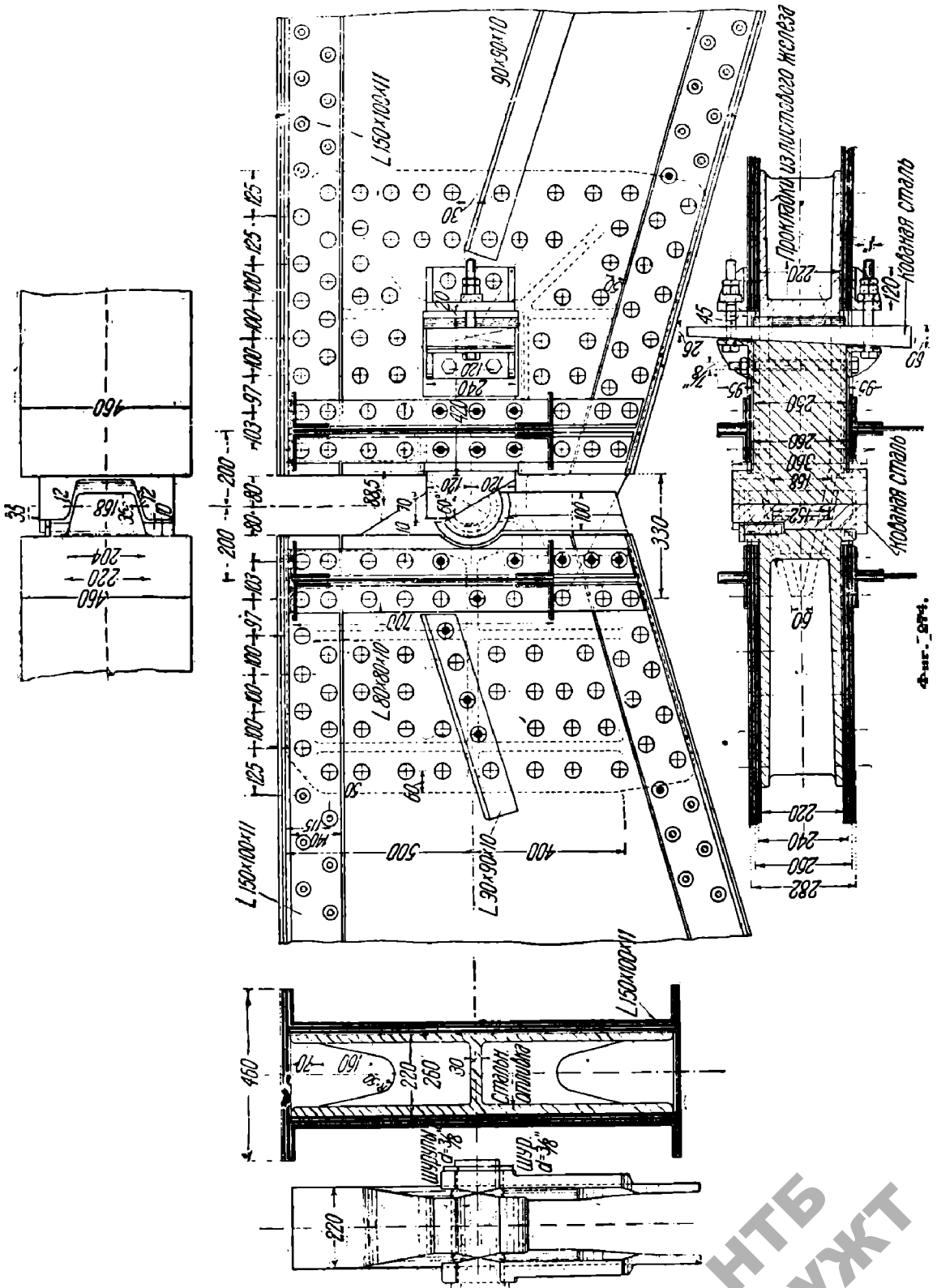
Фиг. 273 б

50 Мост через Bodine Creek в штате Island (порт Richmond, фиг. 278). Мост через Bodine Creek под 2 ж.-д. пути имеет только разводной пролет. Разводная часть — однокрылового типа с противовесом над проезжей частью.

В открытом состоянии нагрузка воспринимается 3 главными балками со сплошной стикой. Расчетной пролет балок 13,41 м, пролет в свету 12,9 м, высота главных балок 83 м.

Дв крайних балки имеют хвостовую часть длиной 2,44 м, считая от оси вращения. Дна крыла до оси вращения 15,32 м. Бетонный с металлическим каркасом про-

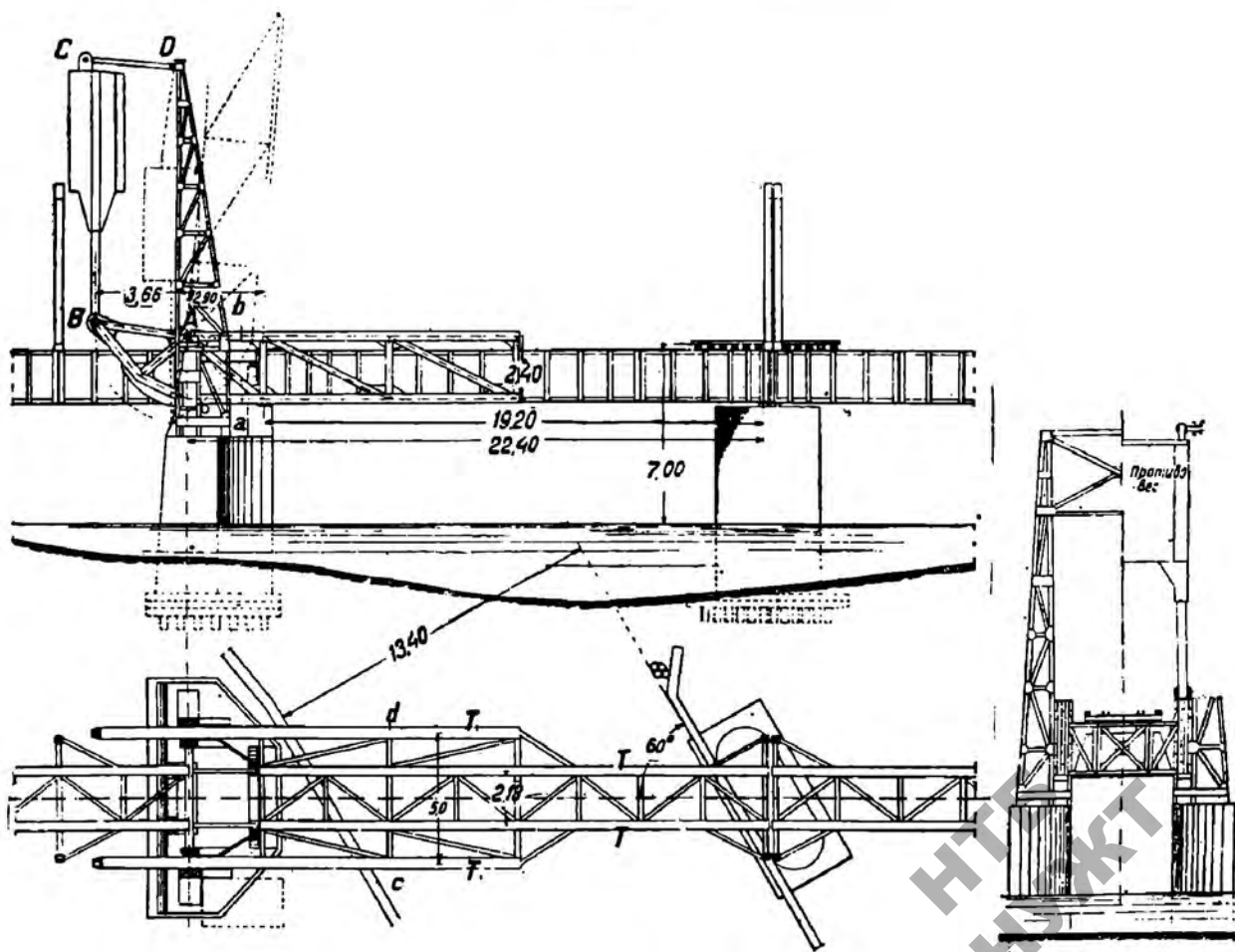
тивовес соединен двумя стержнями с шарнирами на конце хвостовой части ферм. Кроме того наверху противовес соединен шарнирными тягами с высокими стойками, опирающимися на устой. Получается параллелограмная схема.



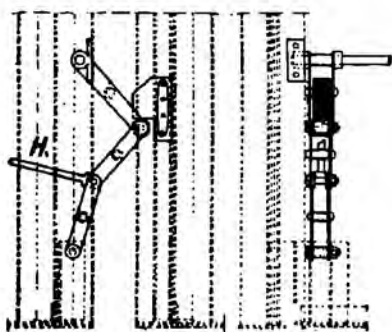
Средняя балка не имеет хвостовой части. Таким образом при открывании моста вся постоянная нагрузка передается на оси вращения только двумя крайними главными балками.



Фиг. 275.



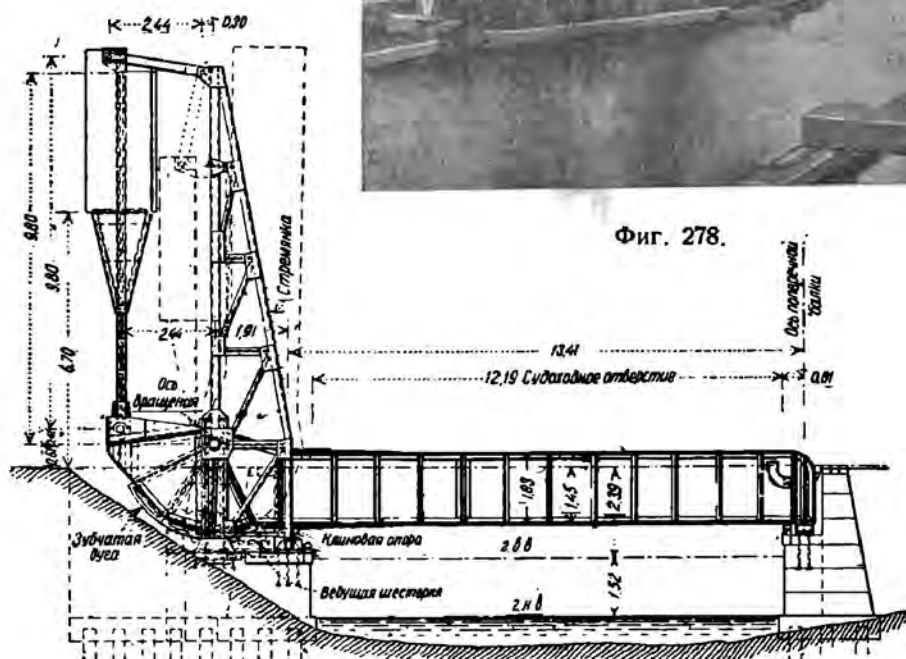
Фиг. 276.



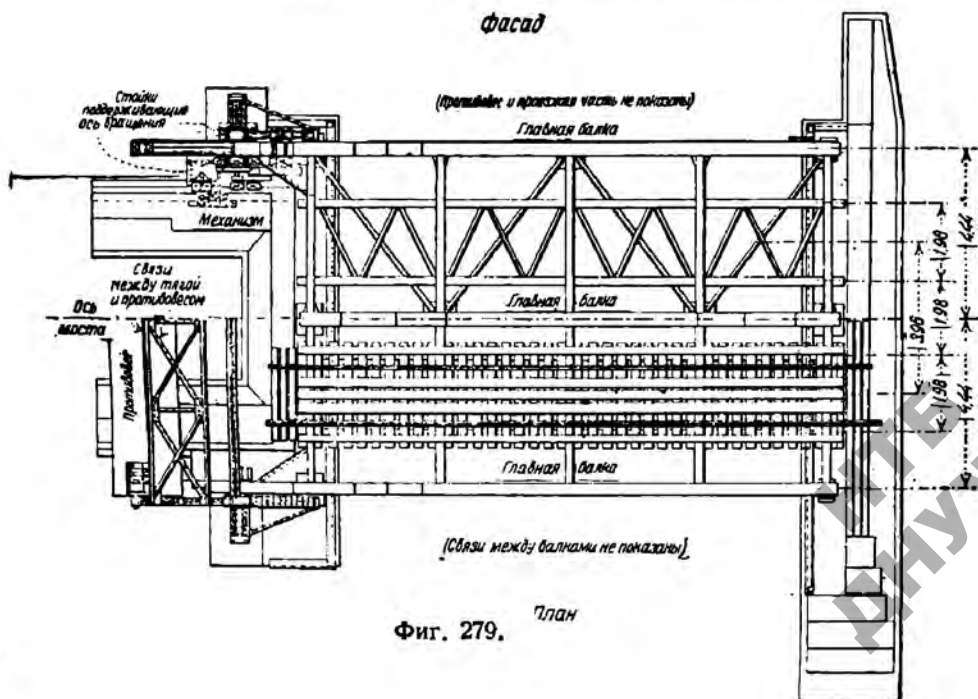
Фиг. 277.



Фиг. 278.



Фасад



Фиг. 279.

Оси вращения диаметром 24,1 см поддерживаются отдельными стойками, находящимися рядом с главными балками. Устойчивость стоек обеспечена поперечными рамами поставленными с наружной стороны (фиг. 28) слева).

К главным балкам ось вращения прикрепляется 20 болтами $d=25$ см.

Диаметр хвостового шарнира—34,3 см.

Разводная часть приводится в движение двумя электромоторами по 11 л. с. каждый. Системой зубчатых колес вращение двигателя передается шестерне, зацепляющей за зубчатую дугу, прикрепленную к нижнему поясу главных балок (фиг. 281).

Кроме того имеется электромотор в 6 л. с., предназначенный для приведения в действие клинового механизма на одном конце пролетного строения и замкового механизма на другом конце. Последний устроен подобно описанному выше механизму моста через Swan Creek.

Постоянная нагрузка передается всегда, также и в закрытом состоянии моста, на подшипники оси вращения. Временная же нагрузка на ось вращения не передается. Это достигается подклинивающим механизмом.

Время одной операции—закрывание или открывание моста— $1\frac{1}{2}$ мин.

Мост открыт для движения в 1907 г.

51. Мост Lidingö в Стокгольме. Построенный несколько лет тому назад взамен деревянного наплавного моста через залив Värtan для соединения Стокгольма с островом Lidingö имеет разводную однокрылую часть, открывающую для пропуска судов пролет в 20,0 м.

Разводная часть системы Штрауса с противовесом над полотном и с ездой по низу (фиг. 282—285).

Расчетный пролет ферм 28,06 м. Фермы решетчатые высотой 3,80 м. Ширина проезжей полотна 6,70 м, тротуары на постоянных пролетах 1,20 м, на разводной части—1,83 м (из 2 участков, один шириной 1,20 м, другой—0,63 м).

Расстояние между осями ферм пролетов смежных с разводным—6,20 м, на разводном же пролете—8,26 м. Хвостовые части ферм разводного пролета заходят в постоянный пролет, располагаясь снаружи ферм последнего.

Проезжая часть на разводном пролете состоит из поперечных и продольных балок, деревянных поперечин и двойного досчатого настила. Стык полотна находится впереди оси вращения. Участок над быком перекрыт железобетонными балками. Для движения крыльев разводного пролета оставлены узкие колодцы (фиг. 285).

Оси вращения ферм поддерживаются двумя стойками каждая. Расстояние между осями стоек—0,97 м. Стойки имеют анкерное закрепление и входят в состав двух станин, к которым прикреплены также башенки, имеющие наверху шарниры для тяг противовеса.

Противовес бетонный, заканчивается внизу металлическими стержнями, шарнирно прикрепленными к хвостовой части ферм.

В верхней части противовес удерживается двумя шарнирно прикрепленными тягами, о которых уже упоминалось.

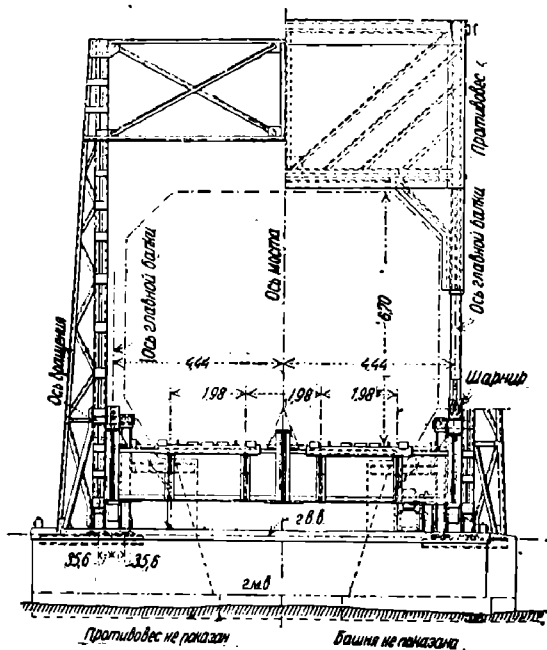
Тяги противовеса имеют в плане очертание, составленное из двух сложенных вместе треугольников (фиг. 283, 288) и соединены друг с другом поперечной связью.

На фиг. 286—288 показаны некоторые детали описываемого разводного моста.

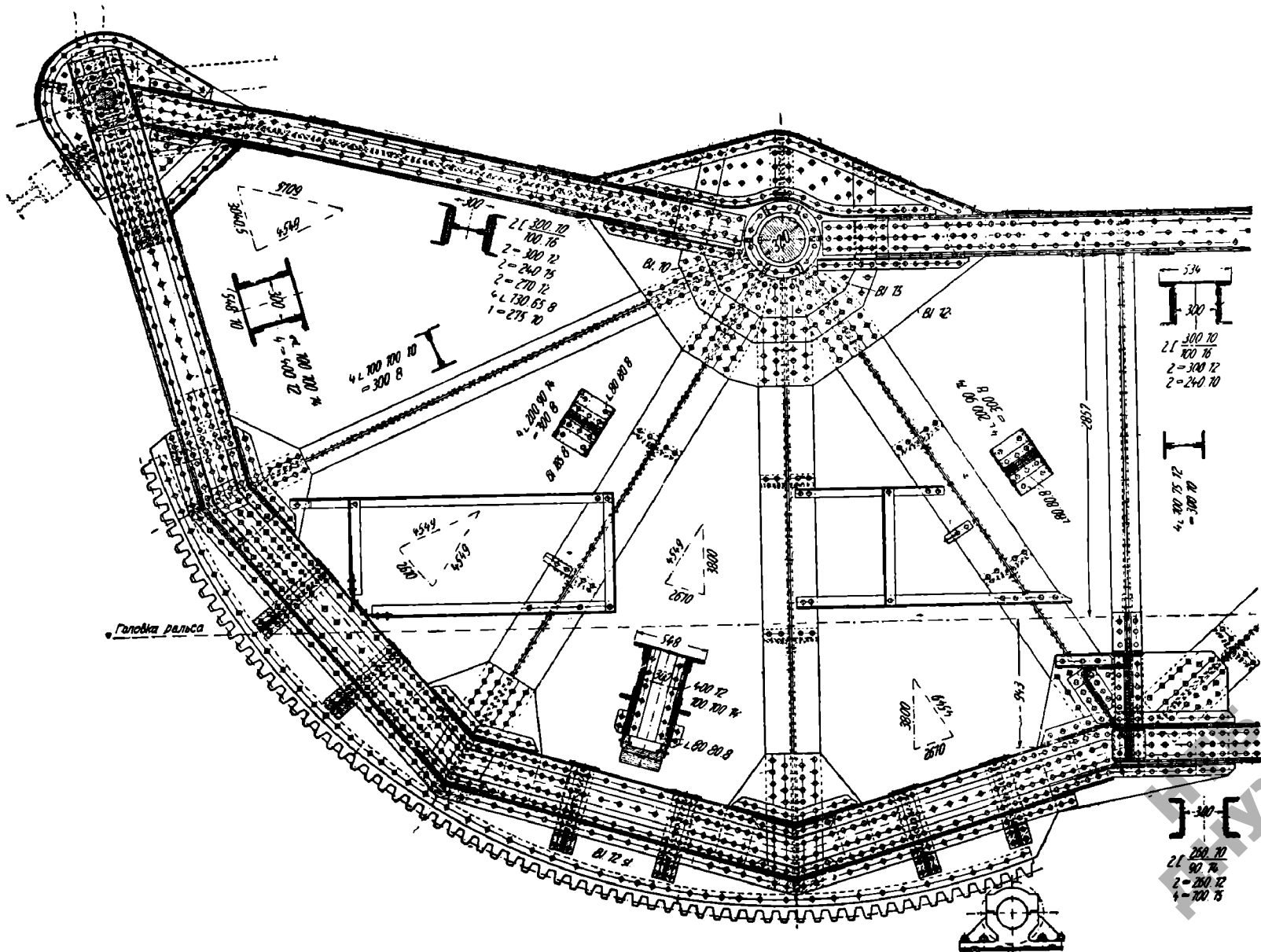
Фиг. 286 дает фасад ферм в хвостовой части. Для прикрепления оси вращения создан узел на трех фасонках. Ось вращения приболчена к фасонкам при помощи фланцев (фиг. 287).

Аналогичный узел дан для прикрепления противовеса на самом конце ферм.

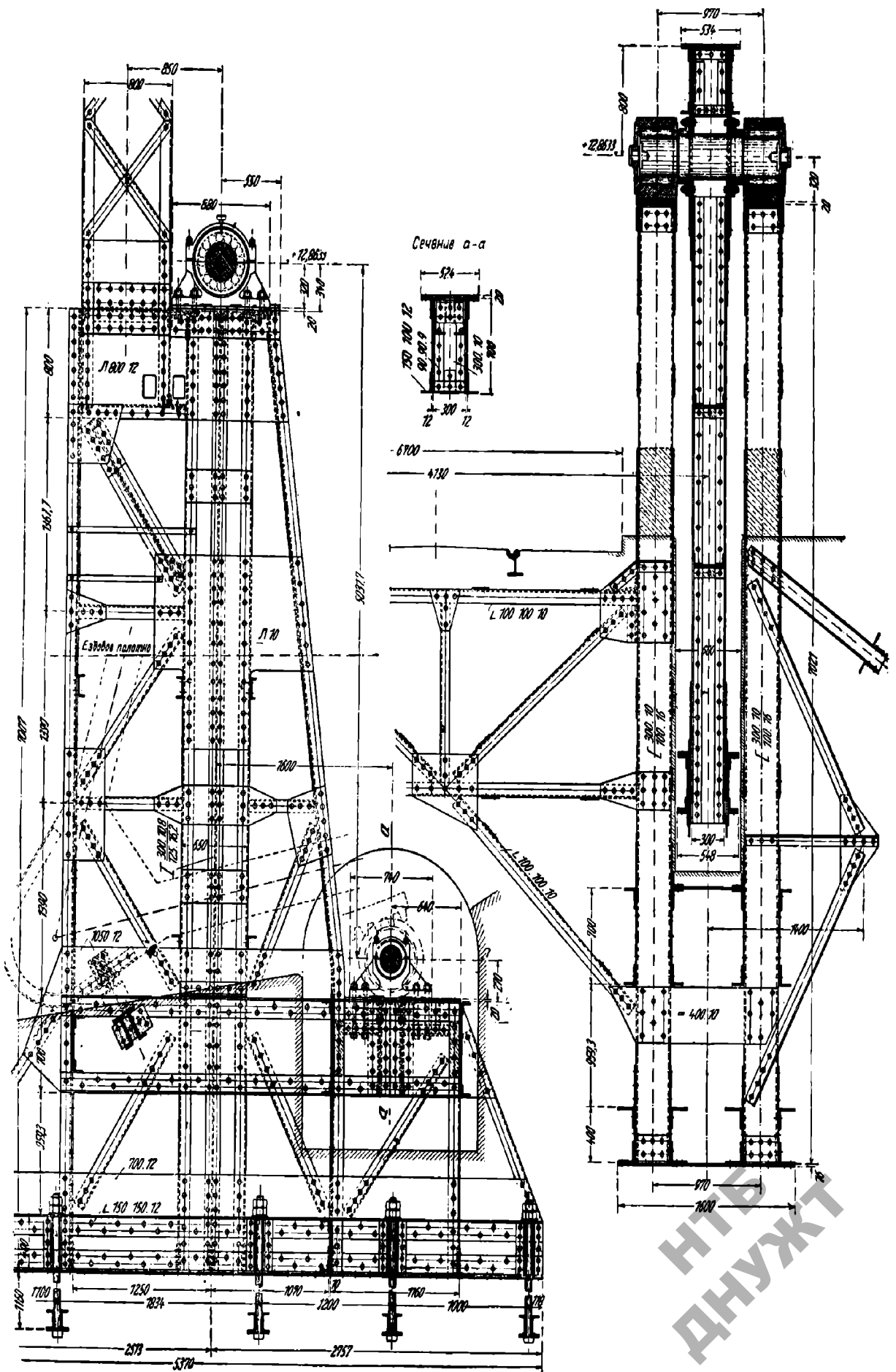
На той же фиг. 286 показана зубчатая дуга, составляющая часть механизмов вращения крыльев. Зубчатая дуга (стальная отливка) прикреплена к нижнему поясу



Фиг. 280.

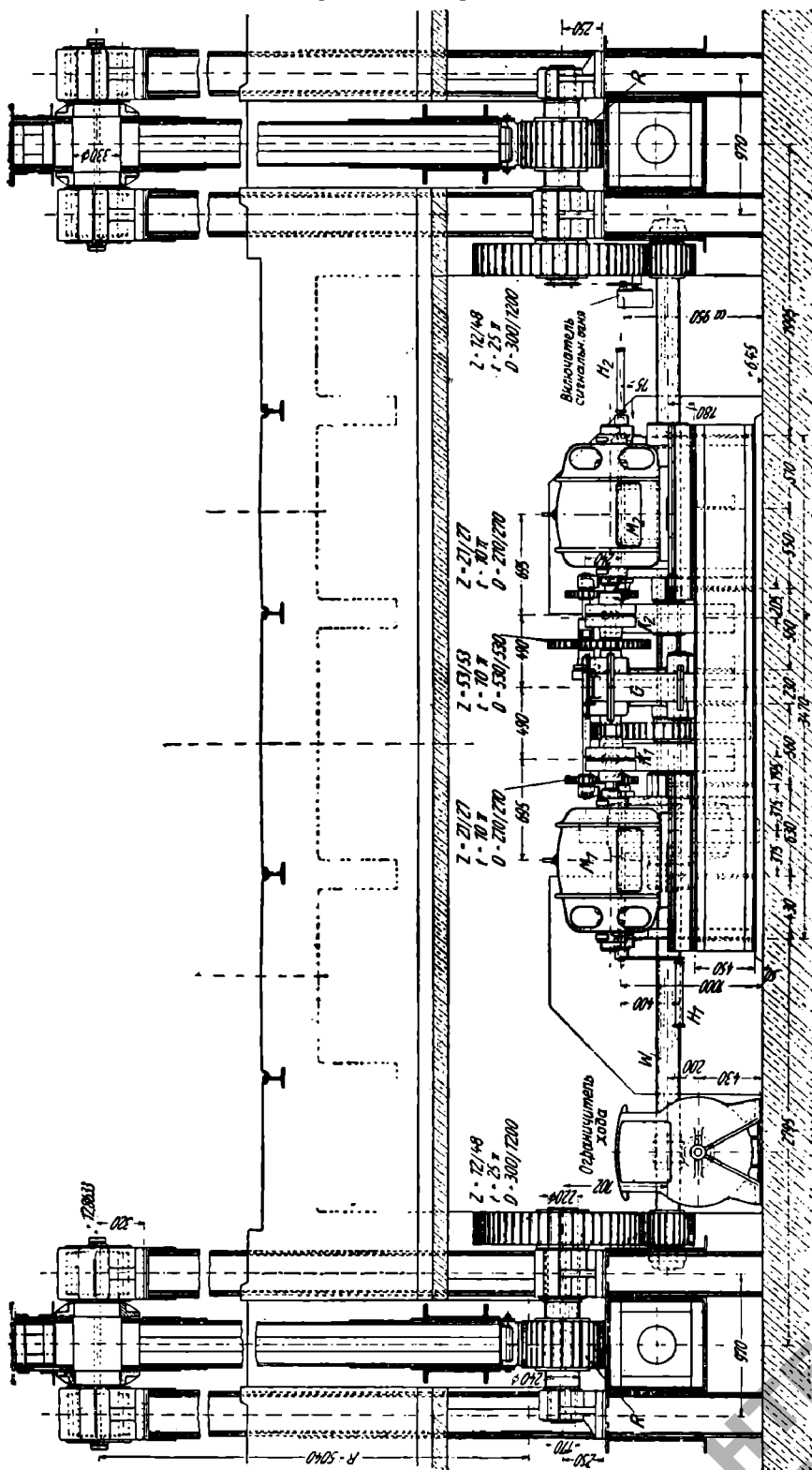


Фиг. 286.



Хвостовая часть внизу имеет очертание по окружности и снабжена зубчатой дугой.

На конец хвостовой части передается через стойку S вес баласта Q .



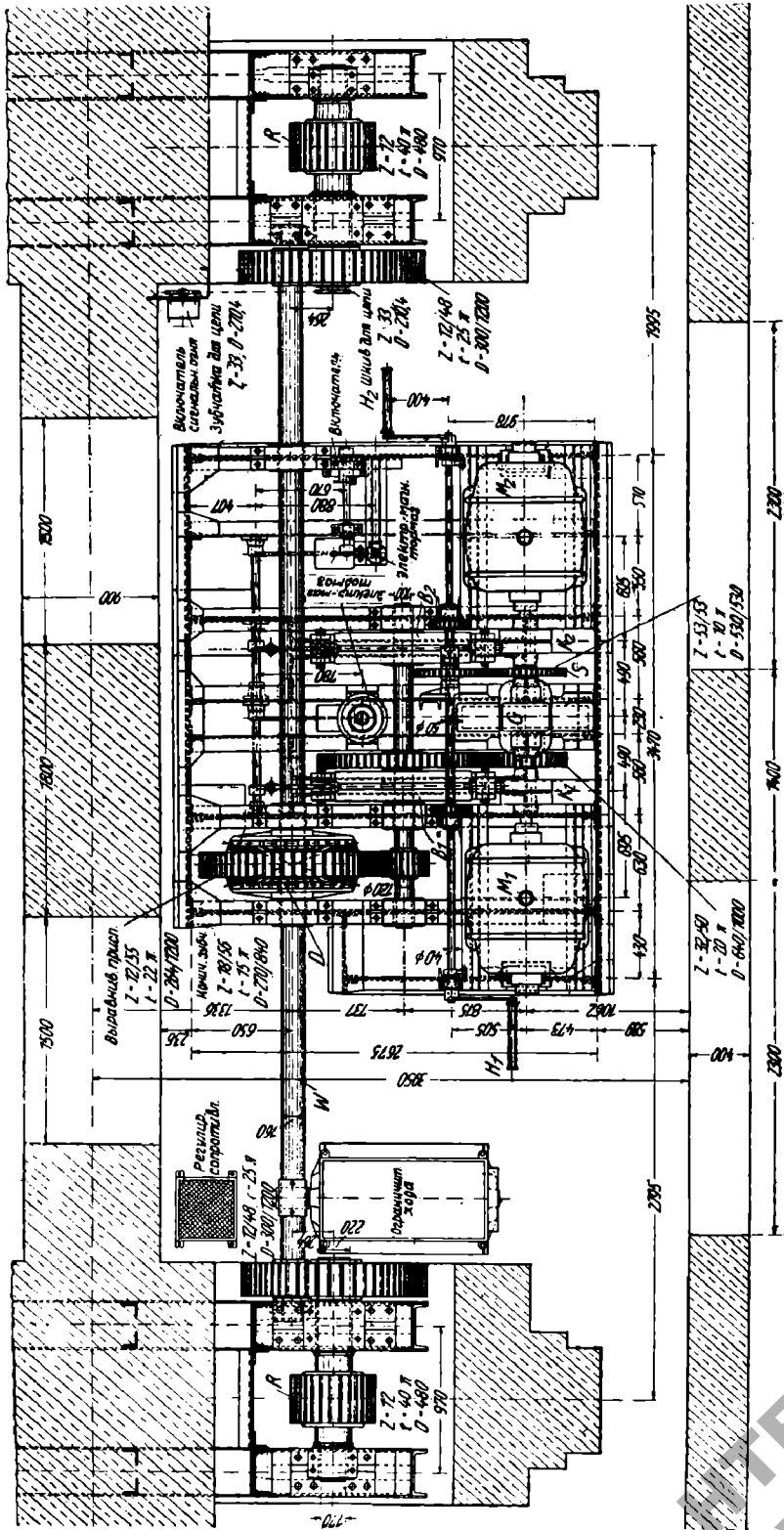
Фиг. 289.

Противовес (баласт) сделан из бетона; в качестве инертной массы использованы старые рельсы и чугунный лом. Вес 1 м^3 такого бетона $4,9 \text{ т}$.

Противовес расположен над полотном моста. Его движение направляется двумя тягами AD , прикрепленными шарнирно к неподвижным точкам A . Фигура $ABCD$ —

параллелограмм. Противовес замаскирован архитектурно обработанным порталом (фиг. 294).

В закрытом состоянии моста противовес частично разгружен. Для разгрузки противовеса служит гидравлический пресс *P* и качающаяся стойка *T* (фиг. 292, а).

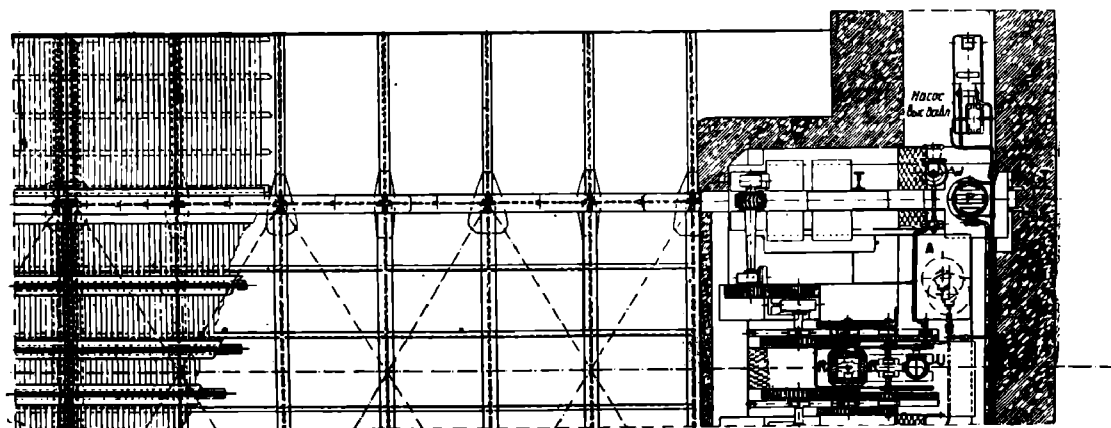
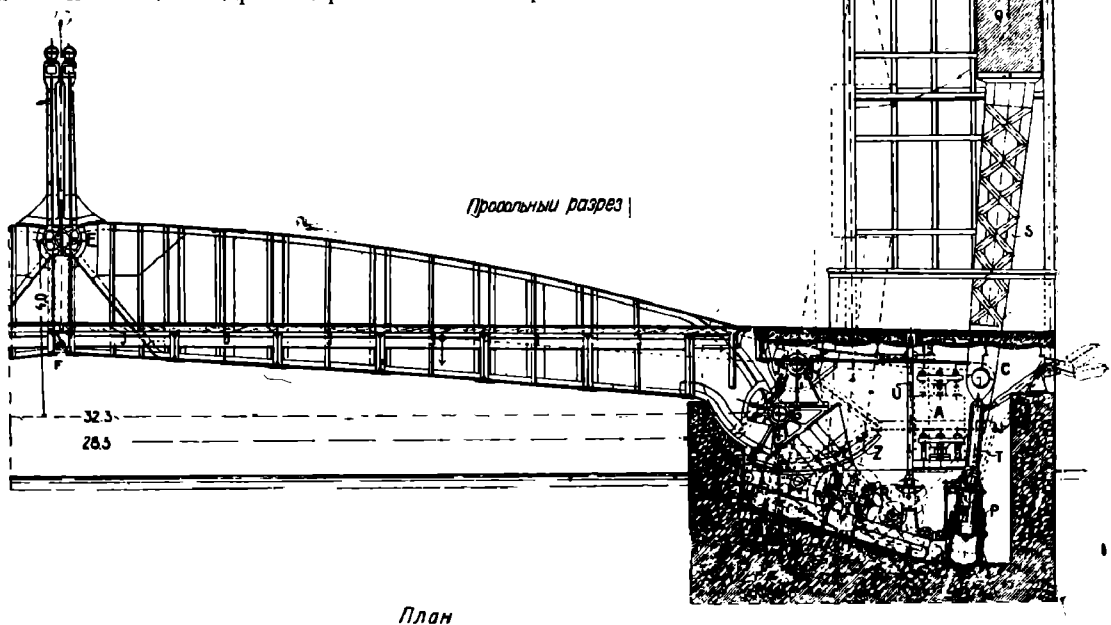


Фиг. 290.

Шарнир *C* (прикрепление стержней противовеса к хвостовой части ферм) сделан с овальным отверстием. После того как противовес приподнят и ключевой шарнир

нажат, между верхней частью поршня и цилиндром гидравлического пресса вставляется стакан, составленный из двух полуцилиндров.

Чтобы открыть мост надо сначала несколько увеличить давление в цилиндре гидравлического пресса: вынуть стакан



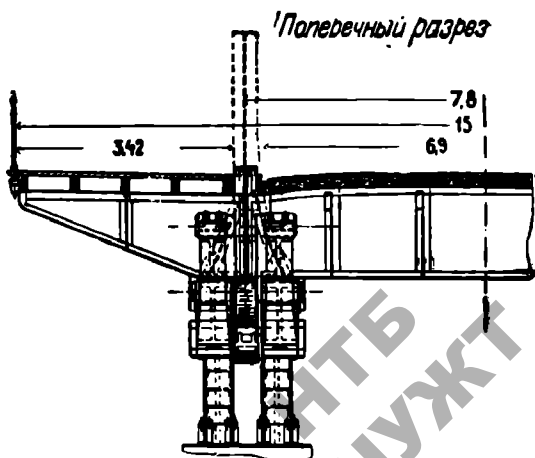
Фиг. 292.

и опустить противовесы до полного нажима на шарнир, причем стойка *T* занимает положение, показанное пунктиром. Затем пролетное строение может быть повернуто действием шестерни на зубчатую дугу *Z*.

Необходимая для действия гидравлического пресса вода сохраняется под давлением в аккумуляторе *A*. Давление создается специальным насосом.

На фиг. 292 внизу показан план разводной части. Шестерня соединена с лебедкой, приводимой в действие мотором в 54 л. с. (по одному мотору на каждое крыло). Для уравнивания работы шестерен правой и левой ферм дан дифференциал *R*.

На всякий случай имеется и ручное оборудование, в состав которого входит

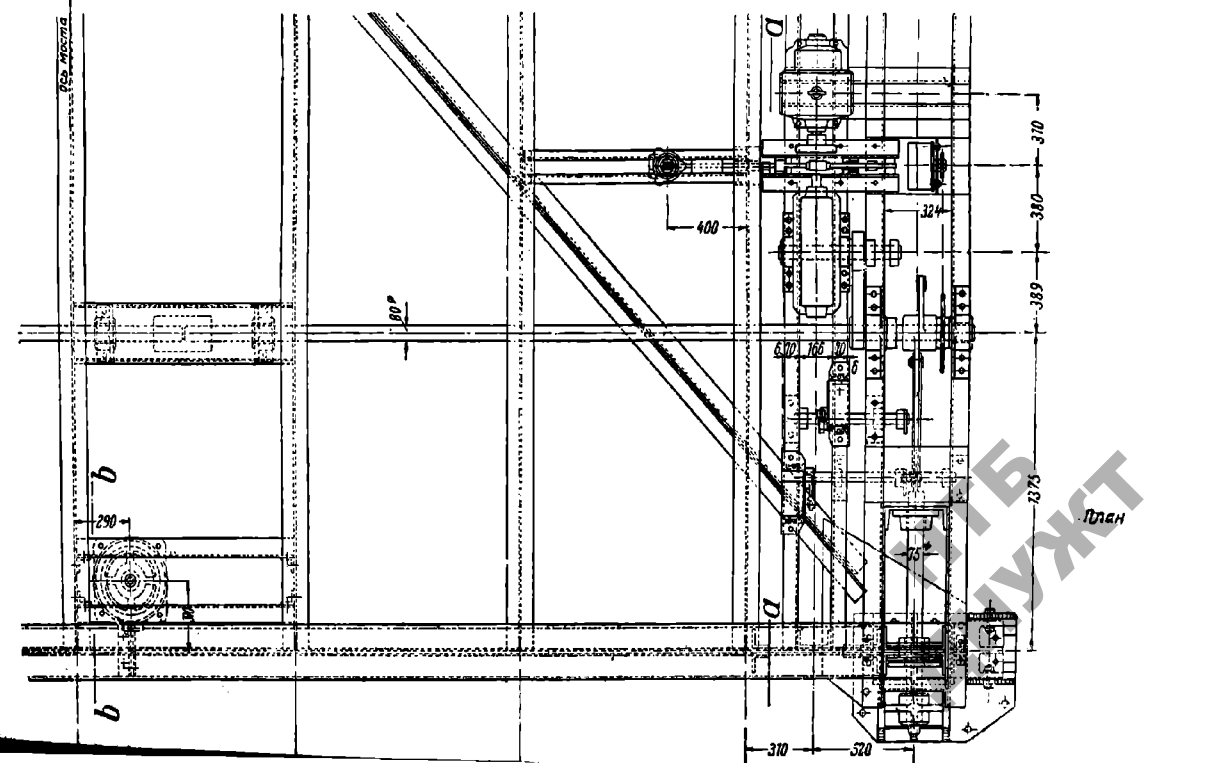
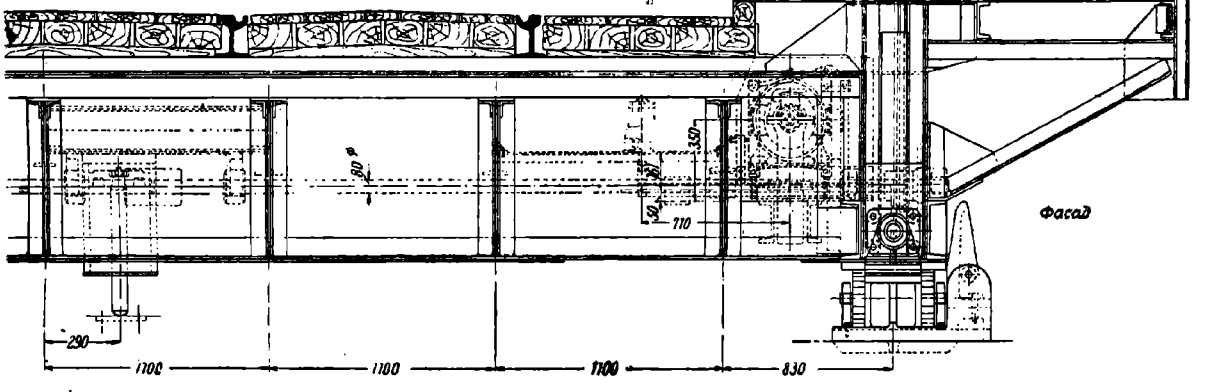
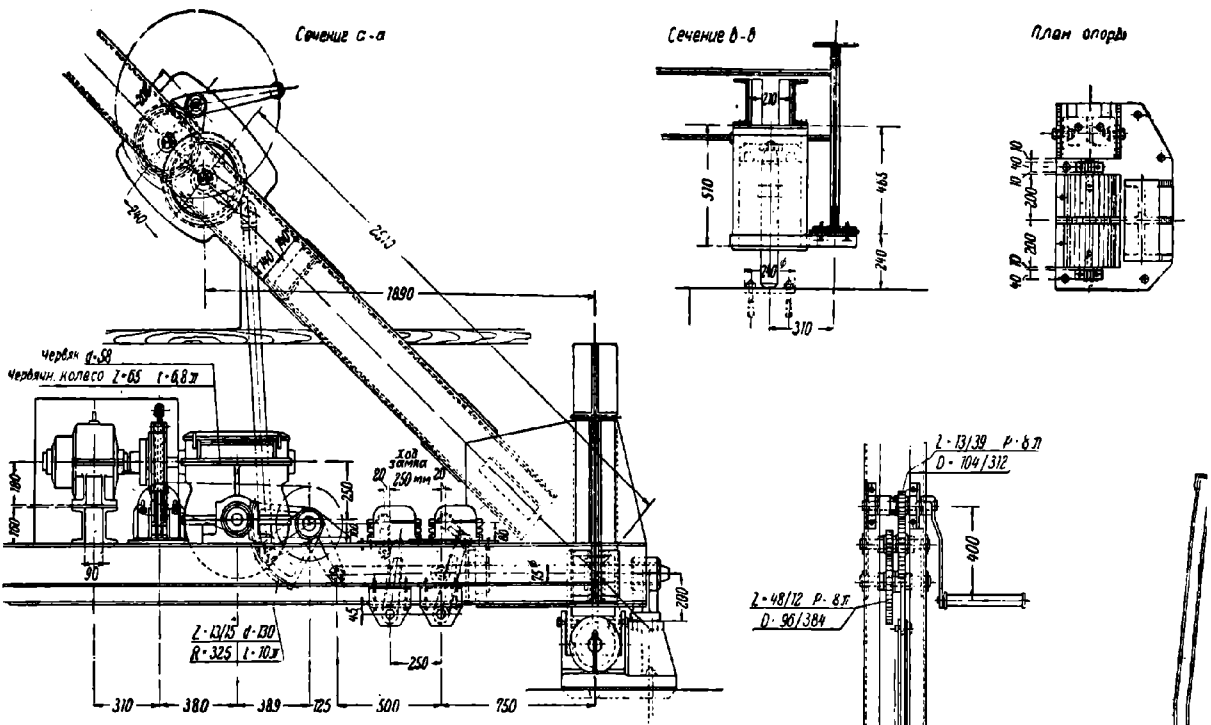


Фиг. 293.

Сечение С-А

Сечение В-В

План опоры



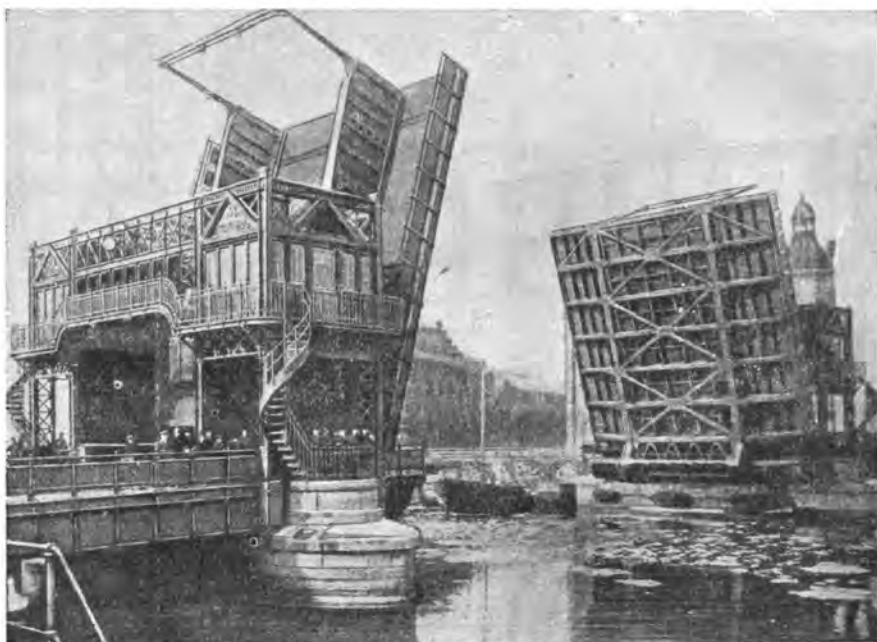
вертикальный вал u , приводимый во вращение непосредственно с полотна.

Вес каждого крыла 146 т, соответствующего противовеса—247 т.

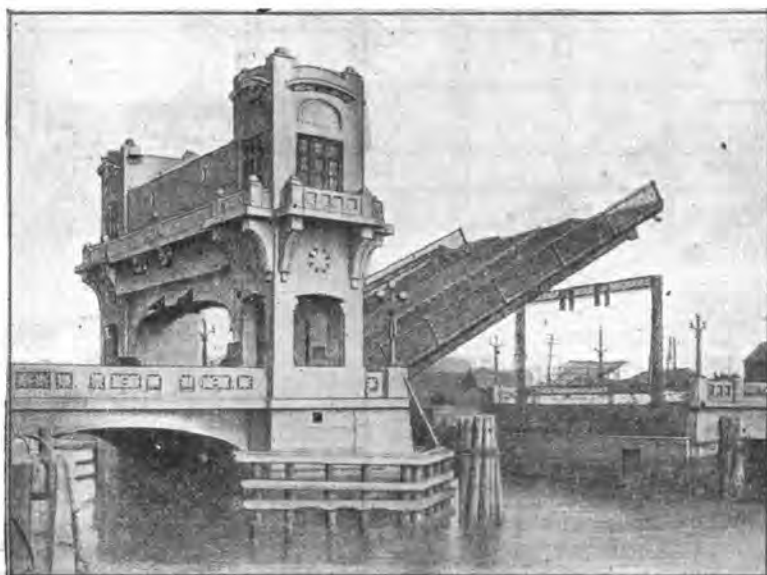
Мощность двигателей рассчитана на ветер в 75 кг/м^2 (несколько высокая величина).

Для движения мост открыт в 1908 г.

53. Мост в Camden. Разводная часть моста на Federal Street в Camden'e (штат New Jersey) устроена по той же системе, как и в описанных выше мостах. Противовес и стойки, к которым прикреплены тяги противовеса, весьма удачно скрыты железобетонной архитектурной надстройкой (фиг. 295).



Фиг. 294.



Фиг. 295.

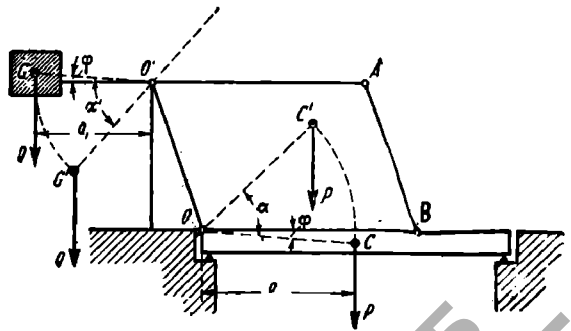
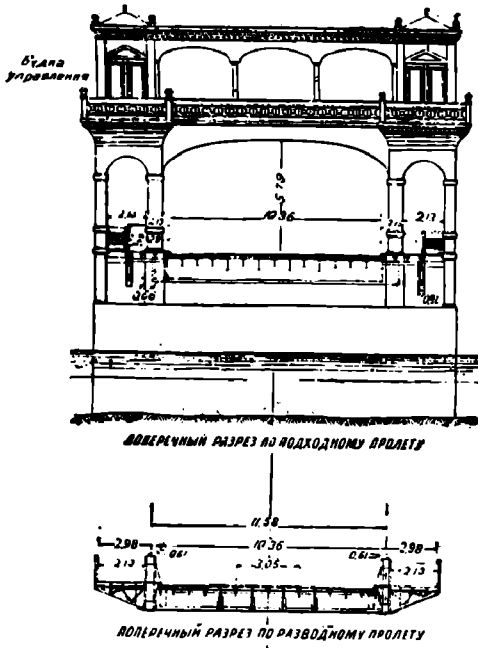
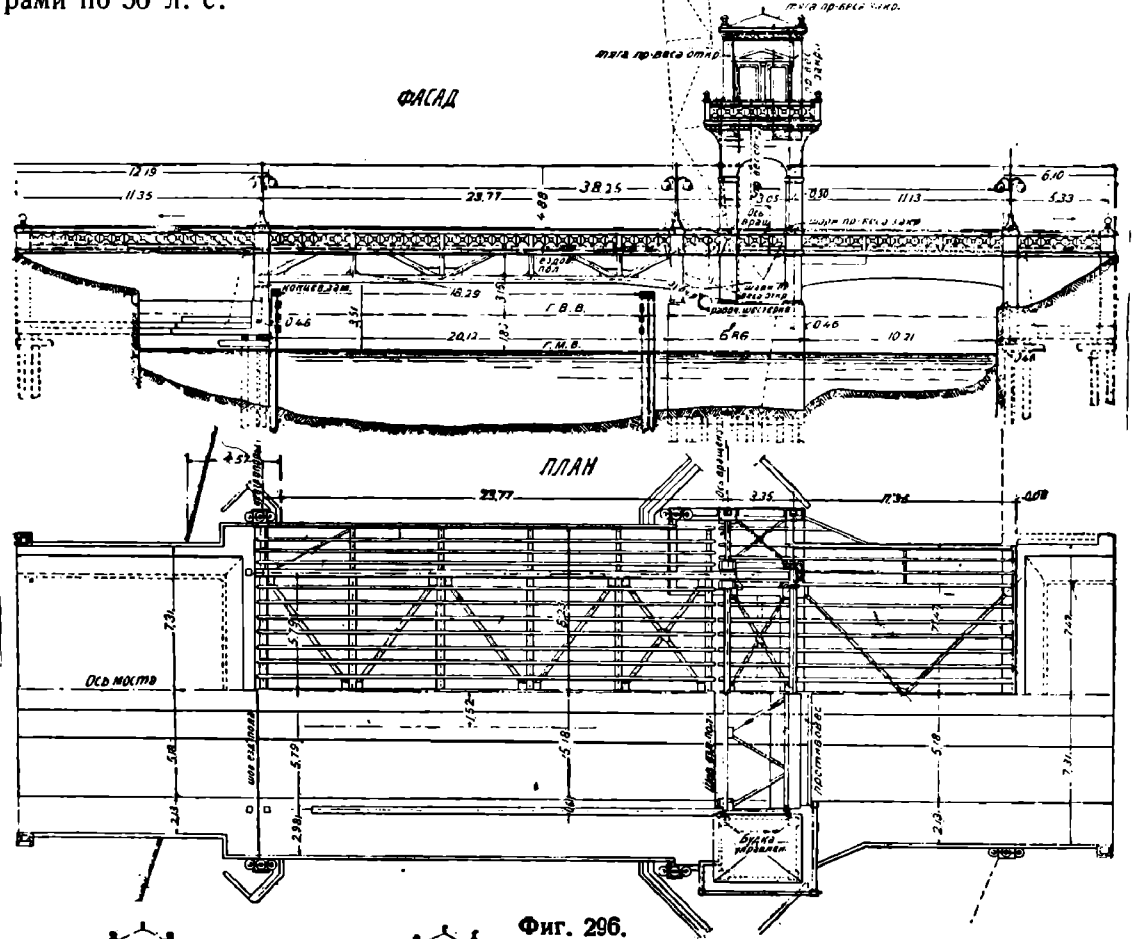
На фиг. 296 и 297 показаны фасад, план и поперечные разрезы разводной части. Пролет в свету 20,12 м. Ширина судоходного отверстия 18,29 м. Длина крыла 23,77 м, длина хвостовой части 3,05 м (0,128 от длины крыла).

Ширина полотна 10,36 м, тротуары по 2,13 м. Расстояние между тосями ферм 11,58 м.

Противовес и в закрытом состоянии моста действует на крыло полным весом.

Устойчивое положение пролетного строения обеспечивается передним замком.

Открывается мост двумя электромоторами по 50 л. с.



НТБ
ДНУЖТ

ПАРАЛЛЕЛОГРАМНЫЕ МОСТЫ С ПЕРЕДАЧЕЙ ДАВЛЕНИЯ ПРОТИВОВОЕСА НА ОТДЕЛЬНЫЕ ОСИ

§ 23. ПАРАЛЛЕЛОГРАМНЫЕ МОСТЫ ПРОСТЕЙШЕГО ТИПА (ЖУРАВЛЕВЫЕ)

54. Простейшим типом параллелограмных мостов являются журавлевые мосты, известные довольно давно и получившие большое распространение в Голландии и Фландрии.

Схема моста этой системы указана на фиг. 298.

Уравновешивание пролетного строения, вращающегося вокруг точки O , осуществляется противовесом Q , прикрепленным к концу рычага GO_1A .

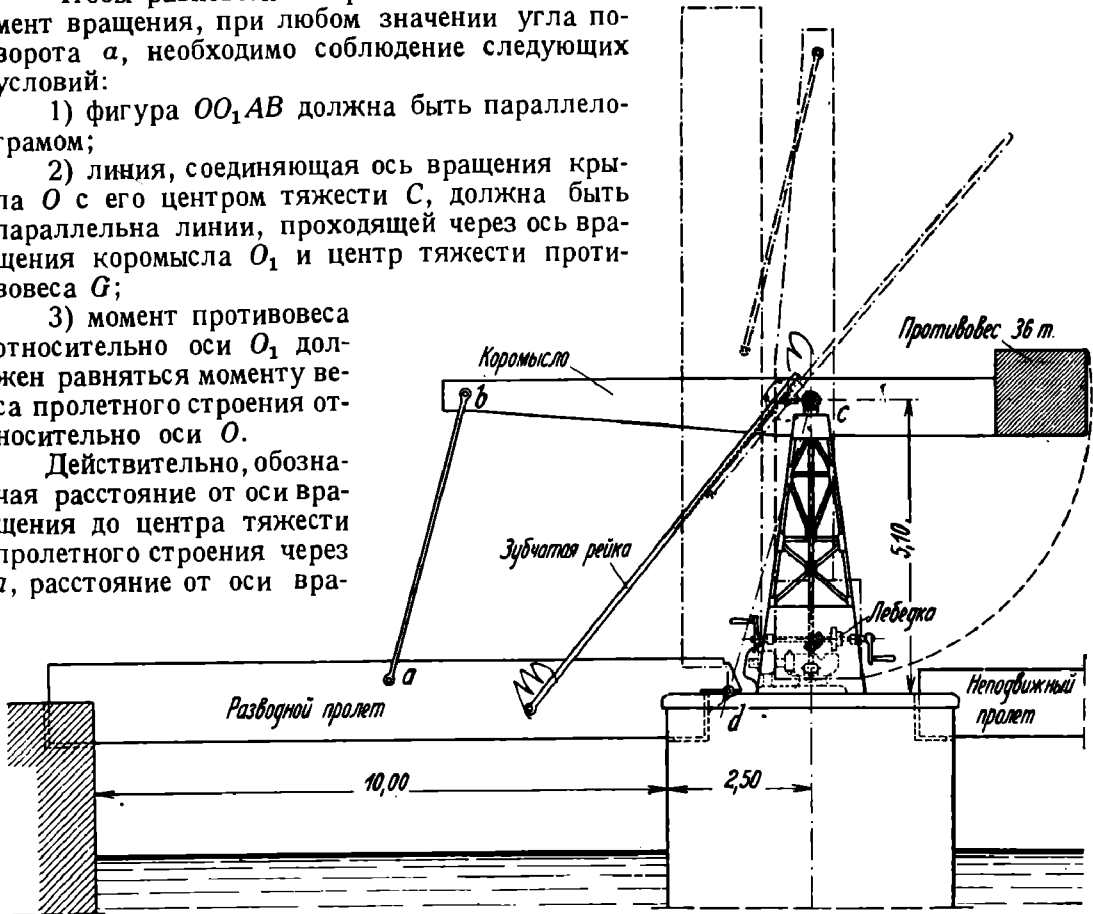
Чтобы равновесие сохранялось в любой момент вращения, при любом значении угла поворота α , необходимо соблюдение следующих условий:

1) фигура OO_1AB должна быть параллелограмом;

2) линия, соединяющая ось вращения крыла O с его центром тяжести C , должна быть параллельна линии, проходящей через ось вращения коромысла O_1 и центр тяжести противовеса G ;

3) момент противовеса относительно оси O_1 должен равняться моменту веса пролетного строения относительно оси O .

Действительно, обозначая расстояния от оси вращения до центра тяжести пролетного строения через a , расстояние от оси вра-



Фиг. 299.

щения коромысла до центра тяжести противовеса через a_1 , вес пролетного строения через P , вес противовеса через Q , можно написать следующее уравнение равенства виртуальных работ (фиг. 298):

$$P \cdot a [\sin(\alpha - \varphi) + \sin \varphi] = Q \cdot a_1 [\sin(\alpha_1 - \varphi_1) + \sin \varphi_1].$$

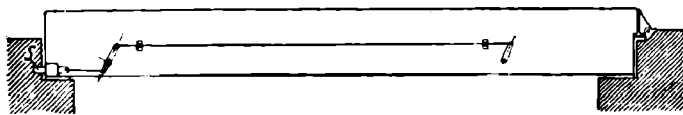
Так как это равенство должно быть справедливо для любого значения угла α в пределах от 0 до 90° , то очевидно, что для этого необходимо и достаточно, чтобы

$$\varphi = \varphi_1; \quad a = a_1; \quad Pa = Qa_1,$$

что и приводит к трем написанным выше условиям.

55. Примером моста изучаемой системы может служить построенный в 1922 г. на ж.-д. линии Chauny-Anizy et St. Gobain мост через Уазу с разводной частью отверстием 10 м. Конструкция моста ясна из фиг. 299.

Вращение пролетного строения осуществляется посредством зубчатой рейки *тп* и шестерни, связанной с системой зубчатых колес и вертикальным валом с лебедкой, находящейся на быке. Лебедка приводится в действие или 14 л. с. электромотором (время разводки 2 мин.) или силой двух человек (время разводки 5 мин). В закрытом состоянии пролетное строение запирается двумя задвижками (фиг. 300). Башни, поддерживающие ось вращения коромысла, должны быть несколько смещены внаружу по отношению к плоскости ферм, чтобы дать место коромыслу в открытом положении

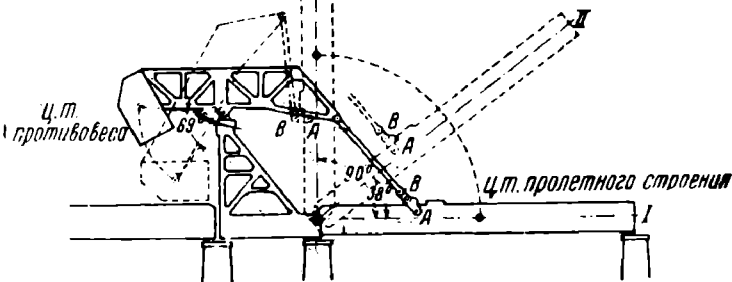


Фиг. 300.

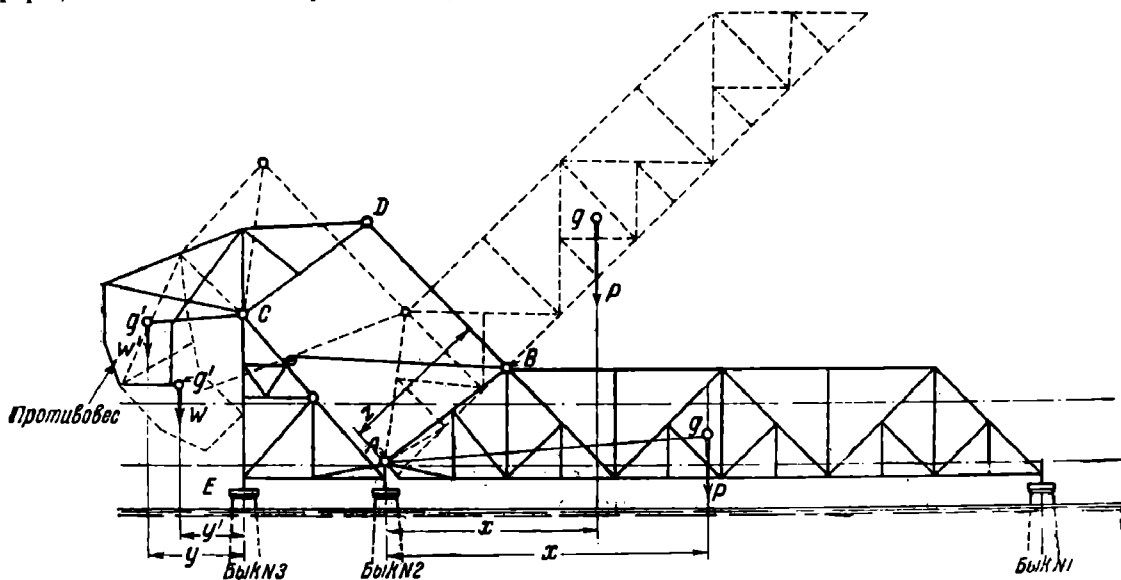
пролета. Вследствие этого как ось вращения коромысла, так поперечная связь между коромыслами левой и правой фермы принуждены работать на изгиб, конструкция их утяжеляется.

56. Чтобы избежать указанного недостатка американским инженером Brown был предложен особый тип параллелограмной системы, осуществленный в мосту под обыкновенную дорогу в Мустис (1922 г. фиг. 301).

В системе Brown'a тяга, соединяющая коромысло с пролетным строением, сделана из двух частей, соединенных шарниром. Фермы снабжены особым выступом. В начале движения шарниром параллелограмной схемы будет нижняя точка упомянутой тяги; после поворота на угол около 38° нижняя короткая часть тяги упирается в выступ ферм, и в дальнейшем вращение происходит вокруг шарнира, соединяющего верхнюю



Фиг. 301.



Фиг. 302.

и нижнюю части тяги. Вследствие этого параллелограм несколько искажается, и, в то время как пролетное строение окажется повернутым на 90° , коромысло составит с первоначальным положением угол всего в 69° . Противовес остановится, не заходя за поддерживающие ось стойки. Поэтому коромысла могут быть расположены в плоскости ферм; поперечная конструкция между отдельными коромыслами на изгиб не работает и делается легкой.

Понятно, что при описанной схеме полное равновесие в любой момент движения невозможно. В закрытом состоянии несколько перевешивает пролетное строение,

что способствует его устойчивому положению. Дополнительный шарнир в тяге выбран так, что переход пролетного строения за вертикальное положение вызывает момент противовеса обратного знака и таким образом, достигается полная безопасность движения.

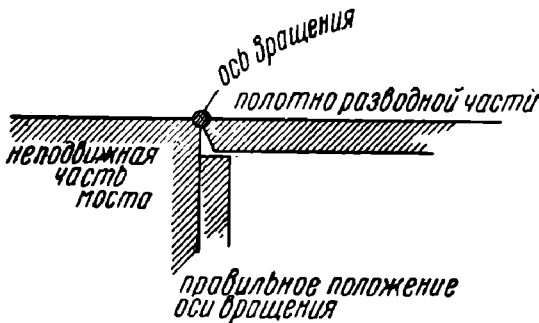
Движущий механизм состоит из двух шкивов (по одному с каждой стороны) большого диаметра и шарнирных тяг, прикрепленных одним концом к шкиву, другим к фермам. Шкив вращается двумя электромоторами по 36 л. с. каждый. Вес разводного пролета—650 т; противовеса—400 т.

§ 24. КОРОМЫСЛОВЫЕ МОСТЫ СИСТЕМЫ ШТРАУСА

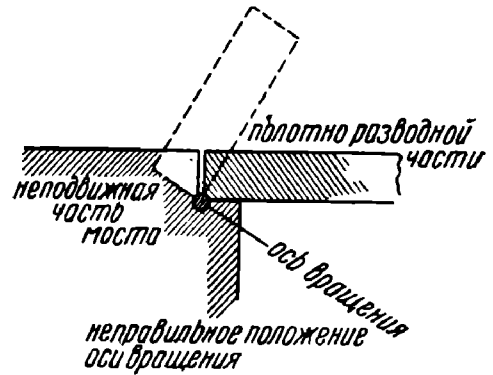
57. Логическим развитием мостов журавлевого типа являются коромысловые мосты системы Штрауса. Идея этой системы та же самая. Несколько отличается лишь конструктивное оформление идеи. Схема коромыслового моста системы Штрауса дана на фиг. 302. Условия уравнивания масс те же самые, как и в журавлевых мостах (см. § 23).

Вращение пролетного строения производится механизмом из шестерни и зубчатой, шарнирно к ферме прикрепленной рейки.

Оси вращения пролетного строения и коромысла обычно опираются на отдельные опоры. Под ось вращения коромысла подводится или совершенно самостоятельная стойка или стойка, связанная металлической конструкцией с осью вращения крыла. Последний прием предпочтительнее, как обеспечивающий большую устойчивость стойки и неизменяемость взаимного расположения оси вращения.



Фиг. 303.



Фиг. 304.

Ось вращения пролетного строения должна быть расположена несколько выше полотна или, в крайнем случае, в одном уровне с ним; иначе поднимающаяся часть моста была бы принуждена пройти сквозь полотно неподвижной части (фиг. 303—304).

Поставить ось вращения на надлежащую высоту можно различными способами.

При небольшой строительной высоте проезжей части опорные узлы ферм проектируются с достаточно большими фасонками, к которым и прикрепляется ось вращения.

Другое решение—раздваивание нижнего пояса в пределах первой панели: основная часть пояса идет к оси вращения; дополнительная образует пояс горизонтальных связей. (фиг. 302, 305). Если расстояние между обеими ветвями раздвоенного нижнего пояса небольшое, то их можно соединить решеткой из уголков или планок.

Наконец, вместо того, чтобы поднимать ось вращения, можно, наоборот, опустить балки проезжей части, подвесив их к выпущенным вниз фасонкам (см. решение аналогичного вопроса в мостах системы Шерцера, § 63, фиг. 324).

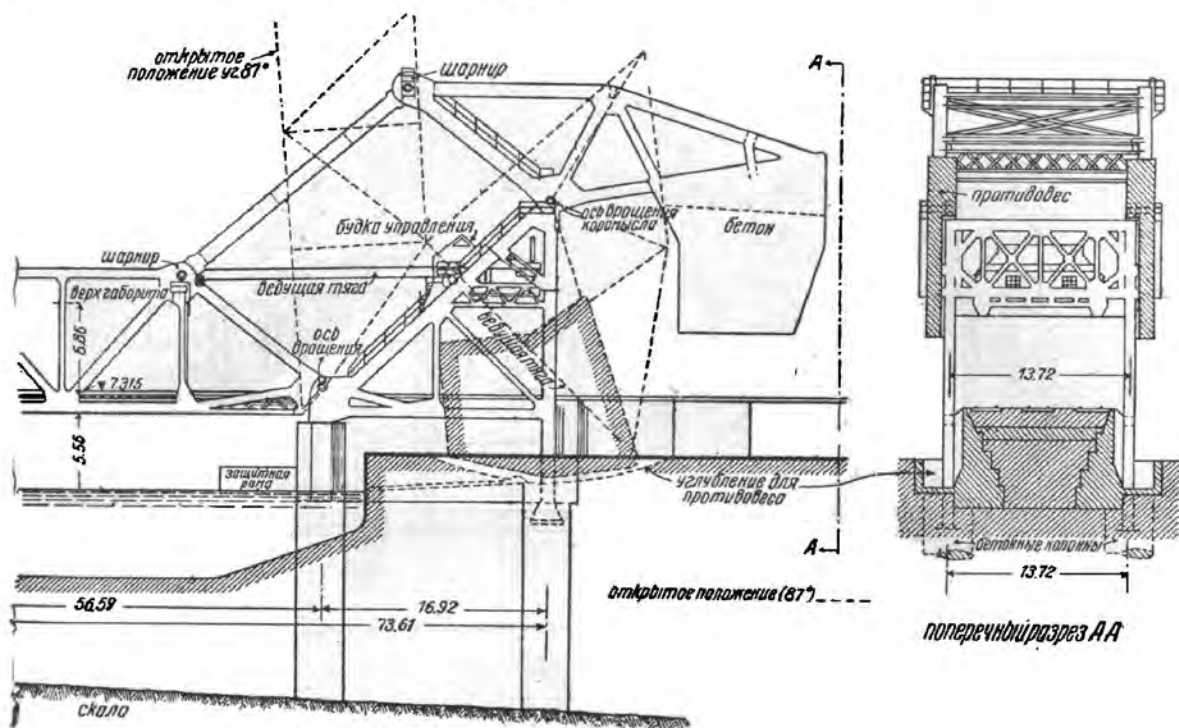
Противовес в коромысловых мостах системы Штрауса в большинстве случаев делается бетонный или железобетонный.

Для облегчения сборки иногда бетонный противовес одевают металлическим кожухом, в котором, как в форме, производят бетонирование.

Некоторые детали конструкции коромысловых мостов даны в описанных ниже примерах этой системы.

58. Мост через р. Чикаго около Fullerton Avenue. На фиг. 305 показана часть фасада и поперечный разрез, а на фиг. 306—фотография общего вида моста через р. Чикаго около Fullerton Avenue в г. Чикаго под 3 ж.-д. путями.

Пролет разводной части—56,69 м. Оси вращения укреплены на двух металлических башнях, связанных решетчатой распоркой в общую раму. Противовесы—бетонные—отдельные для каждой фермы.



Фиг. 305.

При открывании моста противовесы опускаются частично в небольшие колодцы. Как видно на фиг. 306, в противовесах сделаны отверстия, в которые можно ставить чугунные стержни для регулирования уравновешенности движущихся масс.

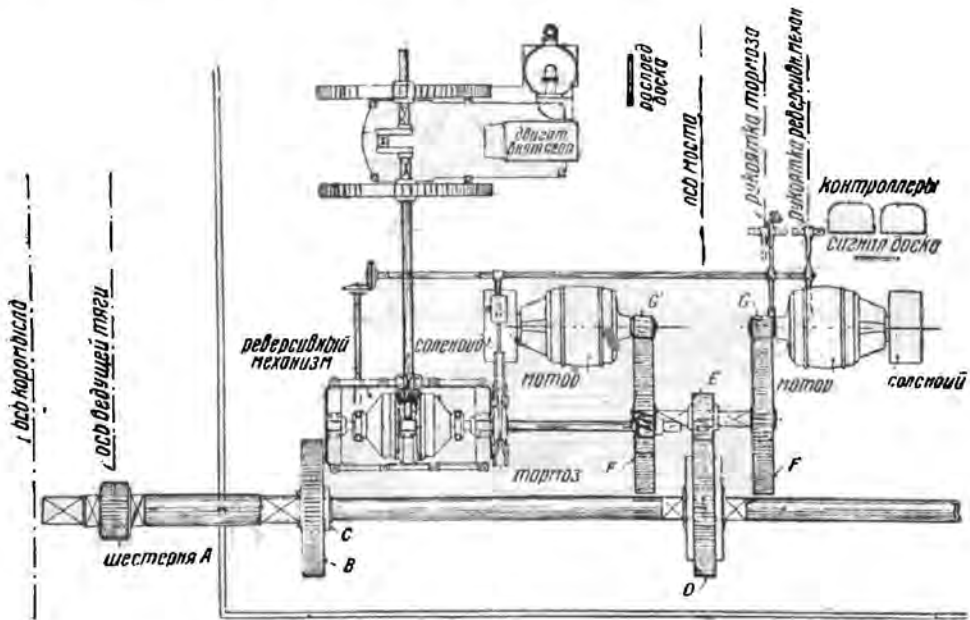


Фиг. 306.

Механизмы вращения расположены на той же башне, на которую опираются оси вращения. Кроме двух электромоторов имеется запасный двигатель внутреннего сгорания. Схема расположения механизмов указана на фиг. 307.

59. **Мост в Стокгольме через канал Danviks.** Общий вид моста изображен на фиг. 308. Ширина канала, перекрытого мостом, 30 м. Ось канала составляет с осью моста угол в $75^{\circ} 46'$. Вследствие этого расчетные пролеты ферм разные—северная

ферма имеет пролет в 38,522 м, южная—35,478 м, что достигается изменением длины крайних панелей. Высота ферм 7,50 м, расстояние между осями ферм—12 м. Мост предназначен для пропуска ж.-д. пути, экипажного проезда и пешеходов. Для последней цели с южной стороны дан тротуар в 2,60 м шириной.



Фиг. 307.

Как видно из фиг. 308, разводная часть—системы Штрауса с передачей давления на две оси. Ось вращения крыла и ось вращения коромысла соединены треугольной рамой. Между тягами, идущими от коромысла к пролетному строению, поставлены связи (фиг. 308).

Противовес бетонный. Для совмещения центра тяжести системы с осью вращения коромысла понадобилось противовес сделать из материалов различного веса, а именно: из обыкновенного бетона (85 м³), пемзового бетона (15 м³) и бетона, в котором вместо щебня использована железная руда (82 м³). Кроме того в состав противовеса входят 8 т железной арматуры и 29 т старых рельсов.

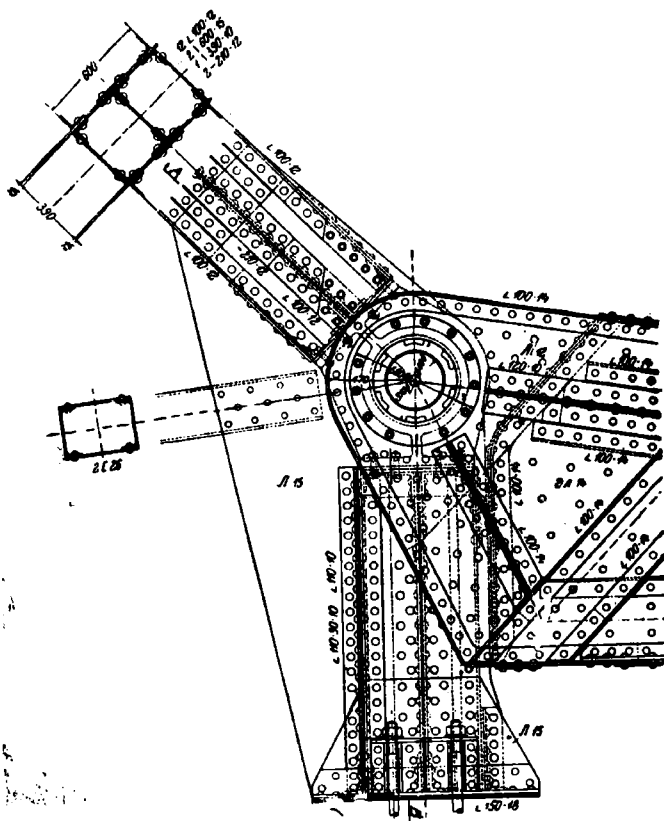


Фиг. 308

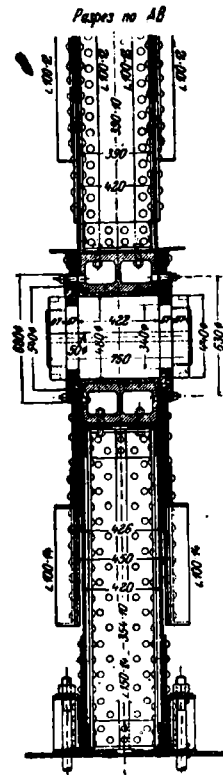
Интересны детали устройства некоторых узлов конструкции.

Нижний пояс фермы в первой панели раздвоен. Обе ветви на конце панели соединены солидными фасонками, окаймленными уголками. К фасонкам, посредством фланцев и конических болтов прикреплена стальная ось вращения, диаметр которой в средней части равен 440 мм. К тем же фасонкам прикреплены крайние поперечные балки проезжей части разводного пролета.

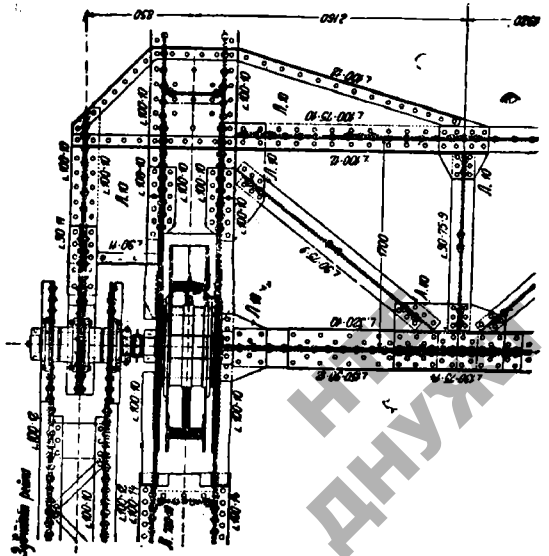
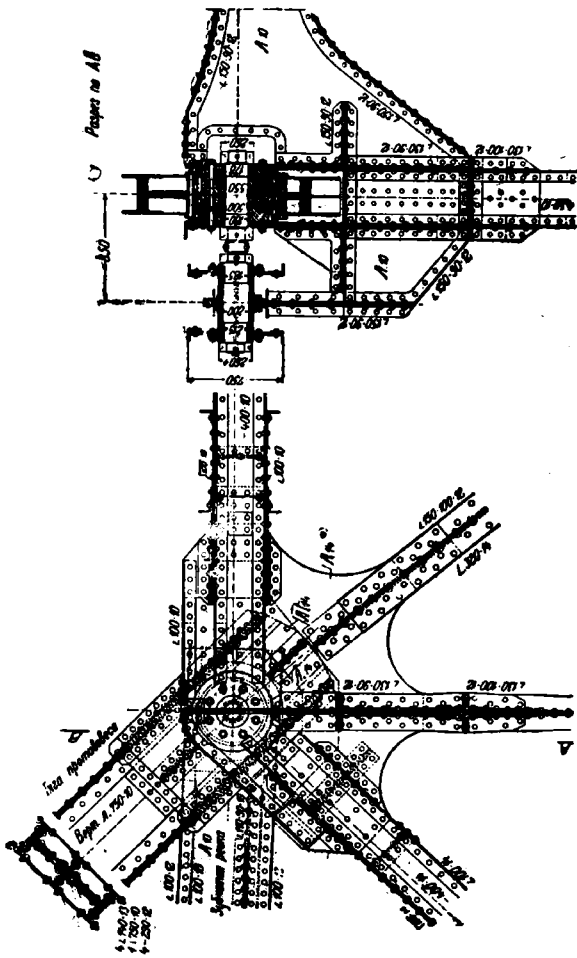
Ось вращения может поворачиваться в стальной отливке специальной формы. Эта отливка (с ребрами) приболчена с одной стороны к стержню, соединяющему ось вращения коромысла и пролетного строения. Стойка и упомянутый стержень связаны фасонками, толщиной 15 мм. Фасонки напущены снаружи на отливку и имеют



Фиг. 309.

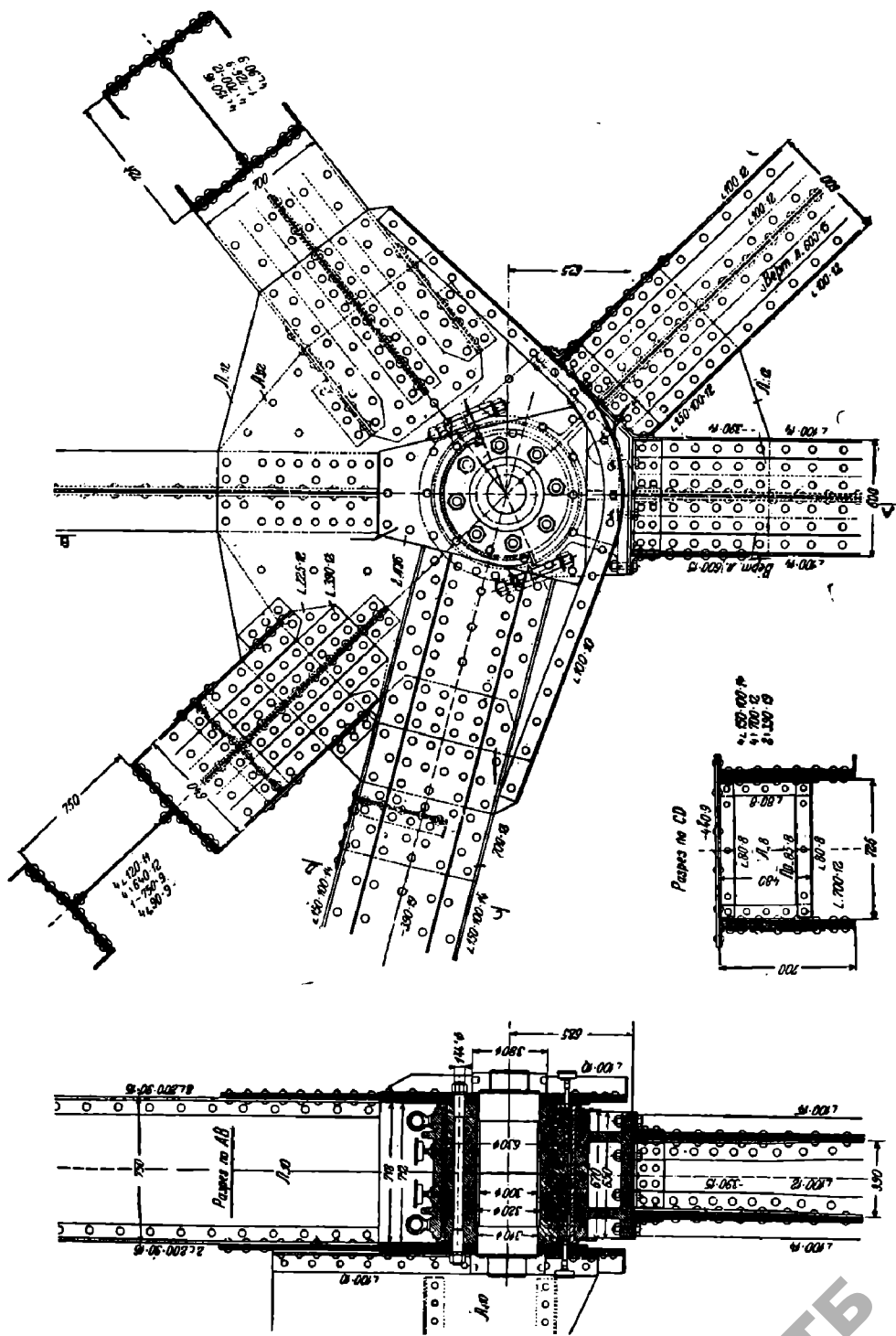


Фиг. 310.



вырез, диаметром в 480 мм для пропуска оси. Между осью и отливкой помещены вкладыши из фосфористой бронзы.

На фиг. 309 виден еще легкий стержень, составленный из двух швеллеров № 26. Он является связью между опорной стойкой оси вращения крыла и низом опорной стойки оси вращения коромысла.



Фиг. 311.

Аналогично устроено прикрепление оси вращения коромысла (фиг. 311).

Ось вращения—полая, наружным диаметром 630 мм, внутренним 300 мм, прикреплена болтами к фасонкам, образующим опорный узел коромысла. Место прикрепления оси усилено дополнительными листами трапециодальной формы. Подшипник оси вращения поставлен на опорную стойку и кроме того приболчен к соеди-

МОСТЫ СИСТЕМЫ ШЕРЦЕРА (ROLLKAPPLÜCKE, ROLLER EIFT BRIDGES)

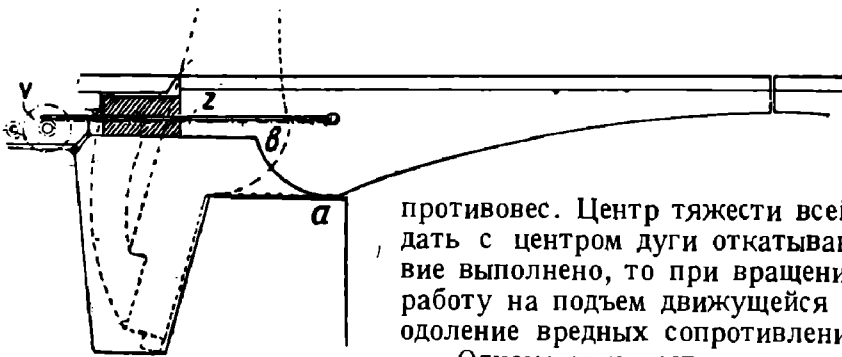
§ 25. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

60. Отличительная особенность мостов системы Шерцера—вращение пролетного строения вокруг перемещающегося по горизонтальной прямой центра. Это, следовательно, *откатно-раскрывающиеся мосты со свободным откатыванием*.

Подобно остальным системам раскрывающихся мостов, мосты системы Шерцера могут быть с ездой поверху или понизу, однокрылые и двукрылые.

На фиг. 313 показана двукрылая разводная часть системы Шерцера с ездой поверху.

Откатывание происходит по дуге ab . Для большей определенности движения, во избежание скольжения при ветре, дуга ab , прикрепленная к нижнему поясу хвостовой части фермы, снабжается выступами, входящими в углубления, сделанные в балке



Фиг. 313.

откатывания, или же устраивается зубчатое зацепление с рейкой, уложенной на быке (или на устое).

Хвостовая часть ферм на конце имеет противовес. Центр тяжести всей системы должен совпадать с центром дуги откатывания ab . Если это условие выполнено, то при вращении не нужно расходовать работу на подъем движущейся массы, а лишь на преодоление вредных сопротивлений и давления ветра.

Однокрылые мосты имеют или хвостовые замки или передние замки. Двукрылые—хвостовые замки и кроме того средний замок.

Назначение замков—предохранить пролетное строение от открытия при загрузке хвостовой части; не допускать колебательных движений противовеса (для последней цели необходимы хвостовые, а не передние замки) и обеспечить совместный прогиб обеих крыльев (средние замки).

Сравнение практикуемых способом устройства замковых механизмов, приведенное ранее (§ 15), применимо и в отношении мостов рассматриваемой системы.

Изображенная на фиг. 313 схема системы Шерцера, как нетрудно убедиться, либо требует для своего осуществления довольно значительной высоты ферм на опоре, либо заставляет прибегать к сравнительно небольшим радиусам дуги откатывания. Первое не всегда возможно; второе—увеличивает давление на зацепление дуги откатывания, и потому не желательно.

Кроме того при схеме по фиг. 313 очертание ферм в хвостовой части получается изломанным, не спокойным, с входящими углами, в особенности если для совмещения центра тяжести системы с центром дуги откатывания противовес приходится опускать (фиг. 323).

Перечисленных неудобств можно избежать, если откатывание производить не по нижнему поясу хвостовой части, а по специально для этого предназначенным литым секторам, поставленным рядом с фермами и приволоченным к ней. Фиг. 314а, б, с показывает пример моста системы Шерцера с откатыванием по секторам.

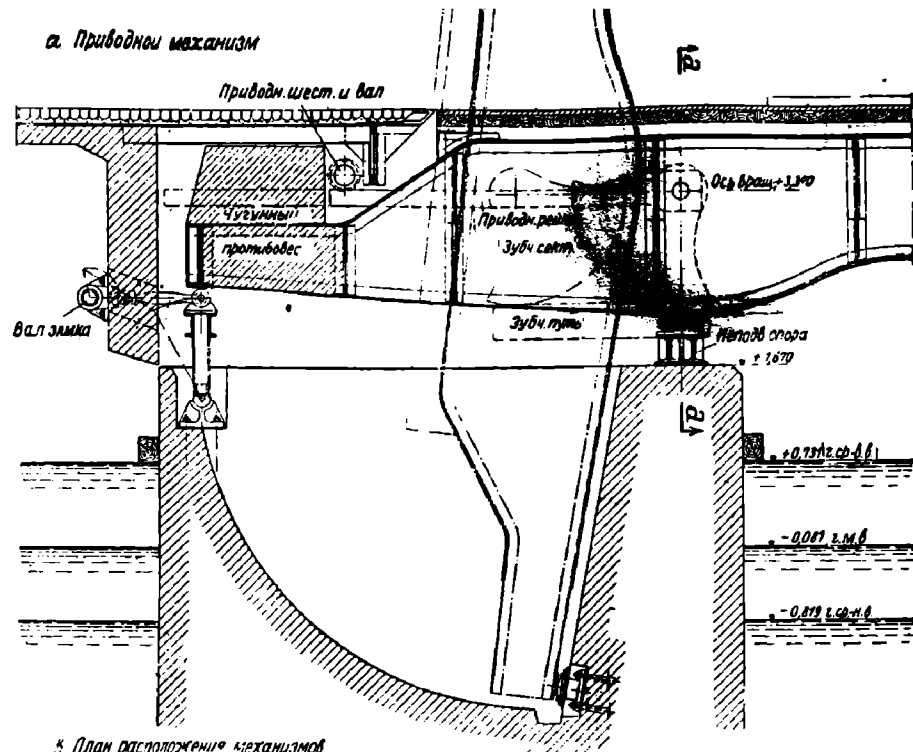
Есть и недостатки в системе с сектором. Это прежде всего дороговизна и затруднительность отливки больших секторов, а затем—необходимость передавать вес ферм на сектора в поперечном направлении, что при большом весе ферм может усложнить конструкцию. Однако, указанные недостатки имеют серьезное значение лишь при фермах больших пролетов, с большой высотой, при тяжелом пролетном строении.

Поэтому в последнее время все более и более намечается тенденция строить мосты системы Шерцера малых и средних пролетов с литыми секторами.

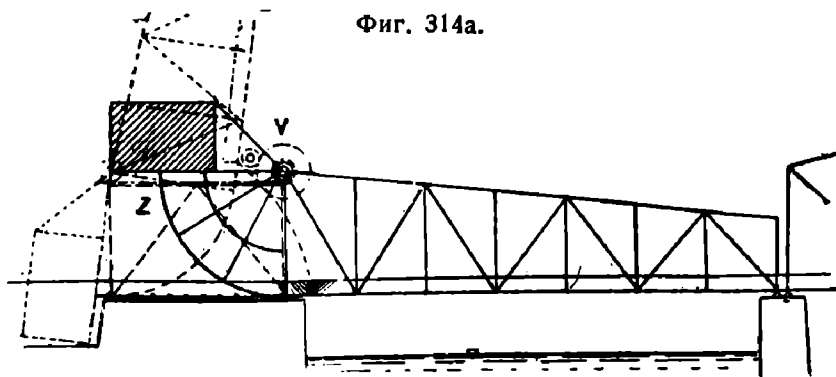
Схема моста системы Шерцера с ездой понизу изображена на фиг. 315.

§ 26. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОСТОВ СИСТЕМЫ ШЕРЦЕРА С ЕЗДОЙ ПОВЕРХУ

61. Расположение и устройство опор. Фермы мостов системы Шерцера, как и раскрывающиеся мосты других систем, должны иметь положительные и отрицательные опоры. Наличие последних не является безусловной необходимостью в однокрылых



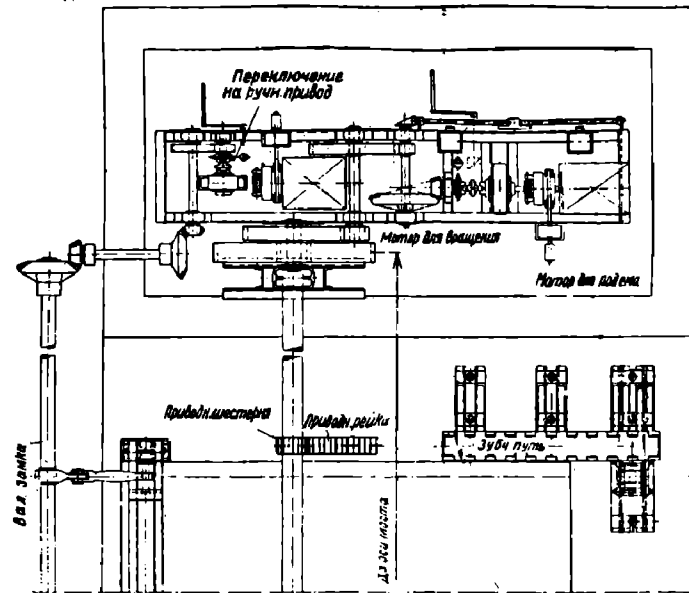
б. План расположения механизмов



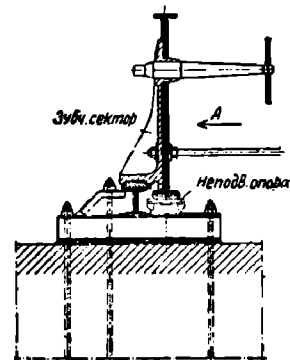
Фиг. 315.

Фиг. 314а.

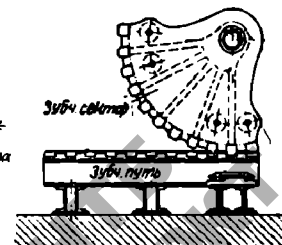
в. План расположения механизмов



г. Разрез по а-а

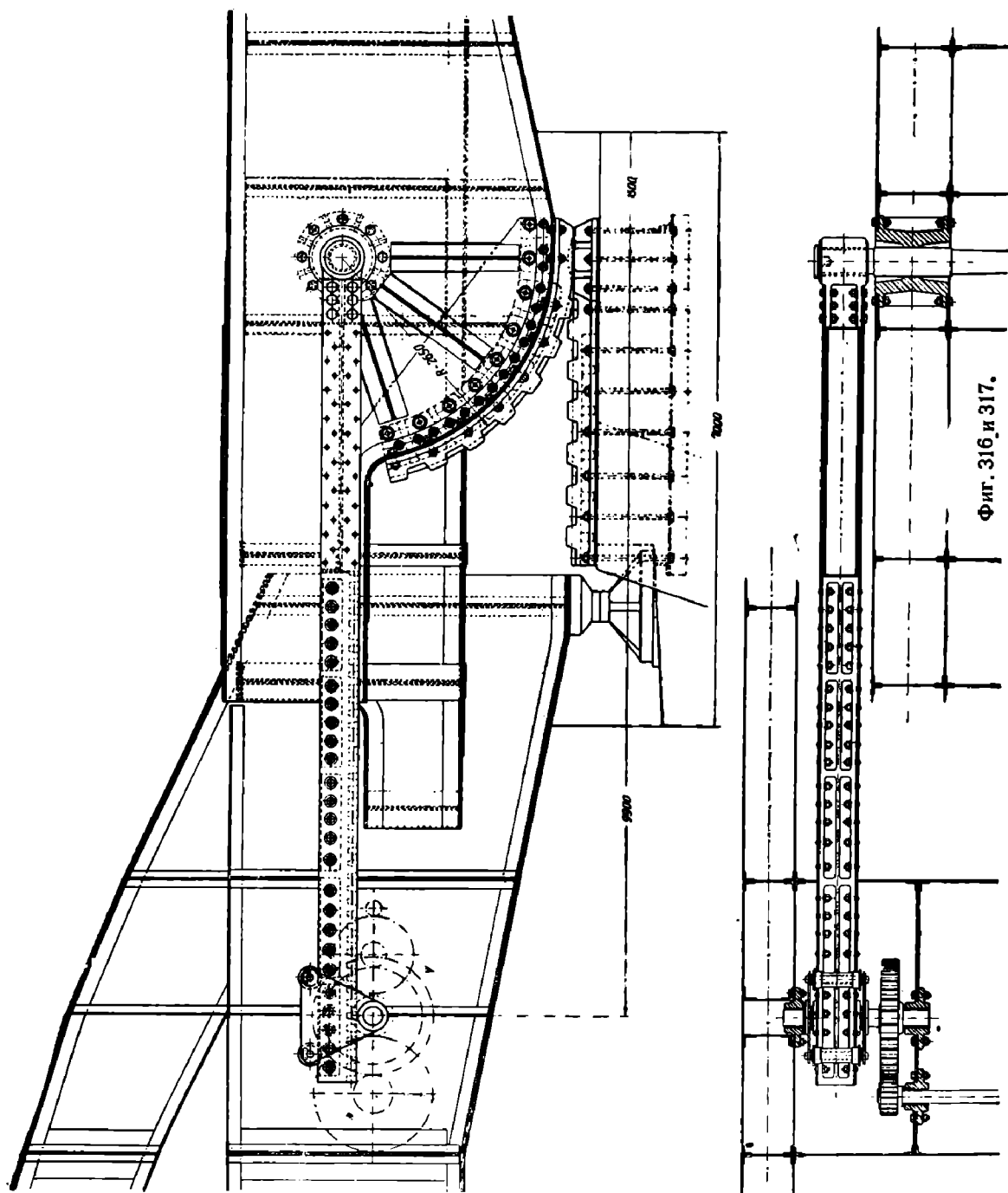


д. Вид от А



Фиг. 314 б и с,

мостах. Тем не менее и в этих системах отрицательные опоры крайне желательны, т. к. при их отсутствии загрузка пролетного строения будет вызывать подъем хвостовой части вверх; при сходе нагрузки неизбежен удар хвостовой части на подклинивающий механизм. Если применены не хвостовые замки а передние, то удара, правда, не получается, но возможны колебательные движения противовеса.



В тех мостах Шерцера, в которых откатывание происходит о нижнему поясу ферм, последние в закрытом состоянии моста опираются прикрепленной к нижнему поясу отливкой (дугой откатывания),—на балки катания.

Опора может быть плоской (Екатерингофский мост, фиг. 323), зубчатой (фиг. 347) или шаровой (фиг. 316).

Во избежание случайного опрокидывания крыла, можно поставить предохранительную опорную часть (фиг. 323, Екатерингофский мост), что, впрочем, связано с удалением оси вращения от лицевой грани быка или устоя.

Наилучшим типом следует признать опору шаровую.

В системах с отдельными секторами, фермы в закрытом положении разводной части опираются на отдельные опорные части (фиг. 314).

Соответствующим устройством хвостовых замков можно достигнуть разгрузки секторов откатывания в закрытом состоянии моста подобно тому, как разгружается ось вращения в других раскрывающихся системах.

Отрицательные опоры располагаются на конце хвостовой части ферм, для чего последняя снижается с таким расчетом, чтобы возможно было поместить опорные балки (заанкеренные) нужной высоты.

Фермы мостов системы Шерцера можно сделать и как арочные фермы, устраивая опоры и средний замок в виде шарниров.

Интересный пример такого устройства представляет собой проект под девизом «Епта», составленный для конкурса на постройку моста в Роттердаме в 1925 г.¹ Фасад и план моста приведены на фиг. 318, детали пятового шарнира—на фиг. 319.

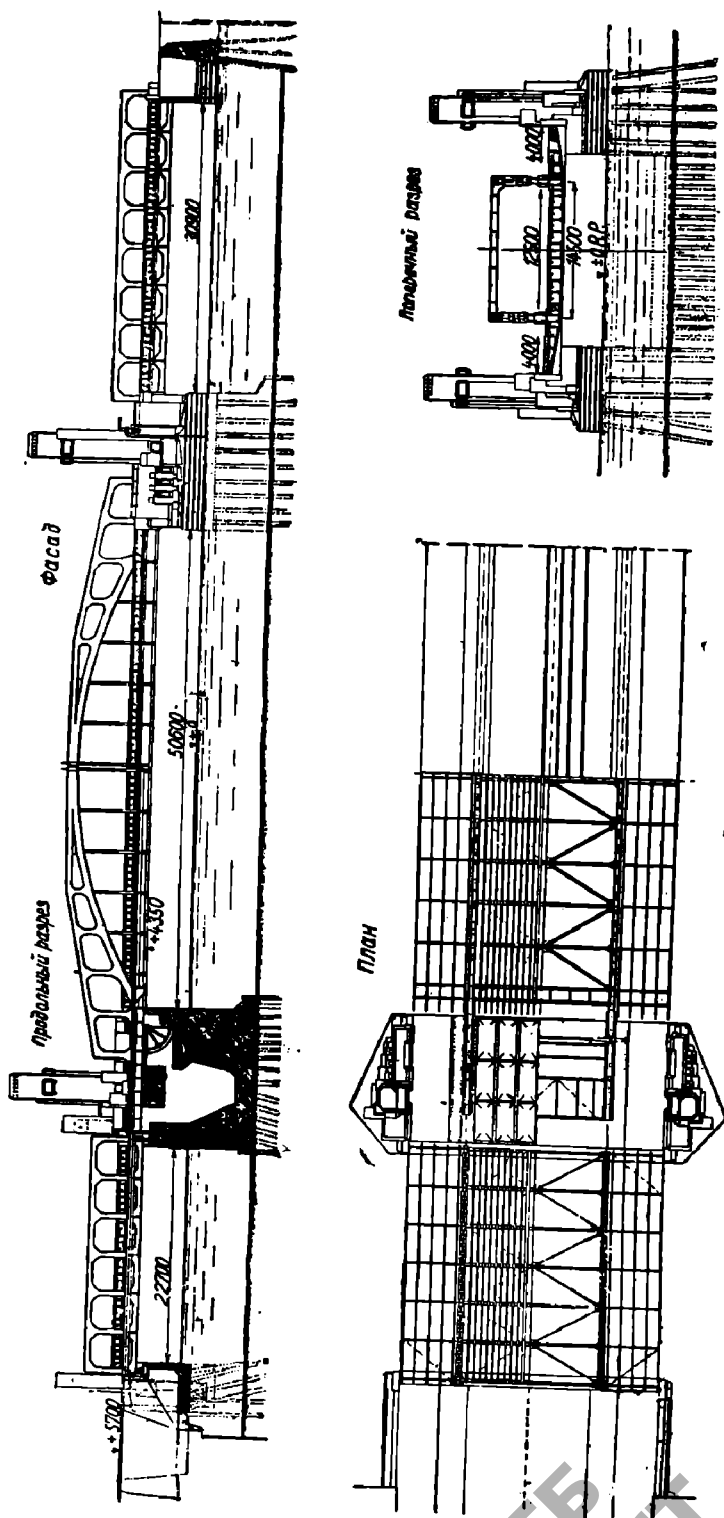
Другой пример пятового шарнира показан на фиг. 320. Пример взят из другого проекта (под девизом «Dreigelenkbogen»), представленного на тот же конкурс. Общий вид моста по этому проекту представлен на фиг. 321.²

В существующих мостах Шерцера с ездой понизу (однокрылых) хвостовые замки обычно не применяются; устраивается лишь передний замок. Отрицательные опоры в большинстве случаев отсутствуют.

Конструкция замковых механизмов освещена в главе VIII.

62. Размещение противовесов, устройство связей, группировка ферм.

В нешироких мостах вся хвостовая часть пролетного строения конструируется как одно целое. Противовес по ширине соответствует расстоянию между крайними фермами, связи ставятся между всеми фермами, а сектора отката



Фиг. 318.

¹ Bauingenieur, 1928, N. 3.

² Оба примера относятся собственно к мостам системы Шерцера с ездой понизу, но аналогичное устройство опорных частей, разумеется, возможно и при езде поверху.

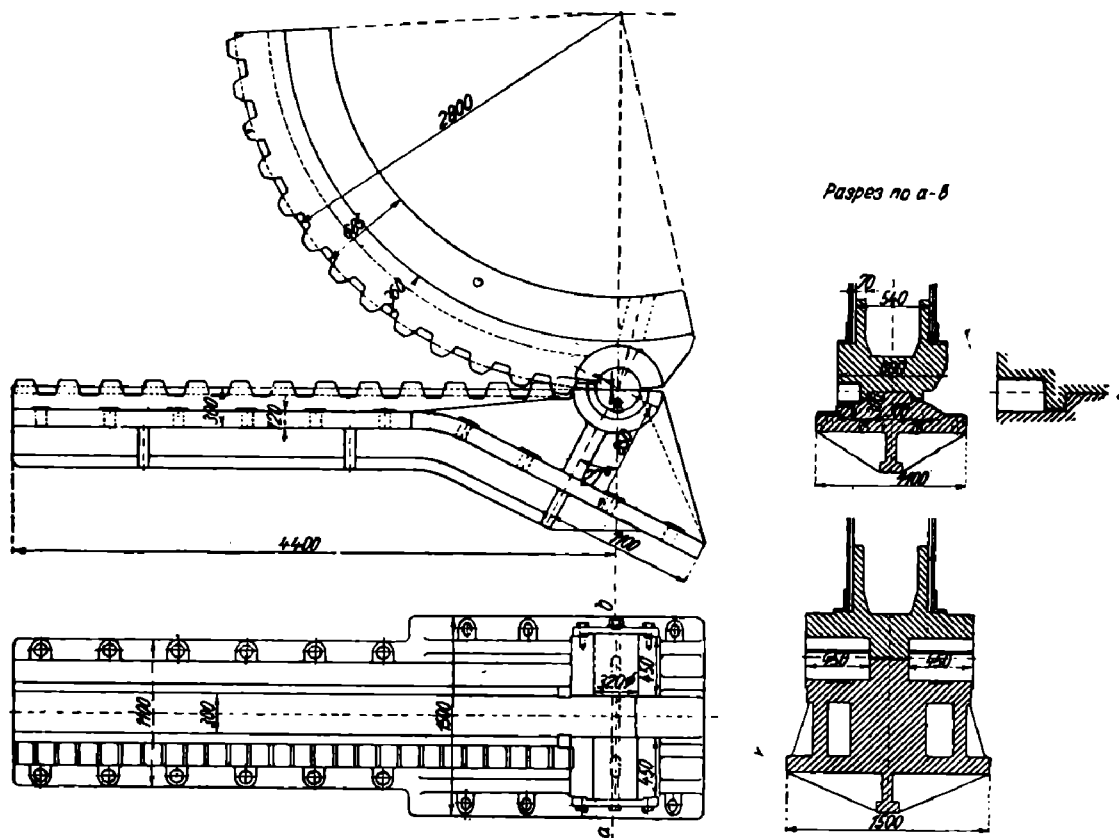
11 Курс разводных мостов.

тывания, тяги или зубчатые неподвижные рейки механизмов движения располагаются по обеим сторонам всего пролетного строения (фиг. 314).

Балки проезжей части, перекрывающие колодец, могут в этом случае иметь опоры лишь по боковым стенкам одного довольно широкого колодца.

Если ширина полотна более или менее значительна, то подобная описанной конструкция становится нерациональной. Приходится подумать о том, чтобы увеличить число секторов, тяг и т. п. для уменьшения нагрузки на них и о том, чтобы дать дополнительные опоры балкам проезжей части над колодцем. Поставленные задачи легко разрешаются делением пролетного строения в хвостовой части на группы по две или по три фермы в каждой группе. Отдельный агрегат снабжается всем необходимым: устраиваются для него два сектора (в системах с секторами откатывания), для движения—даются две тяги, или ставятся две неподвижные зубчатые рейки и т. д.

Между группами ферм остаются стенки, на которые и опираются секторы, зубчатые рейки и балки, перекрывающие ряд колодцев.



Фиг. 319.

Нижние связи остаются лишь между фермами, соединенными в группы.

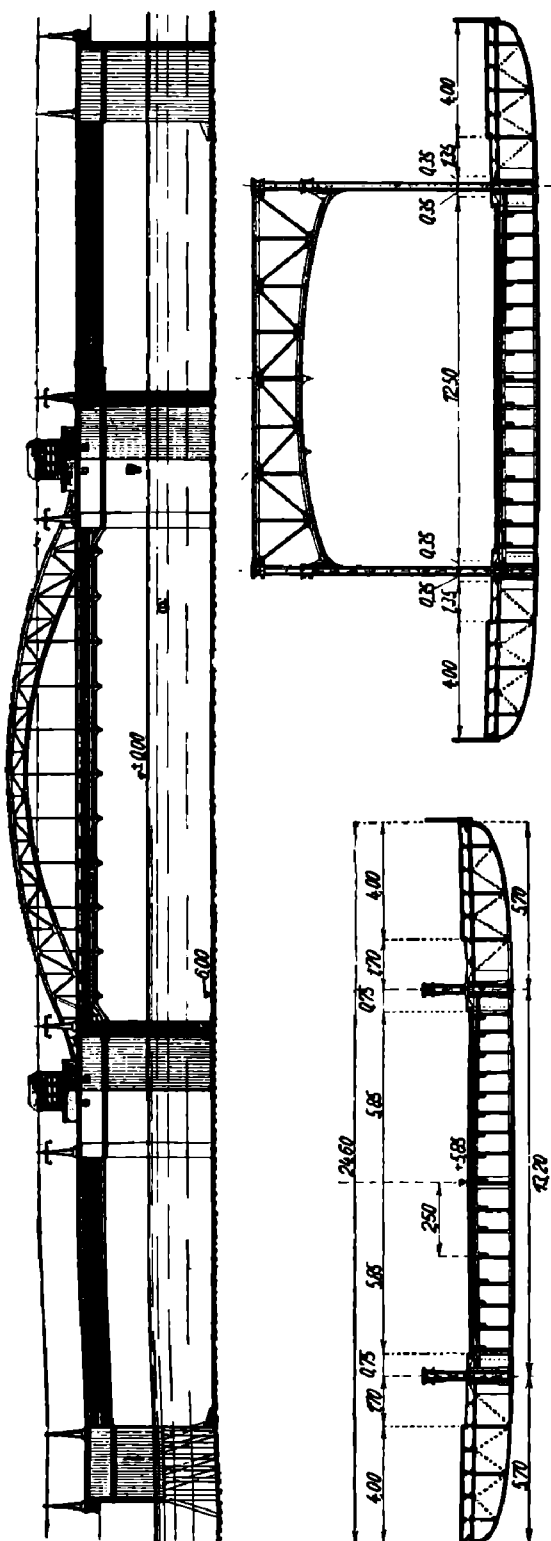
Что же касается противовесов, то их тоже приходится разделять на отдельные самостоятельные части. Впрочем в системах с откатыванием по нижнему поясу ферм при соблюдении некоторых условий возможно, даже при очень большой ширине моста, дать противовес общий для всех ферм.

Примером такой конструкции может служить Екатеринбургский мост в Ленинграде (фиг. 322 и 323).

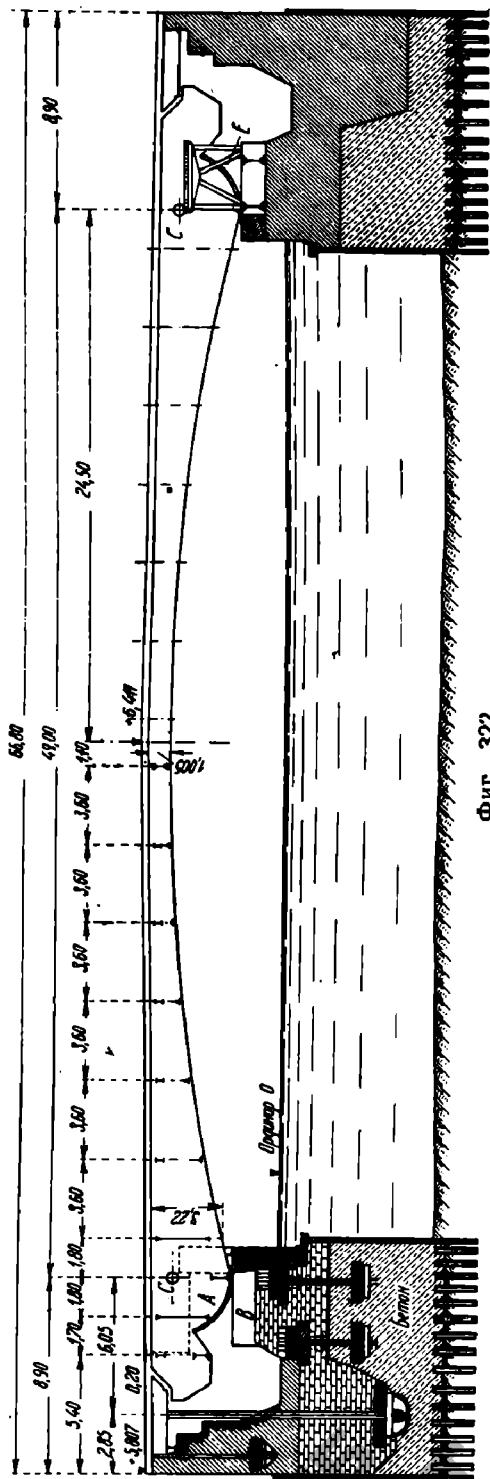
Фермы этого моста сгруппированы по две, и по бокам каждой группы поставлены клепаные станины, на которые уложены зубчатые рейки, составляющие часть механизмов движения. Моторы, приводящие систему в движение, находятся на пролетном строении. Стык полотна подвижной и неподвижной частью отодвинут на самый конец хвоста. Балка отрицательной опоры и небольшой участок полотна поддерживается консольными балочками, солидно заанкеренными и опирающимися на заднюю стенку колодца, что и позволяет дать противовес во всю ширину моста.

То же самое можно было бы сделать и в типе с отдельными секторами, но при условии сохранения такого очертания нижнего пояса, при котором противовес не заходил

Чтобы откатывание было возможно, необходимо путь откатывания расположить выше полотна моста или на одном уровне с ним.



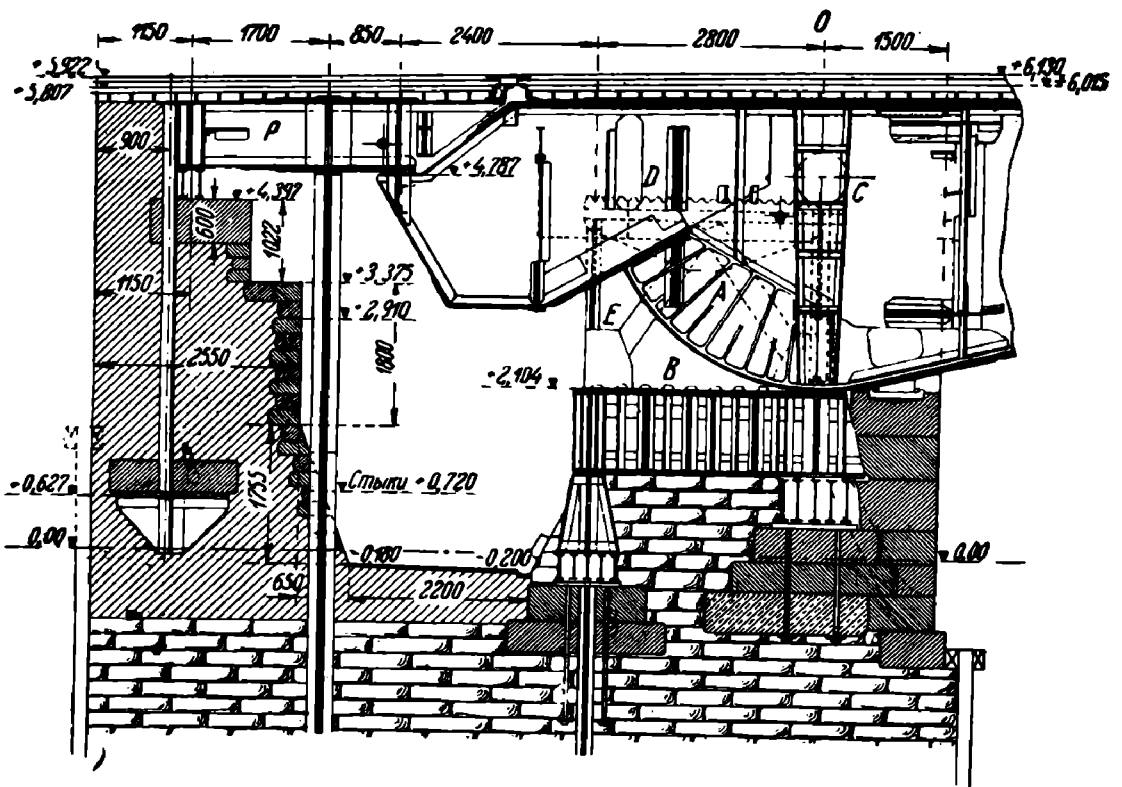
Фиг. 321.



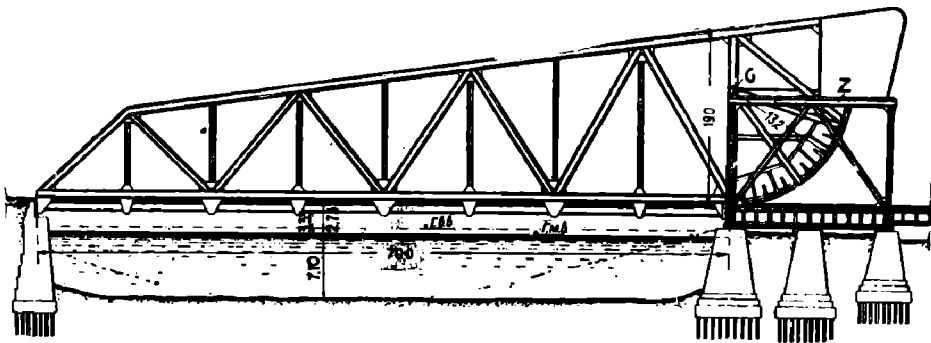
Фиг. 322.

Достигнуть этого можно двумя способами:

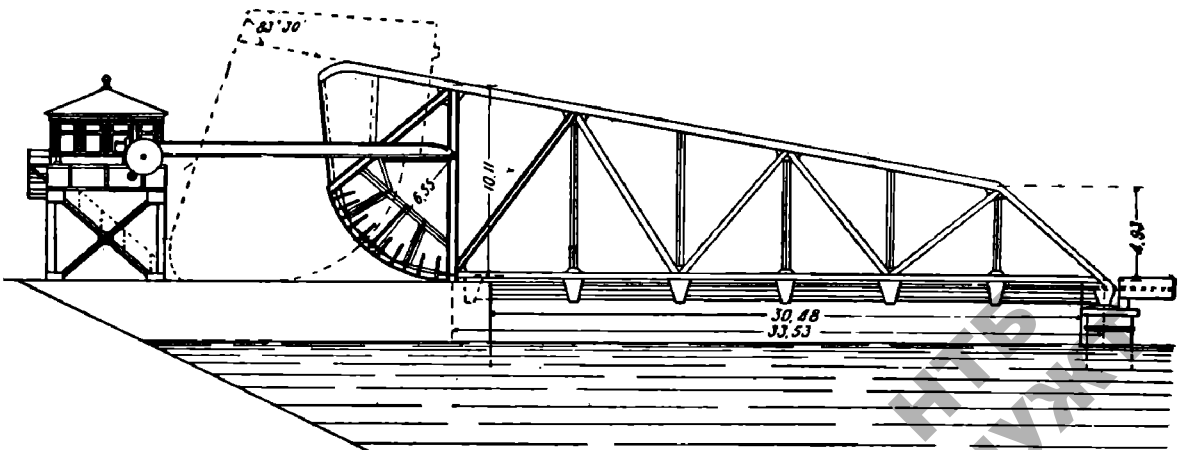
1) опустить низ поперечных балок, подвесив их при помощи фасонки к ферме, с таким расчетом, чтобы полотно моста оказалось на высоте нижнего пояса ферм (фиг. 324, 325);



Фиг. 323.



Фиг. 324.



Фиг. 325.

2) поднять дугу откатывания, соответственно видоизменив схему решетки ферм (фиг. 326).

Указанные способы аналогичны тем, которые применяются в мостах системы Штрауса с двумя осями вращения (§ 25). Так как центр тяжести всей системы



Фиг. 326.

должен совпадать с центром дуги откатывания, то противовес приходится располагать довольно высоко; иначе пришлось бы уменьшать радиус дуги откатывания, что, как было указано выше, нежелательно.

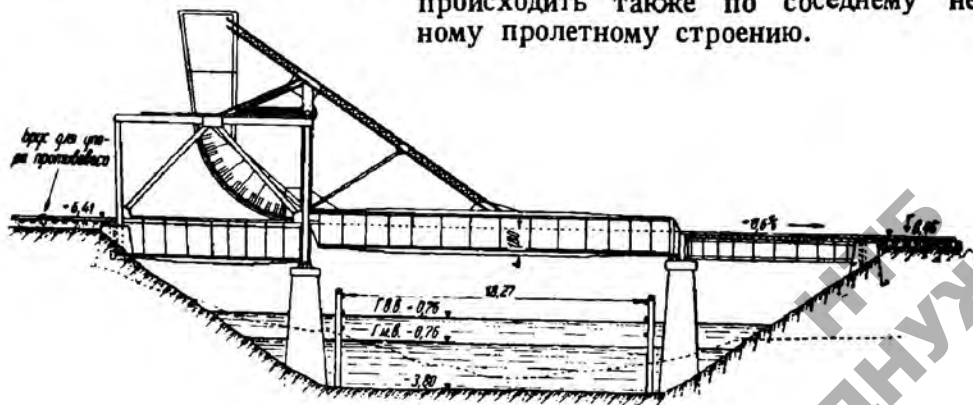
В связи с необходимым положением противовеса фермам придается соответствующее очертание: или с постепенным увеличением высоты к хвостовой части (фиг. 324, 325) или (по фиг. 326) с параллельными поясами и резким увеличением высоты к противовесу.

Небольшие пролеты уместно перекрывать фермами со сплошной стенкой. Для устройства дуги откатывания и для прикрепления противовеса в таких случаях дается система стержней, увязанных в геометрически неизменяемую решетку (фиг. 327).

Противовесы мостов Шерцера с ездой понизу, ввиду наличия свободного места, часто делают бетонными. Подклинка противовесов обычно отсутствует; применяются лишь замковые приспособления на пе-

реднем конце пролетного строения. В двукрылых мостах обязательны отрицательные опоры.

Балки откатывания опираются или на сплошной каменный массив (фиг. 325, 326) или на отдельные опоры (фиг. 324, 327). Откатывание разводной части может происходить также по соседнему неподвижному пролетному строению.



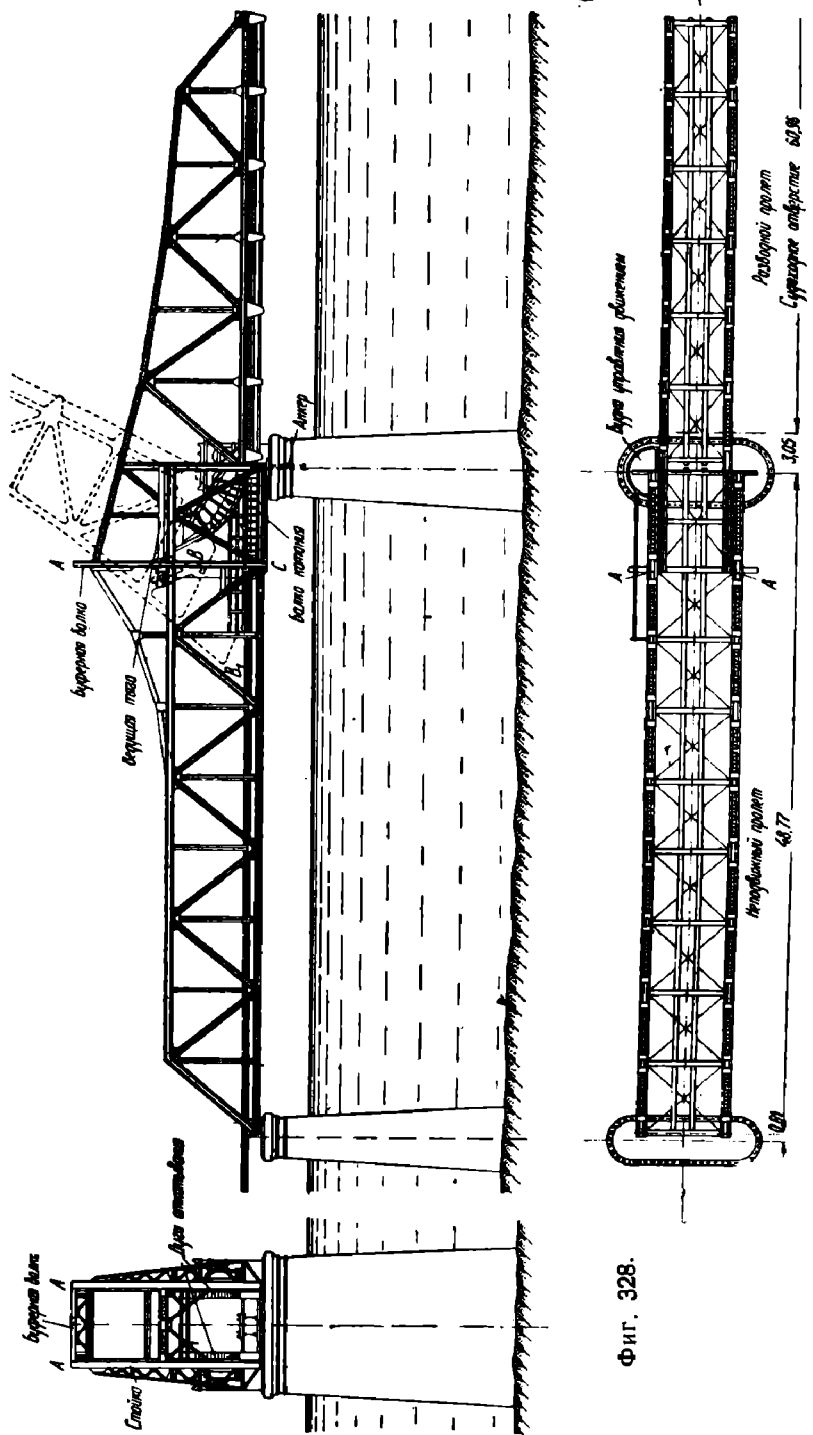
Фиг. 327.

Пример такой конструкции дан на фиг. 328, изображающей мост через р. Ngawan на Bugma Railways с двукрылой разводной частью системы Шерцера.

Как видно из фиг. 328, расстояние между осями ферм в разводном пролете меньше, чем в пролетах неподвижных. В первой, считая от средних быков, панели неподвижных пролетов в проезжую часть включены балки откатывания. Стойки АС удлинены на достаточную величину, соединены наверху солидной распоркой, в которую упираются фермы разводного пролета (отрицательные опоры). Сбоку стойки АС усилены дополнительными элементами. Эти стойки вместе с распоркой и поперечной балкой образуют опорную раму ферм неподвижного пролета. Верхние связи поднимаются, начиная от середины пролета, к точке А, где и заканчиваются. Ближайшая к разводному пролету панель верхних связей не имеет.

Опоры ферм неподвижных пролетов на средних быках снабжены анкерными креплениями.

Перемещение разводного пролета производится шестерней, зацепляющей за прикрепленную к фермам неподвижного пролета зубчатую рейку. Моторы находятся на движущейся части, а управление движением сосредоточено в помещении механика, находящемся на быке, (фиг. 328).



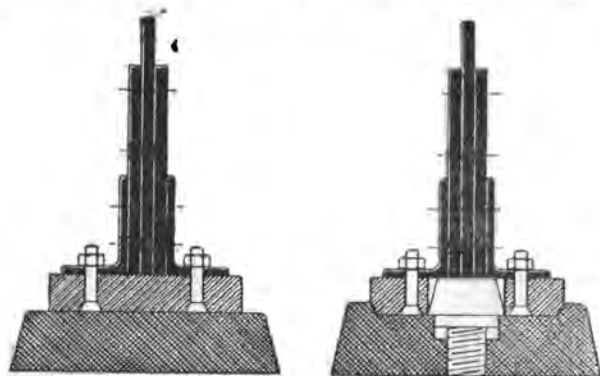
Фиг. 328.

§ 28. ДЕТАЛИ ПРИКРЕПЛЕНИЯ ДУГИ ОТКАТЫВАНИЯ К НИЖНЕМУ ПОЯСУ ФЕРМ В МОСТАХ СИСТЕМЫ ШЕРЦЕРА

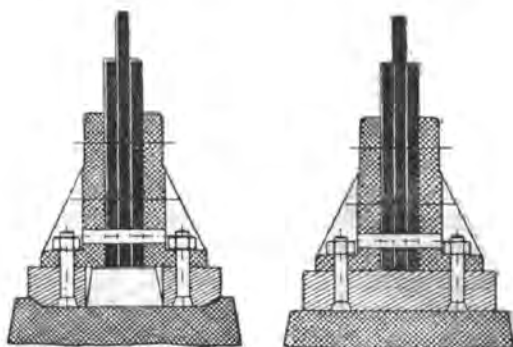
64. Из деталей мостов системы Шерцера следует остановиться на конструкции прикрепления дуги откатывания к нижнему поясу ферм.

В первых по времени мостах этой системы дуга откатывания была приболчена к уголкам нижнего пояса (фиг. 329). Подобная конструкция, конечно, совершенно неудовлетворительна и действительно в целом ряде мостов, имевших дугу откатывания по фиг. 329, обнаружены были трещины в поясных уголках.

Построенный в 1901 г. двукрылый разводной мост системы Шерцера на Tailor Street, в Чикаго, в 1905 г. потребовал ремонта, т. к. нижние полки поясных уголков, к которым была прикреплена зубчатая дуга, отделились от вертикальных полок (фиг. 332). Подобные же разрушения произошли в мосту через Newton Creek в Нью-Йорке, через шлюз Ruige-Plaat в Роттердаме и т. д.



Фиг. 329.



Фиг. 330.

Более солидная конструкция, в виде литых уголков с ребрами дана на фиг. 330. При коробчатом нижнем поясе подходящим типом прикрепления можно считать устройство по фиг. 331.

Еще лучшее решение—переход к системе с отдельным сектором.

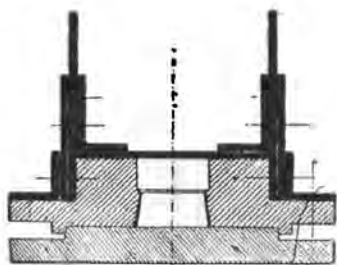
Конструкция сектора ясна из приведенных примеров (фиг. 314).

§ 29. МЕХАНИЗМ ДВИЖЕНИЯ МОСТОВ СИСТЕМЫ ШЕРЦЕРА

65. Наиболее употребительны два способа приведения пролетных строений мостов системы Шерцера в движение. Первый заключается в том, что к фермам шарнирно прикрепляется зубчатая тяга, соединенная с шестерней, приводимой во вращение двигателем. Двигатель и лебедка при этом способе находятся на



Фиг. 332.



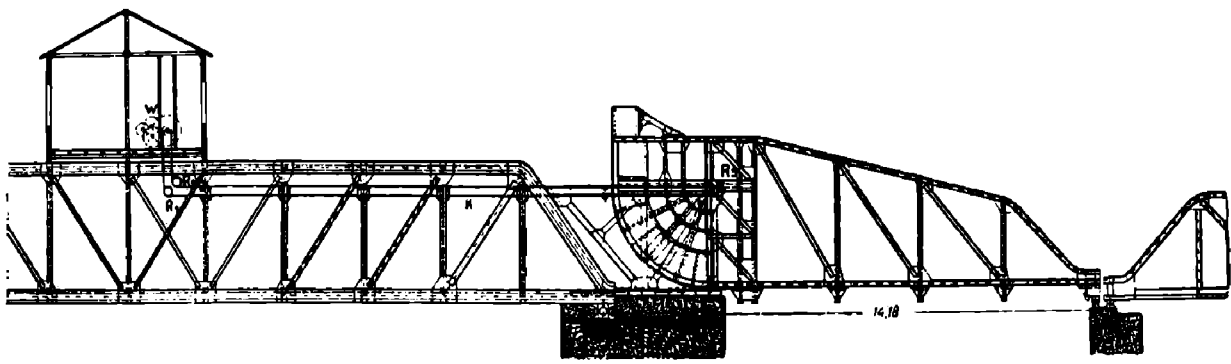
Фиг. 331.

неподвижных частях моста—на быке, устое или на соседнем пролетном строении (фиг. 314, 316 и 325).

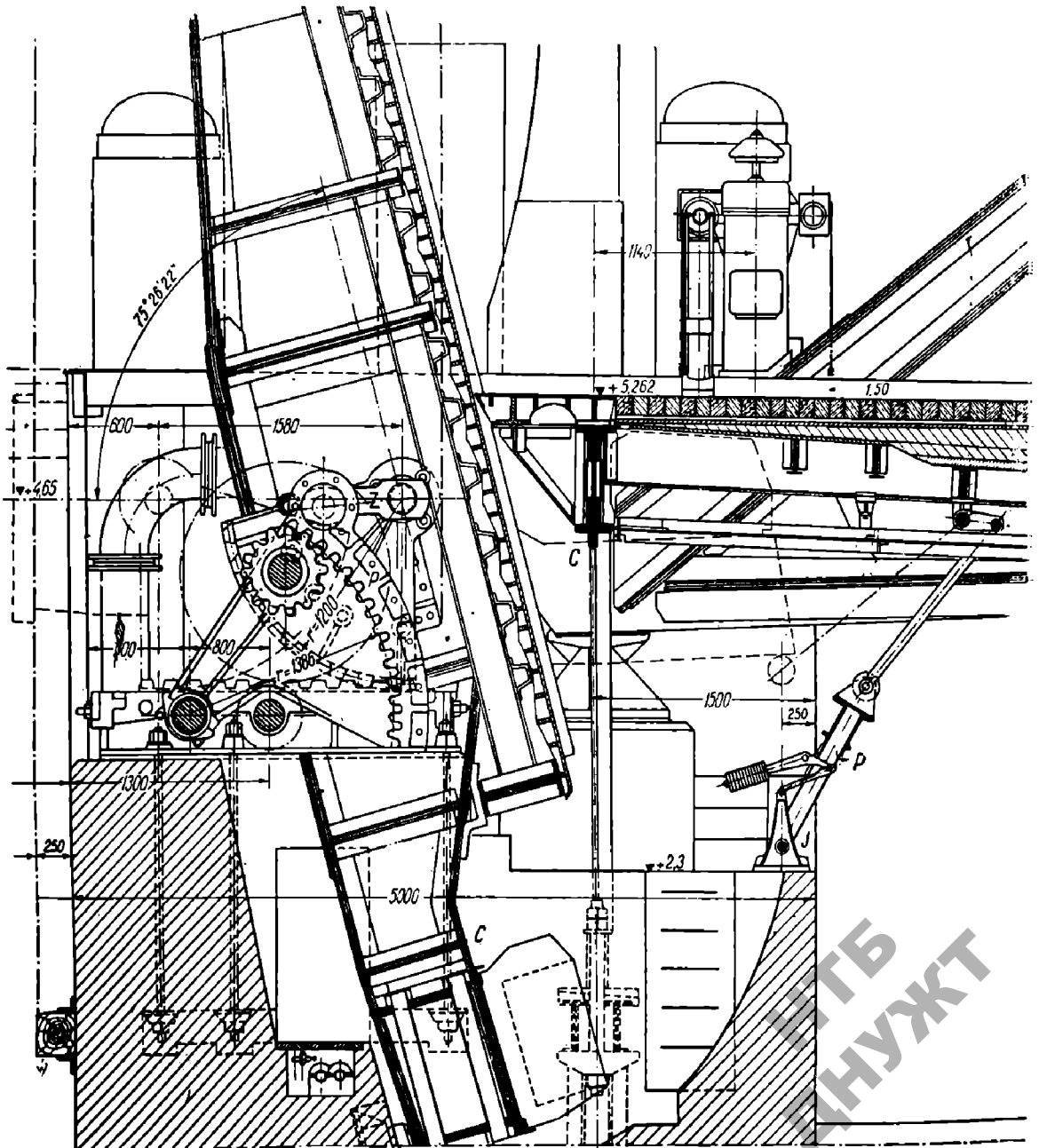
Рейка прижимается к шестерне двумя роликами (фиг. 316).

Тяга может быть заменена гибкой передачей. Пример: мост через Delftschaven-Schie в Роттердаме (фиг. 333).

При втором способе—двигатель помещается на движущейся части, между фермами разводного пролета и вращает, через систему зубчатых колес, шестерню. Шестерня движется по неподвижной зубчатой рейке, уложенной на специальных, поставленных рядом с фермами разводного пролета, балках (фиг. 315, 323, 325, 327, 328).

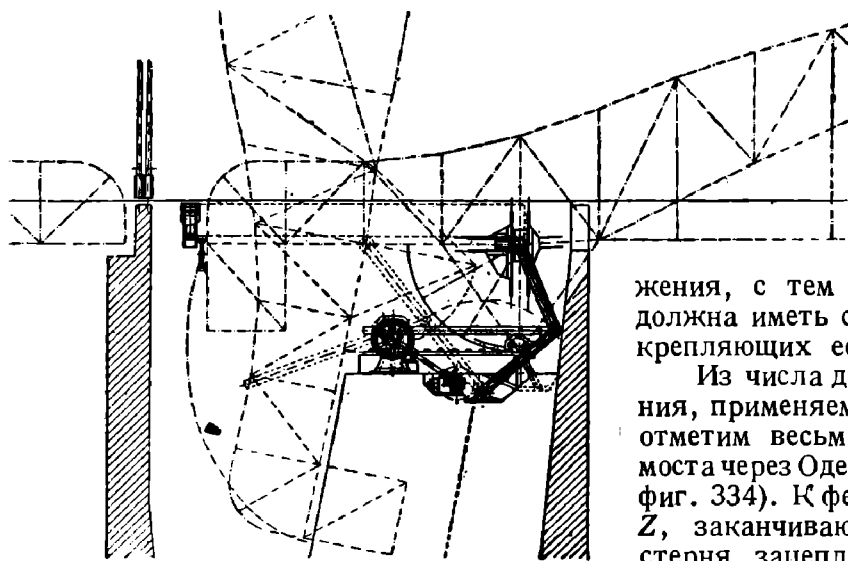


Фиг. 333.



Фиг. 334.

Шарнир тяги, входящий в состав механизма движения мостов Шерцера, конструируется в виде недлиной оси, приболченной фланцами к ферме. Другой конец



Фиг. 335.

оси закрепляется или в соседней ферме или в продольной балке, специально для этого приспособленной (фиг. 314 с, 348).

Также устраивается прикрепление оси шестерни при втором типе механизмов дви-

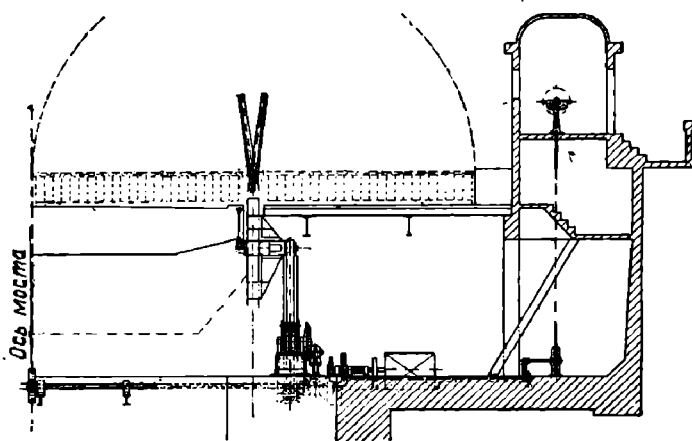
жения, с тем лишь отличием, что ось должна иметь свободу вращения в прикрепляющих ее фланцах.

Из числа других механизмов вращения, применяемых в системе Шерцера, отметим весьма компактный механизм моста через Одер в Штетине (Ваumbgücke, фиг. 334). К фермам прикреплены тяги Z, заканчивающиеся шестерней. Шестерня зацепляет за зубчатый сектор R, с зубцами на внутренней стороне дуги, который двигателем приводится

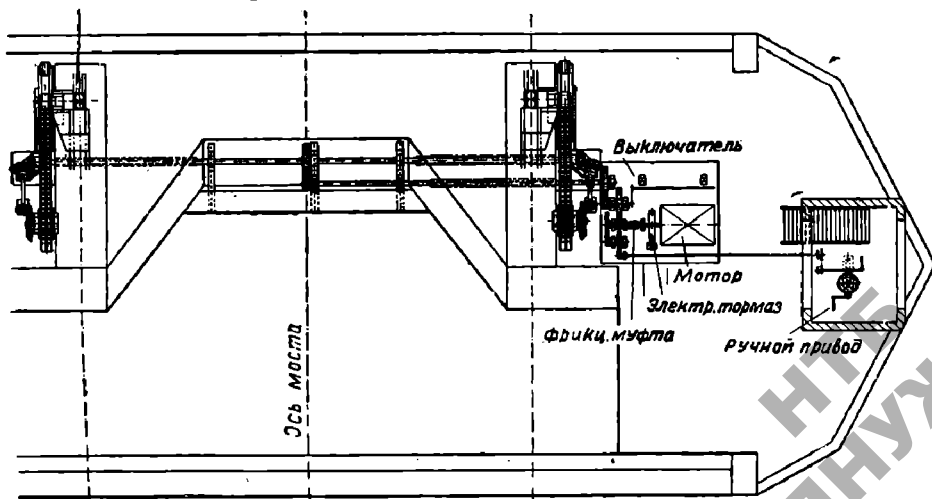
во вращение вокруг точки O. В новейшее время предложены механизмы, осуществляющие переменную скорость движения крыла. Путь, которому соответствуют большие сопротивления движению, проходится с меньшей скоростью; на участках с малыми сопротивлениями скорость возрастает. В результате достигается более равномерная работа двигателя, исчезает перегрузка.

К числу таких механизмов относится система Циммермана, принятая, между прочим, в уже упоминавшемся конкурсном проекте Роттердамского моста под девизом «Dreigelenkbogen» (фиг. 321).

Механизм состоит из трехшарнирного коленчатого рыча-



Фиг. 336.



Фиг. 337.

га (фиг. 335, 336 и 337). Нижний шарнир неподвижен, верхний соединен с пролетным строением в его центре тяжести, а к среднему прикладывается при помощи зубчатой штанги движущая сила. Штанга соединена с шестерней, приводимой во вращение валом. Вал общий для обеих ферм.

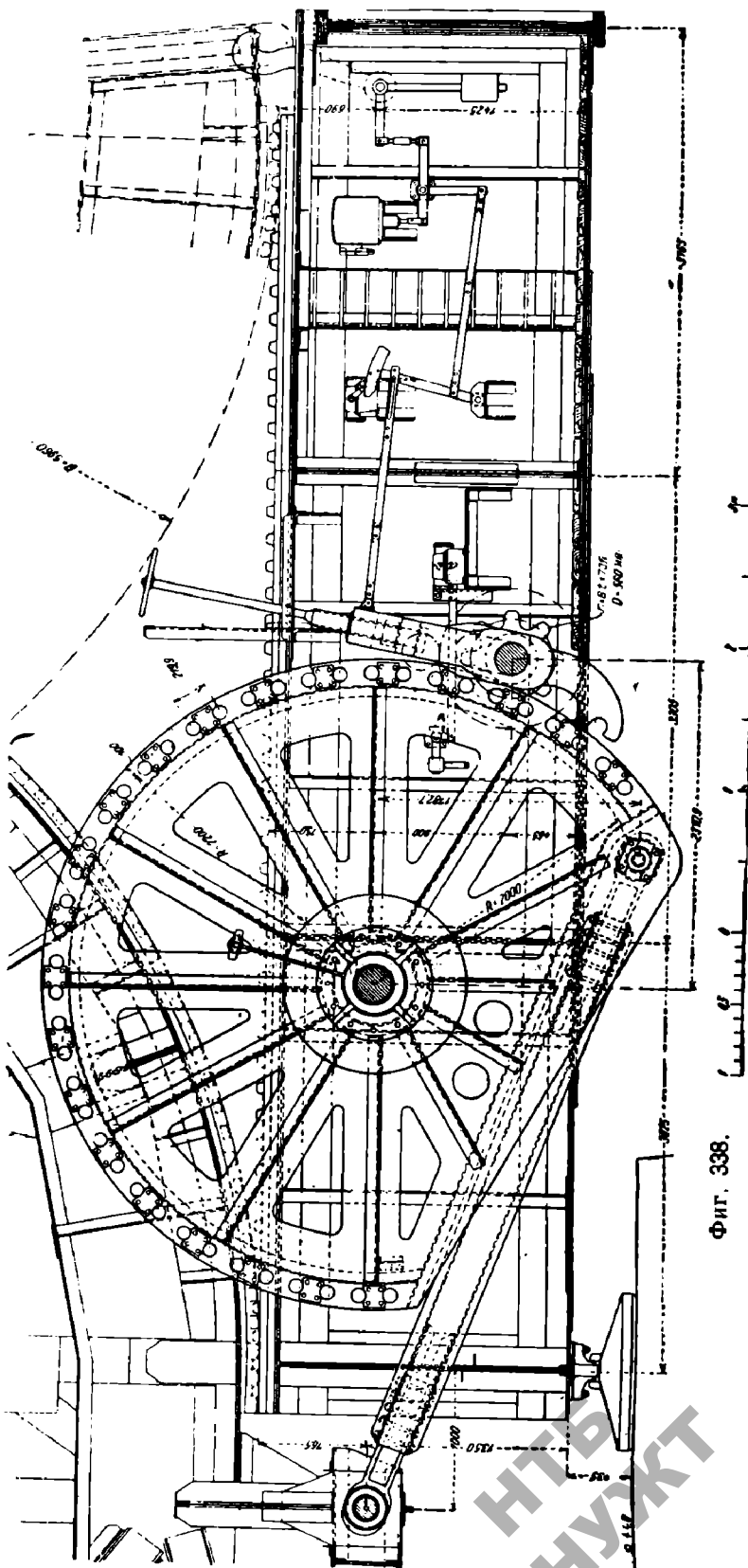
К той же группе механизмов относится система, осуществленная в мосту через Эмс в Weener (1926 г., фиг. 338—340). К нижнему поясу фермы шарнирно прикреплена штанга, которая другим концом тоже шарнирно соединена с сидящим на неподвижной оси кругом. Вращение круга, осуществляемое мотором через систему зубчатых колес, заставляет откатываться пролетное строение. При этом изменяется момент, приложенный к пролетному строению. На фиг. 341 даны сравнительные характеристики движения для механизма обычного типа и механизма только что описанного.

Детали конструкции механизма см. Zentralblad der Bauverwaltung, 1926 г., № 48.

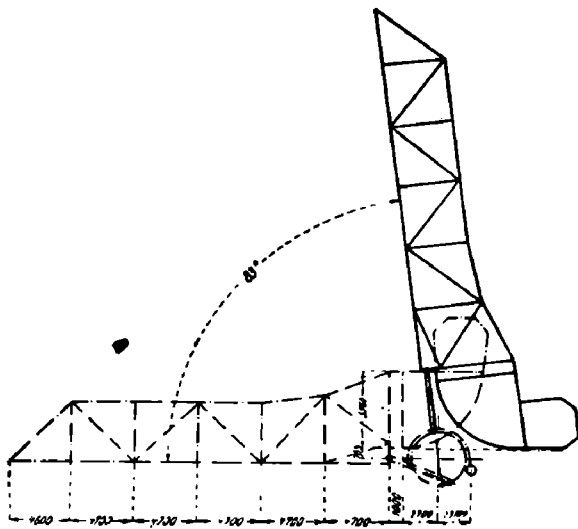
§ 30. ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИИ РАЗВОДНЫХ МОСТОВ СИСТЕМЫ ШЕРЦЕРА

66. Ганзейский мост в Штетине (1903 г.). Этот мост является одним из первых мостов с разводной частью системы Шерцера с литыми секторами. Представление об общем виде моста дает фиг. 342. Разводной пролет имеет 18,0 м в свету. Другие данные о размерах разводной части приведены в таблице III (см. приложение).

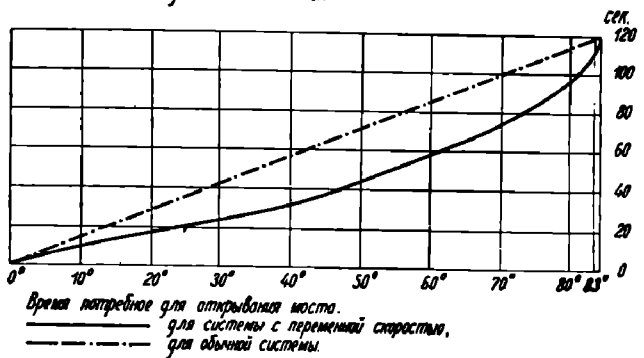
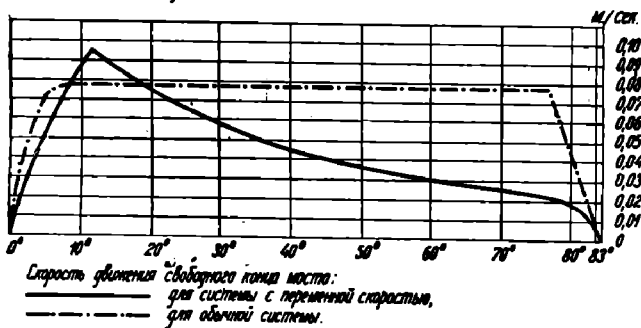
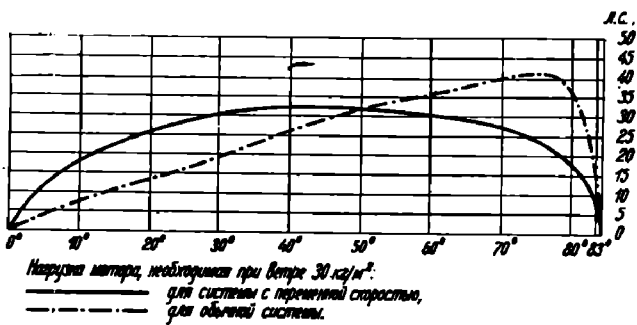
Разводная часть—двукрылая. Каждое крыло имеет по 4 фермы. Фермы в хвостовой части соединены попарно. Расстояние между осями ферм, соединенных вместе, 2,85 м, между осями средних ферм—2,50 м (фиг. 345).



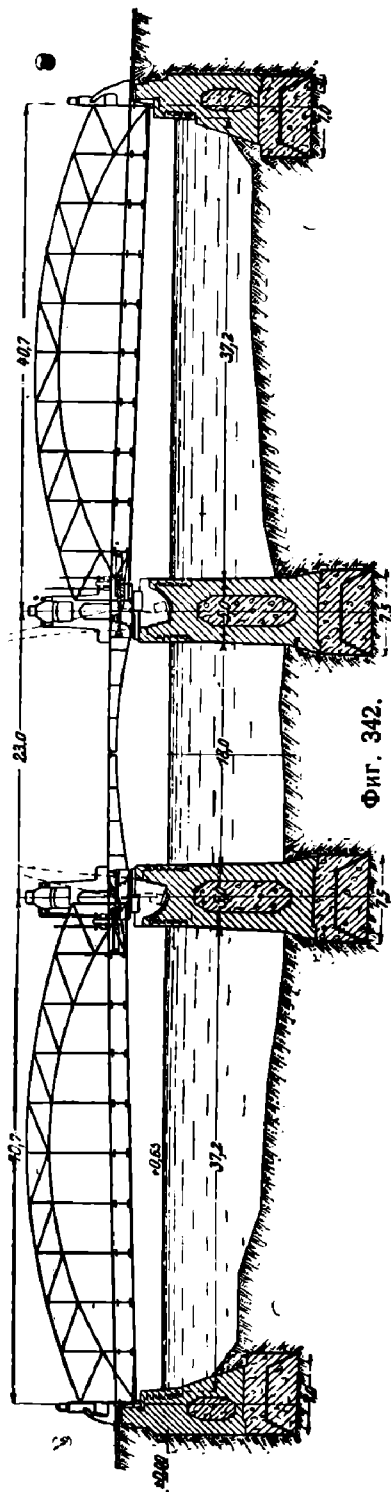
Фиг. 338.



Фиг. 340.



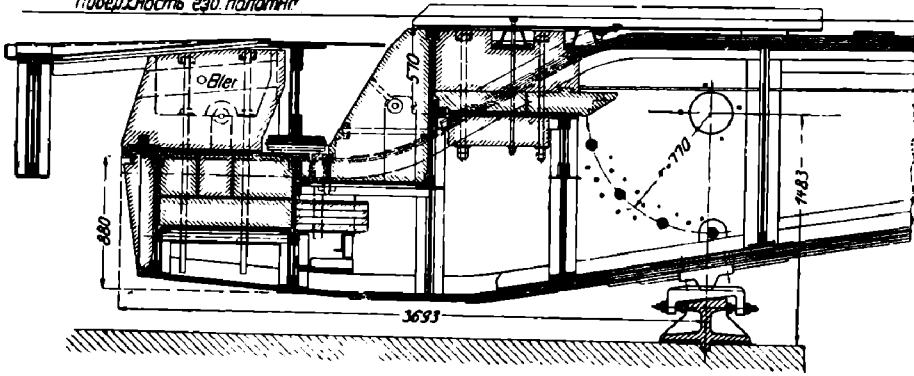
Фиг. 341.



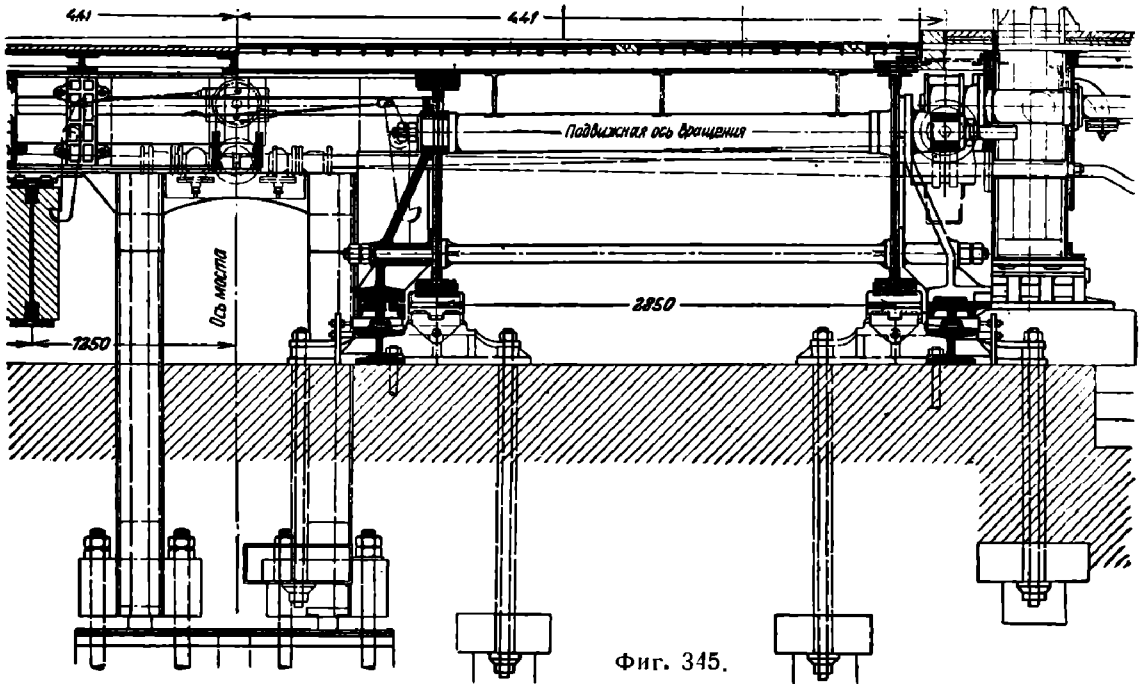
Фиг. 342.

НТБ
ДНУЖТ

Поверхность гэд. полотно

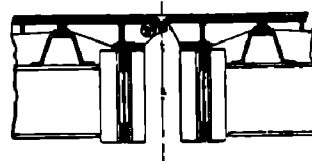


Фиг. 344.

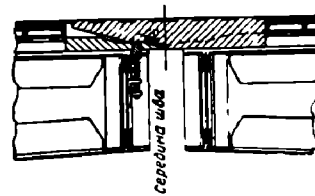


Фиг. 345.

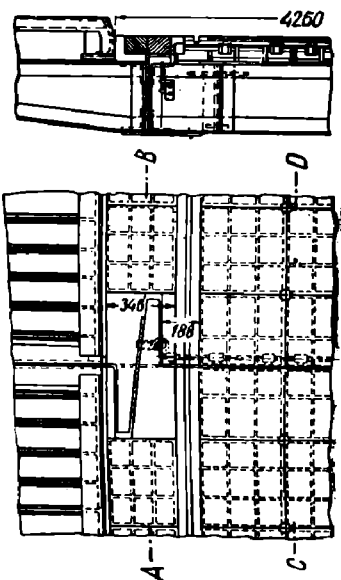
Разрез по С-Д.



Разрез по А-В

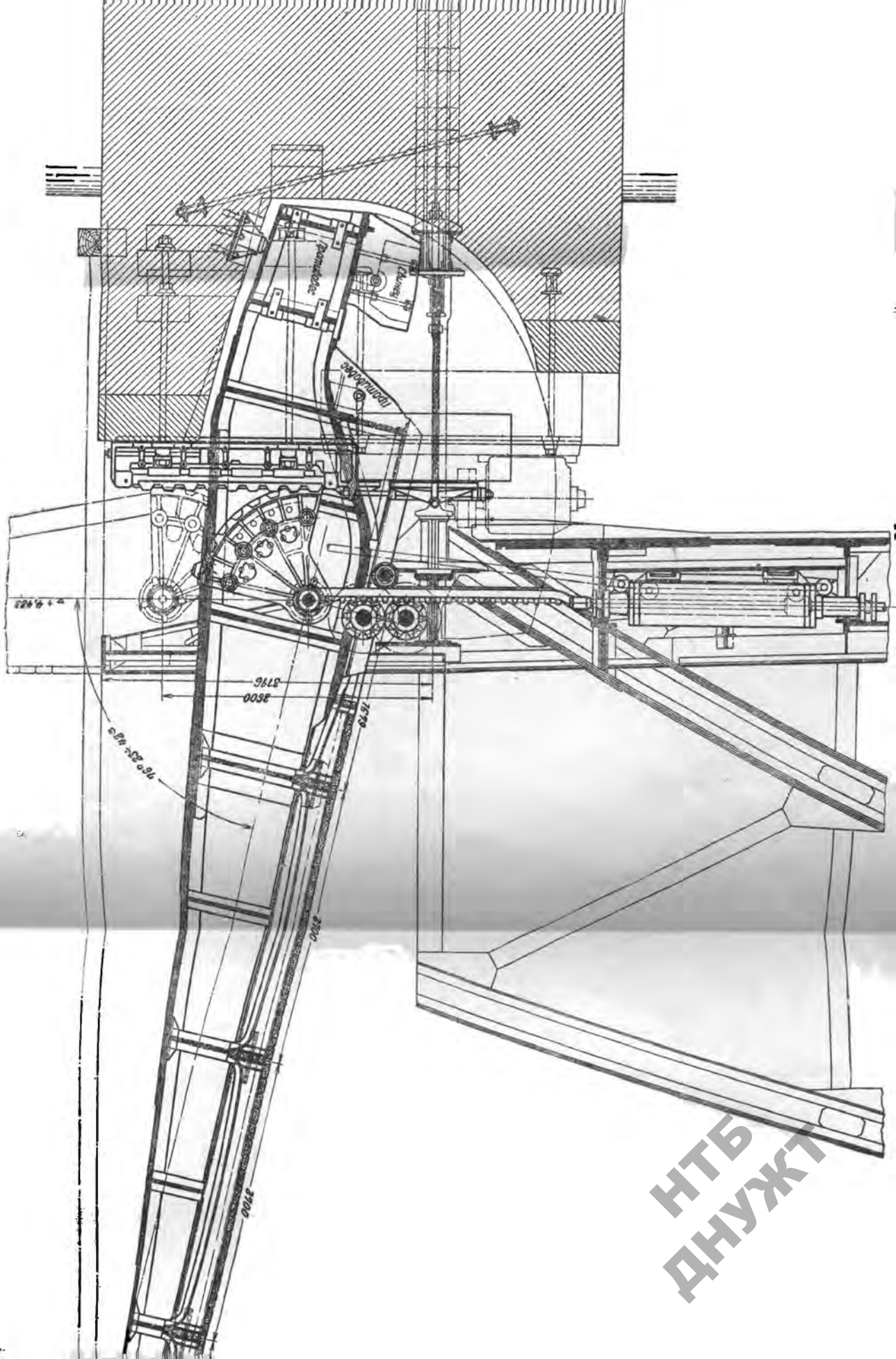


Фиг. 346b.



Фиг. 346a.

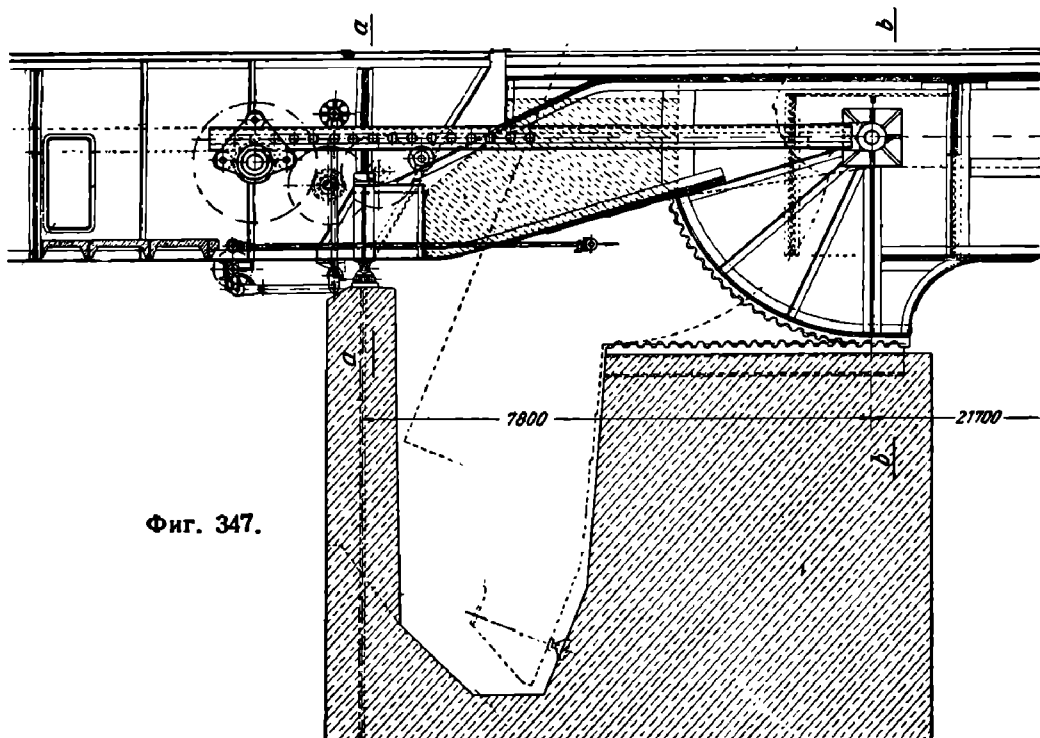
НТБ
ДНУЖТ



НТБ
ДНУЖТ

естве примера фиг. 314 с) с ребрами, что значительно упрощает отливку и делает ненужными длинные сквозные болты.

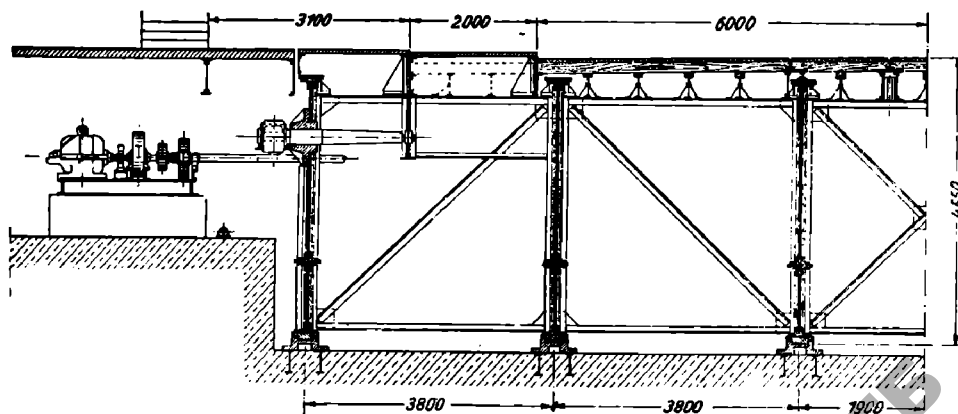
Точно так же взамен длинного сквозного вала применены в позднейших проектах короткие оси, закрепленные в специальных балках (фиг. 314 а, б, с).



Фиг. 347.

В закрытом состоянии фермы Ганзейского моста опираются на положительные и отрицательные опоры. Последние представляют собой стальные подушки, прикрепленные к опорной поперечной балке неподвижного пролета (фиг. 344). Вследствие этого фермы неподвижного пролета имеют анкерные закрепления на опорах (фиг. 343).

Хвостовые замки (фиг. 345) примитивного устройства—в виде крючков, захватывающих за соответствующие углубления в противовесе. Подъем хвостовой части замками такой конструкции невозможен—в этом и заключается их недостаток. Постоянная нагрузка передается, следовательно, и в закрытом состоянии моста через эксцентрика. Более совершенные типы хвостовых замков даны в главе VIII.



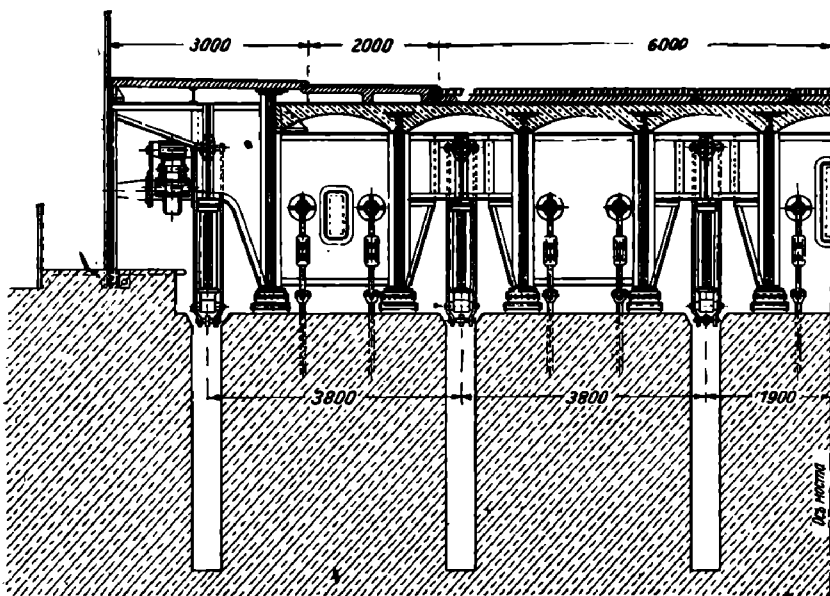
Фиг. 348.

Посредине пролета крылья соединяются средними замками пальцевого типа также примитивной формы (фиг. 346).

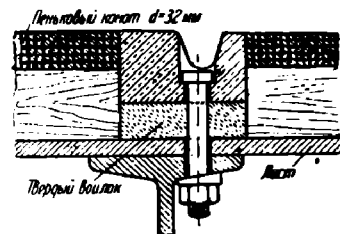
Противовес—чугунный, заключен в железную коробку. Часть противовеса помещена над фермами (фиг. 343, 344). Оставлен вырез для балки отрицательных опор.

Пути откатывания—стальные зубчатые отливки, составленные из двух частей (фиг. 345).

Каждое крыло приводится в движение двумя электромоторами в 27/35 л. с., передающих вращающий момент через систему зубчатых колес шестерням, зацепляющим за зубчатые тяги, прикрепленные к пролетному строению. Электромоторы расположены по обеим сторонам пролетного строения, и все механическое, связанное с ними оборудование симметрично устроено.

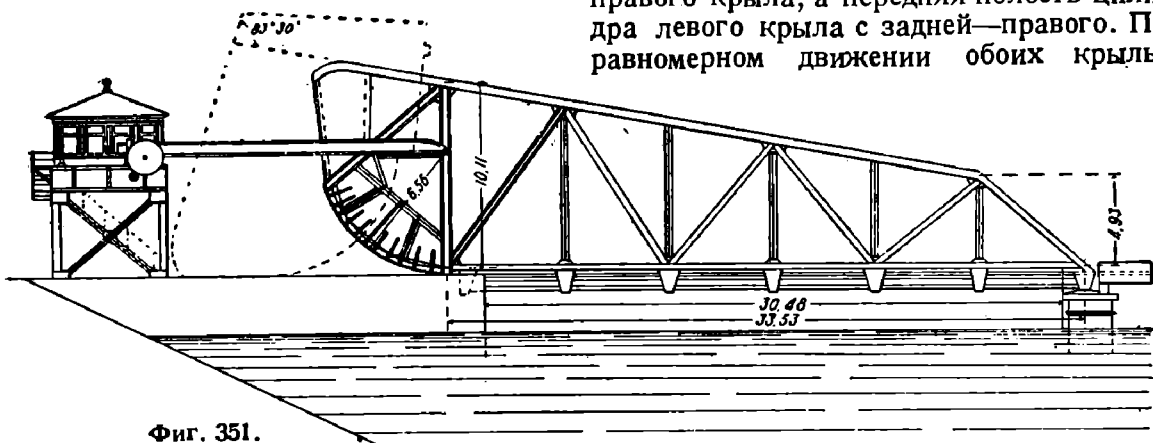


Фиг. 349.



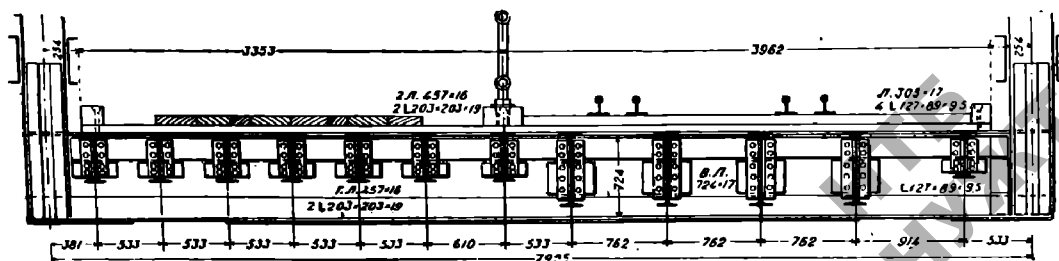
Фиг. 350.

Для регулирования синхронного движения обоих крыльев тяги соединены с поршнями гидравлических цилиндров (фиг. 343). Задняя полость цилиндра левого крыла соединена с передней полостью цилиндра правого крыла, а передняя полость цилиндра левого крыла с задней—правого. При равномерном движении обоих крыльев



Фиг. 351.

жидкость перегоняется из одного цилиндра в другой. Если какое-нибудь крыло отстаёт, то возникает добавочное сопротивление для движения другого крыла, и скорость крыльев выравнивается.



Фиг. 352.

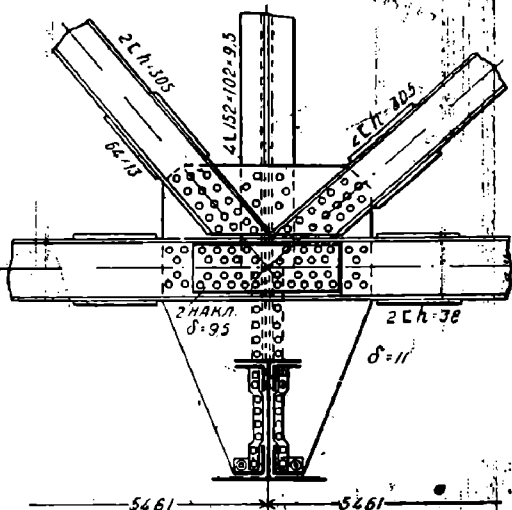
Способ гидравлической синхронизации, примененный в Ганзейском мосту, не получил широкого распространения. В настоящее время более употребительна система электрических контактов.

Кроме электродвигателей в Ганзейском мосту предусмотрено оборудование для вращения вручную, действующее на самостоятельные шестерни.

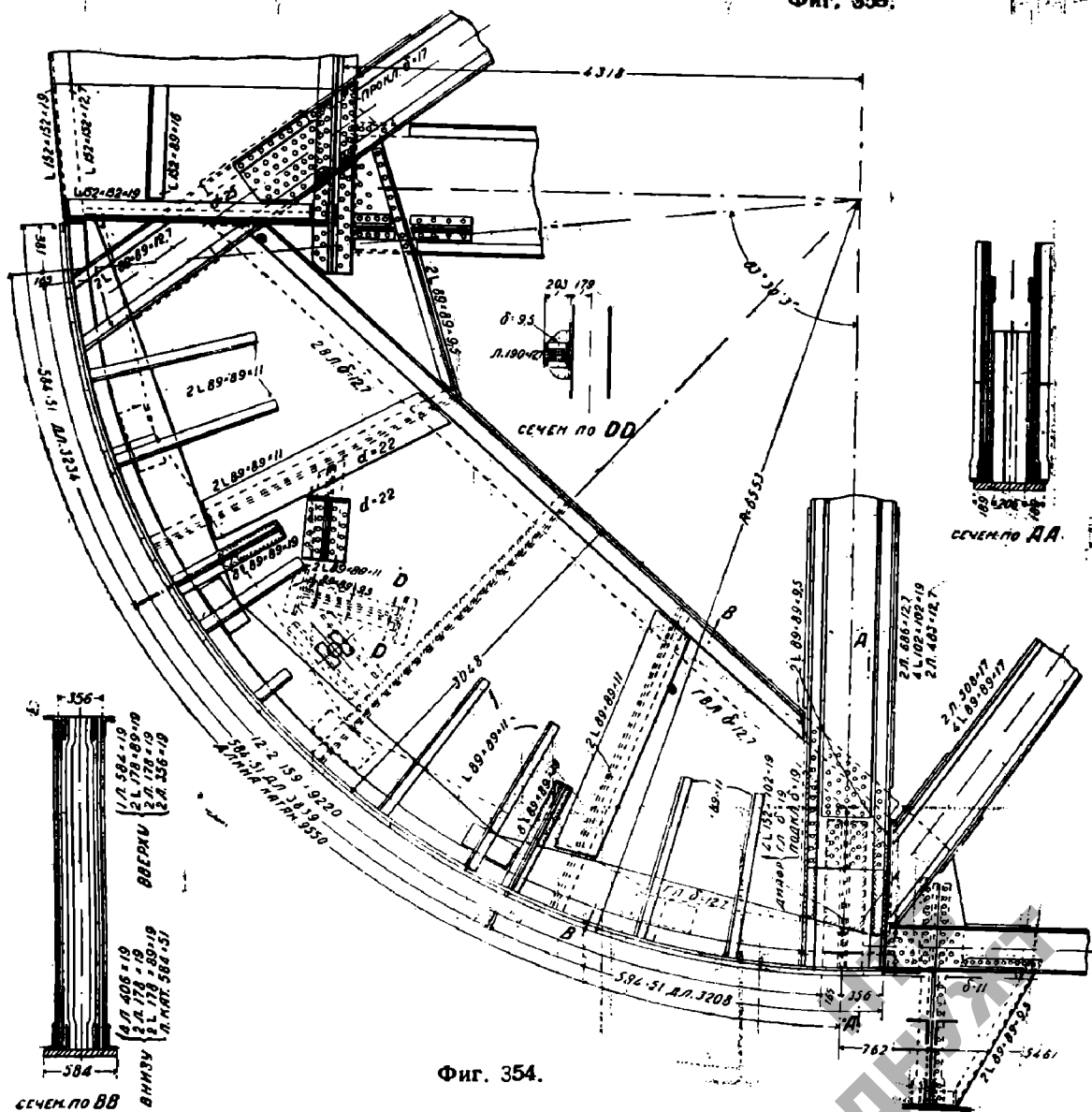
67. Конкурсный проект моста между Seeland и Amager в Копенгагене под девизом: «Den Ige Flugt». Разводная часть — двукрылая, системы Шерцера, с ездой поверху.

Пролет в свету 40 м. Расстояние между опорами ферм — 43,4 м.

Мост предназначен для городского движения. Ширина ездового полотна 12,0 м, тротуары по 3,1 м, дорожки вдоль тротуаров по 2,0 м. Дорожки легко могут быть уничтожены и ширина ездового полотна впоследствии может быть доведена до 16 м. Два пути электрической ж. д.



Фиг. 353.



Фиг. 354.

Мотор для хвостовых замков помещен на широкой части быка. Механизм движения состоит из зубчатой рейки, шестерни и направляющей рамы из трех роликов.

Зубчатая рейка соединена одним концом с короткой осью, прикрепленной к пролетному строению в его центре тяжести. Ось имеет опорами: главную балку и специально поставленную продольную балку (фиг. 348).

Мотор в 60 л. с. находится на неподвижном пролетном строении. Время открывания моста при ветре в 15 к/м^2 — 1 мин.

68. Мост через док Висслеух в Barrow-in-Furness (Англия). Разводная часть моста через док Висслеух с ездой понизу—однокрылая, системы Шерцера.

Расчетный пролет—33,53 м. Мост предназначен для пропуска ж.-д. линии и пешеходного движения. Расстояние между осями ферм 8,0 м.

Схема ферм, с показанием основных размеров, дана на фиг. 351, поперечный разрез проезжей части—на фиг. 352.

Поперечные балки опущены ниже оси нижнего пояса с таким расчетом, чтобы дуга откатывания, являющаяся непосредственным продолжением нижнего пояса, находилась в одном уровне с головкой рельсов. На фиг. 353 показана деталь прикрепления поперечной балки.

Конструкция хвостовой части ферм изображена на фиг. 354, противовес—на фиг. 355.

Для открывания и закрывания разводной части служит зацепленная за шестерню зубчатая рейка. Механизмы (гидравлические двигатели) и управление ими находится в отдельном помещении (фиг. 356).

Прикрепление оси, на которую надета зубчатая рейка, выполнено следующим способом. От точки *Mo* портала (фиг. 356) идут к противовесу продольные балки по три с каждой стороны (фиг. 356). В балках сделаны отверстия (фиг. 357), сквозь которые и пропущена ось (на чертеже не показана). Ось при помощи фланцев приболчена к балкам.

Зубчатая рейка—коробчатого сечения—показана на фиг. 358.

Вес пролетного строения, включая противовес,—673,5 т. Для открывания моста в течение 155 сек. при испытании оказалось необходимым осуществить мощность в 16 л. с.

Глава VII

РАСКРЫВАЮЩИЕСЯ МОСТЫ СИСТЕМЫ РАЛЛЯ

§ 31. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

69. Система Ралля отличается от системы Шерцера в кинематическом отношении тем, что откатывание пролетного строения не свободно—оно ограничено тягой, имеющей на одном конце неподвижный шарнир, прикрепленный другим концом также шарнирно к пролетному строению.

Пример моста системы Ралля показан на фиг. 359.

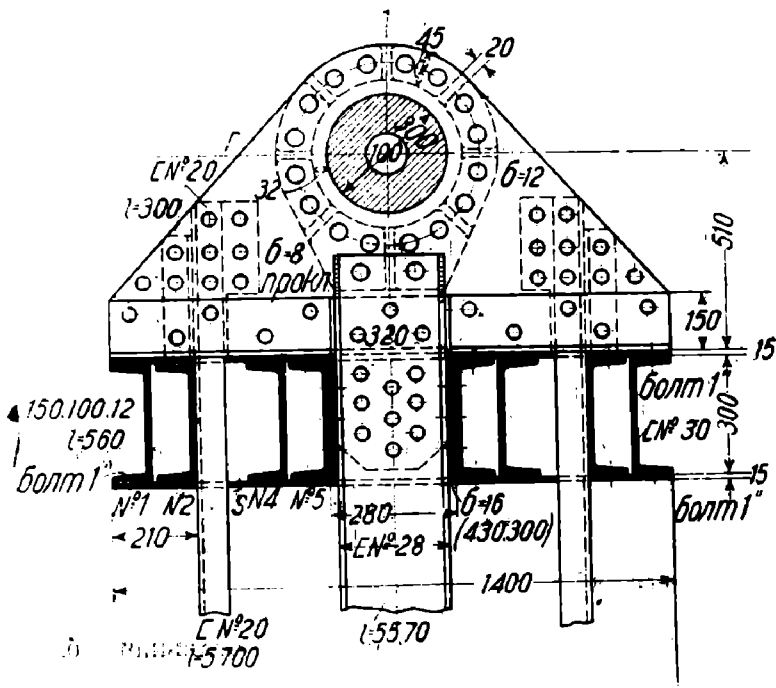
К пролетному строению прикреплена ось, на которой сидят свободно два катка, опирающиеся на балки катания. Движение пролетного строения ограничено тягами. Вся система приводится в движение зубчатой рейкой, за которую зацепляет вращающаяся от мотора шестерня. В закрытом состоянии моста хвостовая часть подклинена хвостовым замком, каток разгружен.

Вопросы, относящиеся к расположению стыка подвижной и неподвижной частей, к устройству противовеса, расположению ферм в плане, перекрытию колодца и т. п., были рассмотрены ранее для других систем раскрывающихся мостов, а потому, чтобы не повторяться, мы здесь касаться их не будем. Ниже приведены два примера, дополняющие материал, данный в предыдущих параграфах, и освещающие некоторые особенности конструкции мостов системы Ралля.

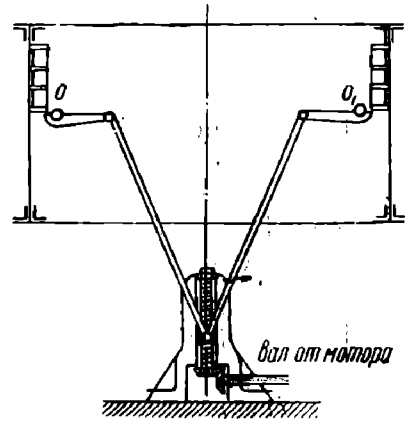
Заметим, что в технической литературе мосты Ралля именуются иногда мостами системы Штробеля по названию фирмы, взявшей патент на эту систему.

§ 32. ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИИ МОСТОВ СИСТЕМЫ РАЛЛЯ

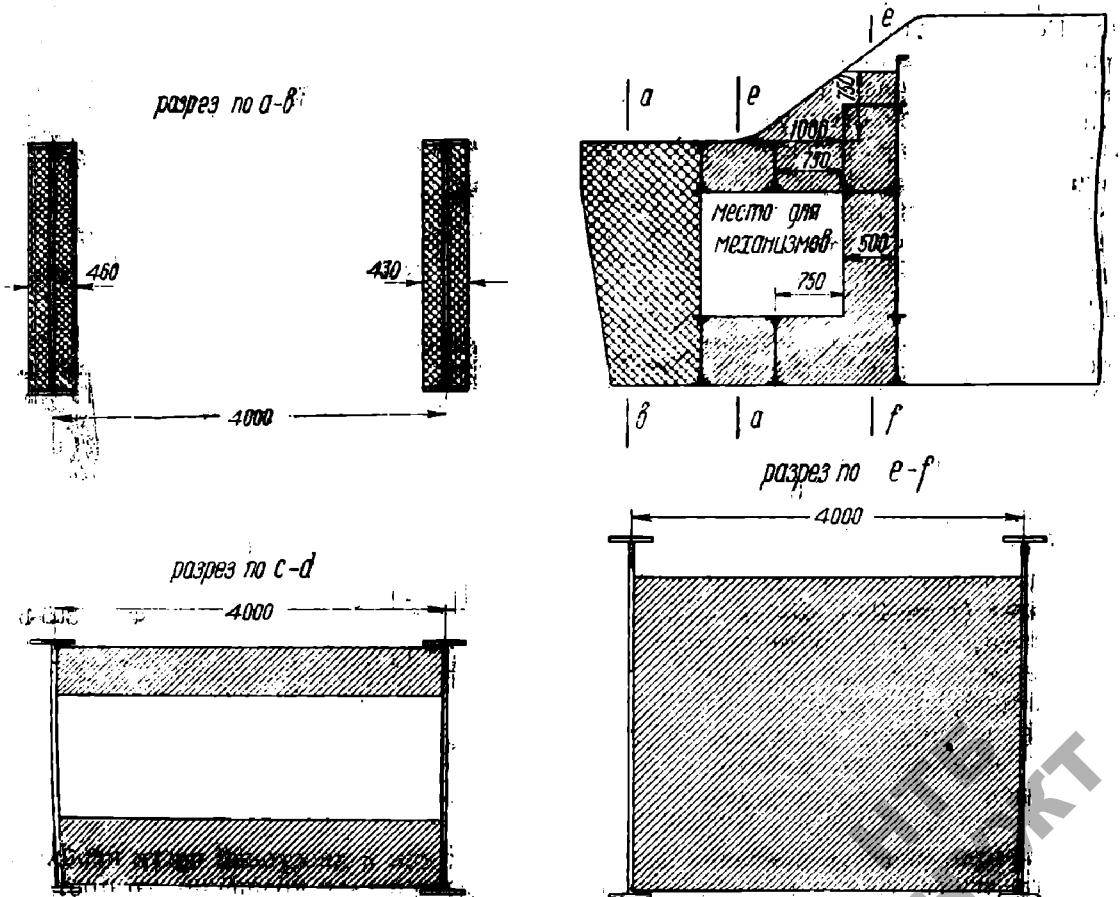
70. Проект разводной части системы Ралля пролетом 42,7 м. Приводим некоторые конструктивные детали разводного моста системы Ралля. Величина разводного пролета в свету—42,7 м. Расчетная длина крыла—22,35 м. Длина хвостовой части 7,5 м. Расстояние между осями ферм 4,0 м.



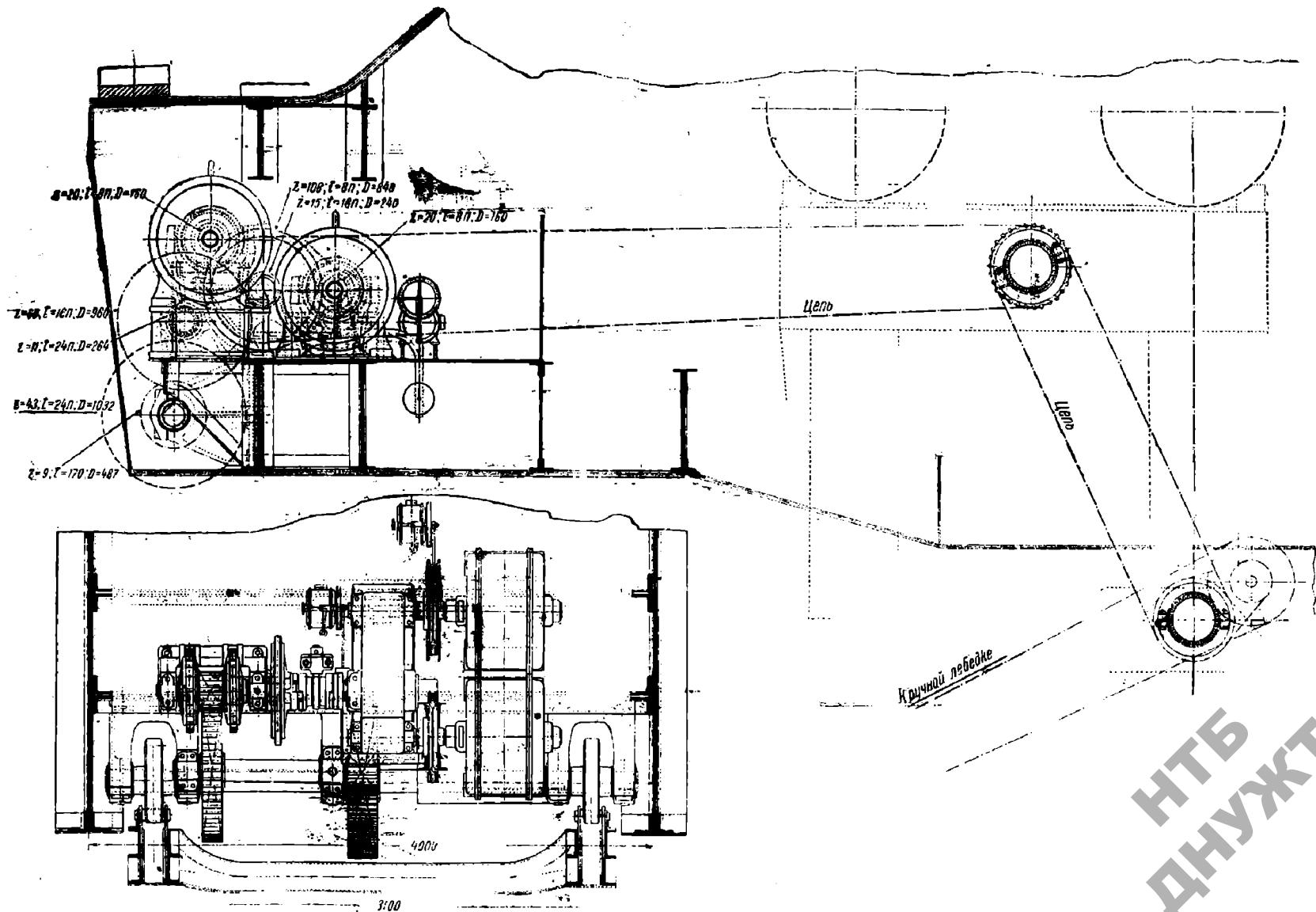
Фиг. 366.



Фиг. 368.



Фиг. 367.



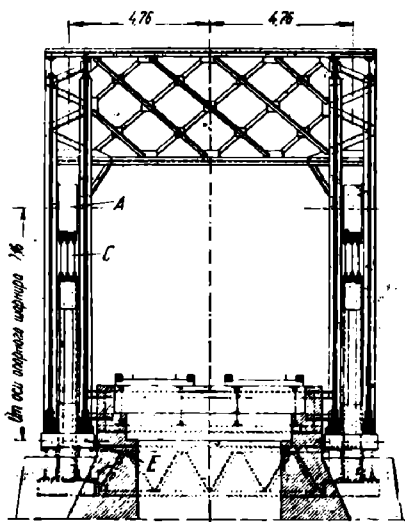
Фиг. 360.

НТБ
ДНУЖТ

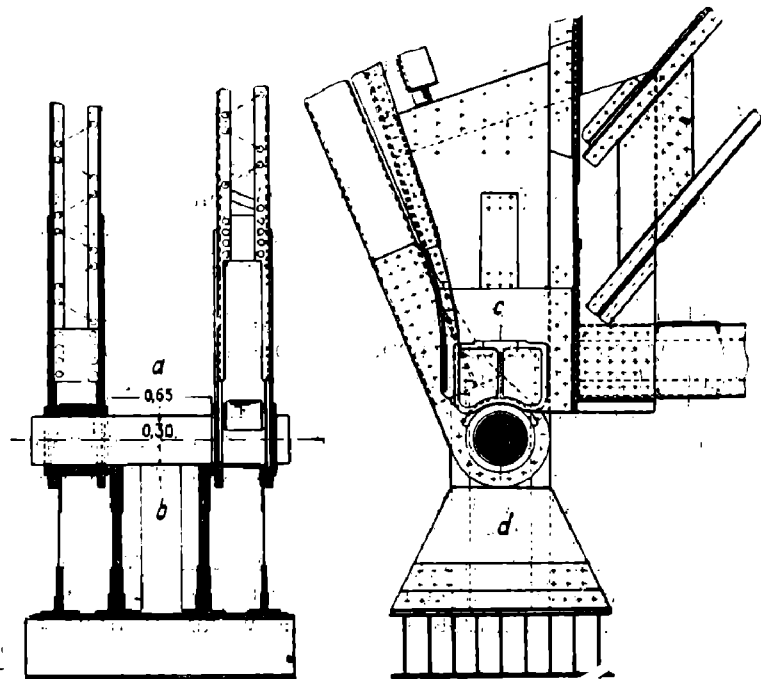
Средние замки—пальцевые, того же типа, как в разводной части Охтенского моста, но с более длинными пальцами, что сделано с целью уменьшить изгибающие моменты в них.

Неизменяемость положения пролетного строения в поперечном направлении обеспечивается ребрами на катках. Так как нельзя избежать зазора между ребром и полосой катания, то, очевидно, что пролетное строение мостов системы Ралля обладает некоторой подвижностью в поперечном направлении. Это затрудняет правильное соприкосновение пальцев среднего замка. Чтобы помочь делу, в хвостовой части поставлены ролики, перемещающиеся по направляющим отливкам, что, впрочем, судя по данным практики, не вполне достигает цели.

Механизмы движения (фиг. 369), как было указано выше, расположены на хвостовой части пролетного строения. Кроме электромоторов имеются ручные лебедки. От ручных лебедок, стоящих на быке, идет передача на вал, находящийся рядом с осью нижнего шарнира тяги. Затем вращение передается шкиву, сидящему на оси нижнего шарнира, через цепь Галля—шкиву на оси верхнего шарнира, и, наконец, опять цепью Галля,—валу хвостовых шестерен. Шестерни зацепляют за цевочную дугу, очерченную по соответствующей траектории.



Фиг. 371.



Фиг. 372.

На каждом крыле поставлено по 2 мотора в 28 л. с. каждый. Для разводки при тихой погоде достаточно одного мотора на крыло. Время разводки—1 мин.

71. Группа мостов через East Chicago Canal в Indiana Harbor. В 1907 г. построено 4 моста через канал East Chicago в Indiana Harbor совершенно одинаковых. Каждый мост—под железную дорогу в два пути. Мосты системы Ралля с ездой понизу (фиг. 370, 371 и 372).

Расчетный пролет ферм 26,2 м, их теоретическая высота—9,15 м. Длина хвостовой части 8,53 м. Сечение элементов ферм—коробчатое.

Катки, диаметром 1,40 м, помещены между двумя стенками опорных стоек (фиг. 371). Опорная стойка соединяется с раскосом, идущим к противовесу, мощными ли тами треугольной формы. Внутри пространства, образованного парными листами, входят также балки катания и передняя стойка станины, поддерживающей путь катания.

Фермы в закрытом состоянии моста опираются при помощи отливок (фиг. 372) на горизонтальный вал. Опорами для вала служит стойка балок катания. На том же валу сидят направляющие тяги.

Тяги двойные, причем каждая отдельная тяга имеет коробчатое сечение (фиг. 372). Верхними концами тяги прикреплены шарнирно к фермам, в одном из узлов.

¹ На фиг. 372 на поперечном разрезе не показаны фермы и верхняя часть стойки балок катания.

Противовесы занимают пространство только в пределах ширины поясов ферм. Нижняя часть балластных ящиков заполнена чугуном, верхняя—бетоном с включением металлического лома. Вес обоих противовесов—340 т.

Для приведения системы в движение устроена зубчатая рейка, находящаяся позади пролетного строения и закрепленная нижним шарнирным концом в кладке. Моторы и механизмы помещены на самом пролетном строении, под противовесом. Имеется два мотора по 35 л. с. каждый, из них один запасной. Время разводки—1 мин.

На одном конце пролетного строения находятся замковые механизмы ригельного типа, управляемые небольшим мотором в $2\frac{1}{2}$ л. с.

В закрытом состоянии моста катки разгружены. Это достигается, повидимому, действием механизмов вращения, т. к. передние замки по своему устройству не могут сообщать фермам вертикальных перемещений.

Детали конструкции катка и прикрепления оси катка к фермам похожи на описание в предыдущем примере.

Глава VIII

ДЕТАЛИ, ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ СИСТЕМ РАСКРЫВАЮЩИХСЯ МОСТОВ

§ 33. ЗАМКОВЫЕ И ПОДКЛИНИВАЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ РАСКРЫВАЮЩИХСЯ МОСТОВ

72. Назначение хвостовых, передних и средних замковых механизмов было освещено в предыдущих параграфах. В примерах конструкции раскрывающихся мостов, уже приводилось описание некоторых типов замковых механизмов. Теперь мы дадим общий обзор по рассматриваемому вопросу и дополним сказанное ранее некоторыми новыми деталями.

Начнем с хвостовых замков. Они должны быть так устроены, чтобы можно было производить подъем на небольшую высоту хвостовой части ферм, т. е. должны быть механизмами подклинивающими.

Можно наметить следующие основные типы хвостовых замков:

- 1) винтовые или домкратные, в которых подъем осуществляется вращением винта;
- 2) клиновые, с поступательным движением наклонной плоскости;
- 3) с вращающимися стойками;
- 4) с вращающимися подвесками.

Примером первой группы является хвостовой замок разводного пролета Охтенского моста в Ленинграде (фиг. 241), хвостовой замок, описанный в § 32, п. 70 (фиг. 368) и др. Винтовые хвостовые замки представляют собой весьма солидный, надежный тип.

Клиновые замковые механизмы применяются сравнительно редко вследствие появляющихся в них значительных изгибающих моментов и несколько большего по сравнению с другими типами трения при движении. Примеры замков клинового типа даны на фиг. 373.

На той же фигуре показаны хвостовые замки с вращающимися стойками. Поворот стоек осуществляется или вращением вала, на котором сидят стойки, или рычажным механизмом, или, — при вертикальных стойках, — движением горизонтального стержня, соединенного со стойкой. Вертикальные стойки предпочтительнее наклонных по соображениям лучшей передачи сил в закрытом состоянии моста. Другие примеры того же типа см. фиг. 197, 198, 207, 314.

Вместо вращающихся стоек можно применить вращающиеся в виде серьги подвески, к которым подхватывали бы хвостовую часть фермы снизу. Подвески снабжаются внизу каточком, который двигаясь по наклонной плоскости, укрепленной на пролетном строении, заставляет конец ферм приподниматься. Ось вращения подвесок располагается где-нибудь на неподвижной части моста над фермами разводного пролета.

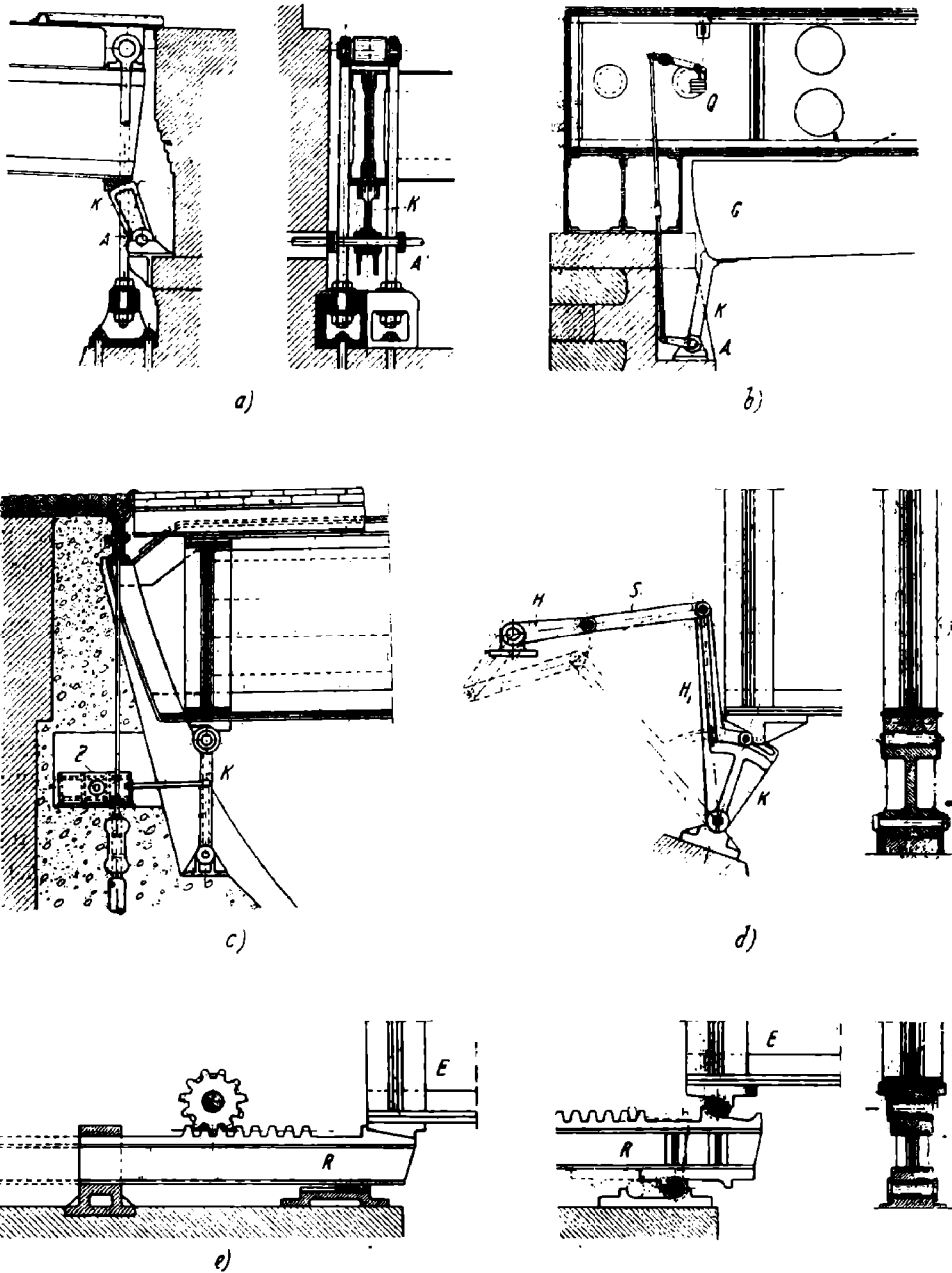
Пример подобного устройства был дан на фиг. 347. Другой пример — на фиг. 374. Треугольная двойная рама подвешена к поперечной балке за один из углов, в другом нижнем углу помещен на оси каточек и к третьему углу присоединен механизм для поворачивания рамы.

Хвостовые замки с вращающимися подвесками особенно часто встречаются в мостах системы Шерцера.

73. Передние замки устраиваются в однокрылых мостах и в зависимости от назначения представляют собой или подклинивающие сверху вниз механизмы, или про-

стые «задвижки». В первом случае замковое устройство должно воспринимать некоторую реакцию; действием этого устройства достигается разгрузка оси вращения; пролетное строение обеспечивается от раскрытия при загрузке участка за осью вращения.

Во втором случае замки являются таковыми в тесном смысле слова; они как бы «запирают» пролетное строение «на всякий случай». В таких условиях находятся замки однокрылых раскрывающихся мостов, не имеющих на крыле проезжей части



Фиг. 373.

за осью вращения. Реакция на передней опоре от постоянной нагрузки равна нулю, от временной—она положительна. Следовательно, замки, теоретически рассуждая, не нужны. Они ставятся для того, чтобы иметь уверенность в правильном положении пролетного строения и чтобы исключить всякое стремление крыла открываться от случайных причин.

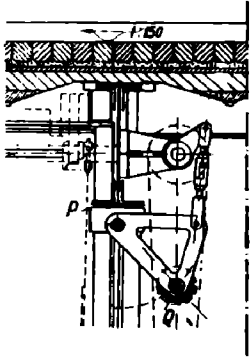
Часто механизм, приводящий в движение передние замки, соединяется с механизмами, которые управляют подвижными ограждениями, закрывающими доступ на разводную часть, или с семафором (в ж.-д. мостах). Пока не будут поставлены ограждения, замки нельзя открыть; а пока не открыты замки, нельзя привести

в действие механизмы вращения крыла. Таким путем осуществляется страховка от несчастных случаев.

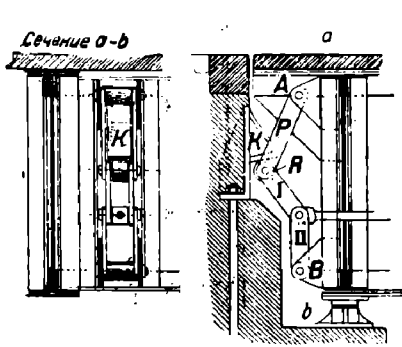
Наиболее употребительный тип передних замков, осуществляющих подклинку, — коленчатый рычаг, в одном из шарниров которого находится ролик, упирающийся в выступ на неподвижной части моста (фиг. 375).

Замки, не предназначенные для подклинки, делаются ригельного типа. Примеры таких замков были даны на фиг. 291, 300.

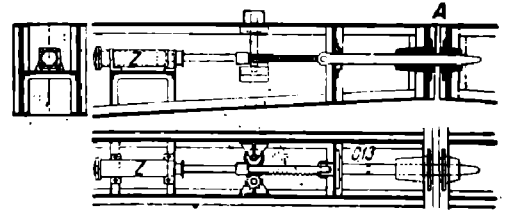
Встречаются замковые механизмы этой категории и в виде коленчатых рычагов. Например, замок моста через Swan Creek (фиг. 277). Хотя, как видно из описания упомянутого моста, замок не должен производить подклинки, тем не менее он сделан так, что может несколько опустить конец пролет-



Фиг. 374.



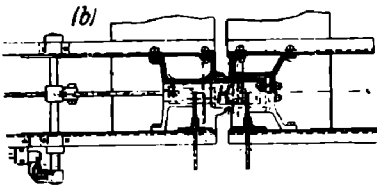
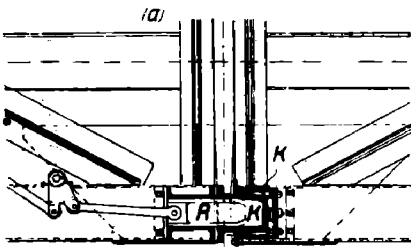
Фиг. 375.



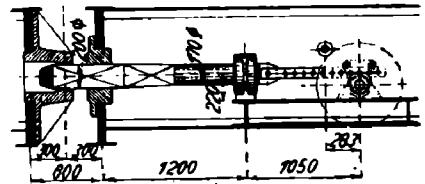
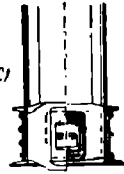
Фиг. 376.

ного строения. Это сделано с целью «дожать», так сказать, крыло на свое место, уничтожить небольшие зазоры, которые могли остаться при повороте крыла до конечного положения. В ригельных замках при наличии таких зазоров быстро разрабатываются втулки, в которые входит ригель.

74. Средние замки, составляющие непрременную принадлежность всякого дву-крылого раскрывающегося моста, как уже говорилось, могут быть разделены на три основные группы: 1) ригельные, 2) пальцевые, 3) шарнирные.



Фиг. 377.



Фиг. 378.

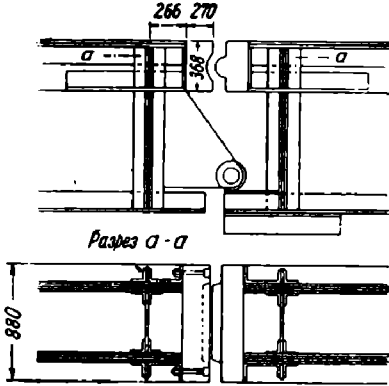
аналогичное устройство для моста с ездой понизу; здесь механизм движения состоит из ряда рычагов, связанных с мотором.

При конструировании замков по типу фиг. 376 и 377 в ригеле возникают довольно значительные ломающие напряжения. Дело в том, что при загрузке временной нагрузкой кривая изгиба фермы имеет в середине пролета некоторый наклон к горизонту. Между тем конструкция замка с одной стороны препятствует свободному повороту одного крыла относительно другого, а с другой — недостаточно сильна, чтобы передать изгибающий момент. В результате неизбежно изнашивание втулок, появление зазоров и т. п.

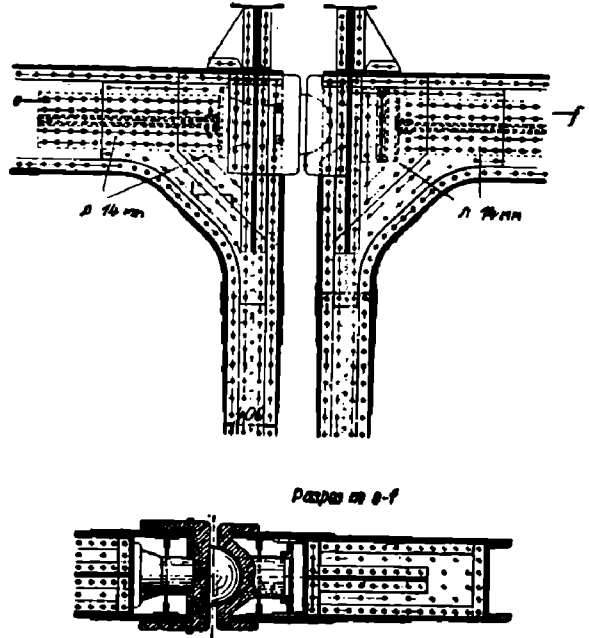
На фиг. 378 приведена конструкция среднего замка ригельного типа, не имеющая указанного выше недостатка. Ригель сделан квадратного сечения. Втулка, в которую он входит, касается ригеля, на небольшом протяжении поверхностью, имеющей

вид выпуклого кольца. Оставлена возможность свободного поворота ригеля относительно втулки.

Пальцевые замки передают не только вертикальную силу, но и момент. Идея пальцевых замков встречается уже в одном из мостов в Копенгагене (Höhe Brücke) построенном в 1883 г., затем в Ганзейском мосту (1903 г.). Пальцевые замки в этих мостах примитивной, непрочной формы—в виде отливок весьма скромных размеров (фиг. 346). Затем форма пальцевых замков была усовершенствована, и их стали делать клепаными, более жесткими, более



Фиг. 379.



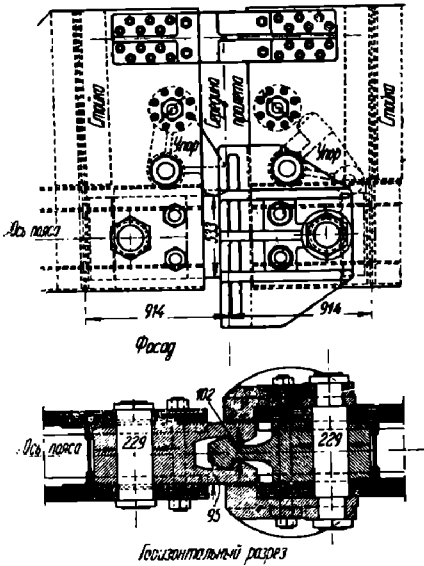
Фиг. 380.

прочными, но и более сложными. В § 18 были приведены пальцевые замки разводного пролета Охтенского моста в Ленинграде (фиг. 242b).

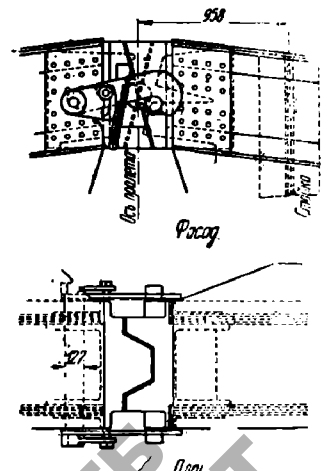
Наконец, третья группа средних замков—шарнирные замки, представляющие собой настоящие шарниры, способные передавать распор. Они устраиваются тогда, когда желательно фермы разводного пролета сделать трехшарнирными арками.

В § 21 помещено было описание среднего шарнира в мостах через р. Неву по проекту Пшеницкого (в построенном Республиканском мосту и в проекте моста у д. Кузьминки). Шарнир отличается сложными деталями.

Идея трехшарнирной арки для разводного пролета довольно часто используется в настоящее время немецкими инженерами, насколько об этом можно судить по конкурсным проектам. Конструкция средних шарниров в этих пролетах значительно проще, чем у Пшеницкого. На фиг. 379 и 380 показано два примера, заимствованных из конкурсных проектов. На фиг. 230 показан средний шарнир моста через Reihersteg в Гамбурге, также весьма простого вида.



Фиг. 381.



Фиг. 382.

Особое место среди различных типов средних замков занимают замки коромыслового моста через канал в Sault St. Marie на Canddian Pacific Rv. Это величайший мост системы Штрауса (фотография на фиг. 55), весьма интересный тем, что его фермы в закрытом состоянии превращаются в балочные фермы на двух опорах пролетом 102,4 м.

На фиг. 381 показан замок в нижнем поясе ферм этого моста, а на фиг. 382— замок в верхнем поясе.

Как видно из фиг. 381, к нижнему поясу ферм приболчена отливка, имеющая выступающую часть с головкой на конце, которая входит в отливку с закраинами, прикрепленную к другому крылу. Сверху над выступающим пальцем имеется предохранительный упор. Крыло, не имеющее предохранительного упора, должно при закрывании идти несколько впереди другого крыла. Предохранительные упоры имеются на обоих крыльях, но на одном из них упор опущен и закреплен болтом, а на другом поднят. По желанию можно опустить тот или другой упор и тем самым установить последовательность опускания и подъема крыльев. При опускании создается небольшое натяжение в нижних замках.

Верхние замки имеют фрезерованные поверхности, через которые передается сжимающая сила. Одна отливка входит в другую шипом, причем средняя часть отливки и боковые ее части наклонены к вертикали в разные стороны. В качестве предохранительной части использован крюк, набрасываемый специальным механизмом с одного крыла на другое. Механизм крюка связан с сигналами для ж.-д. движения.

Замки работают только от временной нагрузки и рассчитаны на усилие в 500 т. Чтобы уменьшить температурные напряжения в фермах, одна из башен, поддерживающих оси вращения крыла и коромысла, сделана на подвижных опорах (с подвижкой до 11,4 см). Положение башни регулируется масляными домкратами, управляемыми ручной помпой из будки механика.

Глава IX

ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАЗВОДНЫХ МОСТОВ РАСКРЫВАЮЩИХСЯ СИСТЕМ И ОСОБЕННОСТИ ИХ РАСЧЕТА

§ 34. ОСНОВНЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ

75. Исходной величиной для назначения основных геометрических размеров пролетного строения мостов раскрывающихся систем является величина судового отверстия, определяемая в соответствии с интенсивностью судоходства в данном месте и с размерами судов. Величины разводных пролетов на судоходных реках в СССР определяются правилами установления подмостовых габаритов (1933 г.) в зависимости от скорости течения и косины струй под мостом, согласно нижеследующей таблички.

Размеры разводных пролетов				
Категория реки	Поверхностная скорость течения			
	до 1 м/сек.		от 1 до 2 м/сек.	
	Наклон косины струй			
	0—5°	5—10°	0—5°	5—10°
1	40	50	50	60
2	30	50	50	60
3	30	0	40	50
4	20	30	30	40

Величины судового отверстия и пролет в свету не всегда совпадают.

Судовое отверстие можно считать между наиболее выступающими в пролет точками разводной части в открытом состоянии, ограждая остающееся между быком и границей судового габарита пространство рядами свай или пловучими щитами.

В таком случае на всем протяжении судового отверстия высота судового габарита не ограничена.

Если же допустить некоторые ограничения высоты судового габарита вблизи опор моста, то судовое отверстие может быть принято равным расстоянию в свету между опорами моста, даже для тех раскрывающихся систем, в которых крыло не уходит полностью из пролета.

Принимая во внимание, что наиболее высокие части судов (трубы, мачты) находятся на некотором расстоянии от борта, казалось бы возможным допустить совпадение судового отверстия с пролетом в свету. Угол открытия не должен быть при этом слишком мал (не менее 70°, лучше 75—80°).

В соответствии с пролетом в свету назначается расчетный пролет обычным способом, по величине опорной реакции и по допускаемому давлению на кладку. Для уменьшения размеров передней стенки колодца, последняя может быть сделана из кладки повышенного качества, с допускаемым давлением в 35—40 кг/см² или из бе-

тона. Вес разводной части можно определить по приблизительным данным, приведенным ниже.

Для предварительных соображений расчетный пролет можно принимать на 5% больше пролета в свету.

В таблицах I, II, III и IV (см. приложение) собраны данные об отношениях расчетных пролетов к пролетам в свету и к судоводным отверстиям в существующих мостах.

В зависимости от величины пролета разводной части назначаются высоты ферм над опорами и посередине пролета. Высота ферм, помимо экономических соображений, диктуется необходимостью обеспечить достаточную жесткость пролетного строения. С этой точки зрения высота ферм разводных мостов под ж. д. должна быть относительно больше, чем в мостах под обыкновенную дорогу. По тем же мотивам фермы со сплошной стенкой могут быть сделаны относительно ниже ферм сквозных.

Фермы *однокрылых систем*, как было сказано выше, представляют собой двух- или трехпорные балки, и придать им обычную для мостовых конструкций жесткость нетрудно. Высота ферм выбирается в пределах от $\frac{1}{6}$ до $\frac{1}{12}$ расчетного пролета в зависимости от рода нагрузки и типа ферм (со сплошной стенкой или сквозные).

Фермы однокрылых мостов делаются или с параллельными поясами, или с высотой, уменьшающейся от оси вращения к противоположной опоре. Указанное уменьшение обычно незначительно и отвечает работе ферм, как консолей под постоянной нагрузкой при открывании моста. Такое очертание ферм позволяет приблизить центр тяжести крыла к оси вращения, что выгодно для облегчения противовеса.

Фермы двукрылых разводных мостов, чтобы иметь одинаковую с однокрылыми мостами жесткость, должны быть, при прочих равных условиях, большей высоты. Но так как увеличение высоты ограничено конструктивными возможностями, расстоянием от полотна до горизонта высоких вод, подмостовым габаритом и т. п., то в двукрылых мостах приходится довольствоваться меньшей же жесткостью ферм или же понижать допускаемые напряжения.

Наиболее употребительные отношения высоты на положительной опоре (h_1 , фиг. 383) к расчетной длине крыла l в двукрылых мостах: под обыкновенную дорогу $\frac{1}{6} - \frac{1}{7}$, под железную дорогу $\frac{1}{4} - \frac{1}{5}$.

Подходящей высотой на конце крыла (в середине пролета) будет $h_2 = \frac{1}{18} l - \frac{1}{20} l$ в мостах под обыкновенную дорогу и $\frac{1}{16} l - \frac{1}{17} l$ в ж.-д. мостах. Есть, впрочем, примеры высоты на конце крыла в $\frac{1}{40} l$, но это исключительные случаи.

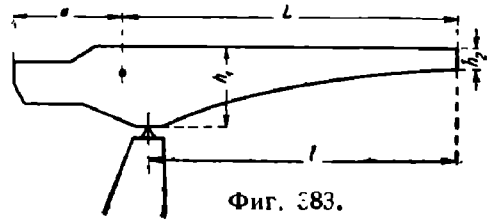
При устройстве пальцевого замка высота на конце крыла связана с конструкцией замка и должна быть не менее 0,70—1,0 м.

76. Следующим весьма важным вопросом при выборе геометрических размеров разводного пролета является вопрос о длине хвостовой части ферм.

Чем относительно длиннее хвостовая часть тем меньше, при прочих равных условиях, может быть сделан противовес, что, помимо уменьшения его стоимости, влечет за собой сокращение величины движущейся при открывании моста массы, и, следовательно, понижает количество энергии затрачиваемой на поворот разводной части (уменьшается сопротивление от трения в оси и силы инерции движущихся масс).

С другой стороны, большая длина хвостовой части обуславливает большую ширину быка (или устоя). Увеличивается стоимость опор моста (что особенно чувствительно при дорожных основаниях, например при кессонных) и растет стеснение живого сечения реки.

Правильный выбор длины хвостовой части может быть сделан лишь при оценке как строительной стоимости пролетного строения, опор и механического оборудования, так и эксплуатационных расходов. Последние стоят в зависимости от частоты развонок моста. Для каждой системы раскрывающихся мостов существует некоторое наименьшее отношение длины хвостовой части к длине крыла, при котором конструктивное оформление данной системы еще не встречает чрезвычайных трудностей. Это наименьшее отношение зависит конечно от частных условий проектирования: от ширины моста, интенсивности нагрузки, от материала противовесов, от размещения ферм в плане, от того или иного разделения колодца на отдельные секции и т. п. Таким образом установить точную границу для наименьшего отношения длины



хвостовой части к длине крыла для каждой системы разумеется немыслимо. Можно лишь, основываясь на существующих и запроектированных мостах, указать на некоторые средние наименьшие цифры, характерные для различных систем.

Материалы по этому вопросу содержатся в таблицах I, II, III и IV (см. приложение).

Из таблиц видно, что отношение длины хвостовой части к длине крыла для мостов одной и той же системы колеблется в весьма широких пределах.

Наименьшее отношение длины хвостовой части к длине крыла ($\frac{a}{L}$) может быть осуществлено в мостах системы Штрауса с противовесом, расположенным над полотном (фиг. 255), примерно до 0,12. Наиболее часто встречающаяся величина $\frac{a}{L}$

в этих мостах 0,16—0,20. Затем идут мосты системы Штрауса с противовесом внизу (фиг. 254), в которых указанное отношение доходит до $\infty 0,17$ и наконец системы с жестким прикреплением противовеса (сюда же относятся системы Шерцера, Ралля), в которых хвостовая часть редко делается меньше, чем 0,25 от длины крыла, обычно же составляет 0,27—0,33 этой длины.

Системы с двумя осями вращения хвостовой части ферм не имеют. Отношение плеч коромысла делается обычно близким к единице.

Чтобы при данной общей длине ферм разводного пролета получить наибольшую хвостовую часть, необходимо стремиться расположить ось вращения как можно ближе к положительной опоре ферм (или к лицевой грани быка, если фермы и в закрытом состоянии моста опираются на ось вращения). В этом отношении выгодно выделяются системы Шерцера и Ралля. В мостах этих систем ось вращения может быть дана непосредственно над положительной опорой или почти над ней.

Что же касается мостов с неподвижной осью вращения, то для них положение оси вращения должно быть увязано с возможностью беспрепятственного поворота пролетного строения на нужный угол. Вопрос решается пробным поворотом крыла.

Возможность поворота находится в зависимости не только от *горизонтального расстояния* между осью вращения и положительной опорой, но также и от *положения оси вращения по*

*высоте*¹ и от очертания нижнего пояса ферм в хвостовой части. С другой стороны, на размещение оси вращения по высоте влияют условия уравнивания системы; необходимо, вообще говоря, чтобы центр тяжести совпадал с осью вращения.

Местонахождение центра тяжести становится известным лишь после расчета пролетного строения, определения его веса, выяснения размеров противовеса и т. д. Поэтому приходится при составлении первоначального эскиза положением оси вращения по высоте задаваться произвольно, внося впоследствии необходимые поправки.

Как уже указывалось, в тесной связи с положением оси вращения находится *очертание нижнего пояса ферм в хвостовой части*. При выборе этого очертания борются три фактора: стремление дать конструкции наиболее простые, удобовыполнимые формы, стремление приблизить ось вращения к положительной опоре и стремление обеспечить возможно больший угол поворота крыла.

Задача проектировщика—удачно согласовать эти противоречущие друг другу требования.

На фиг. 384 показаны три варианта очертания нижнего пояса ферм для одного частного случая. В первом варианте дана наиболее простая форма хвостовой части; расстояние между осью вращения и положительной опорой сделано равным 1,50 м.

¹ Ориентировочно, для эскизных соображений, центр тяжести пролетного строения можно считать находящимся на расстоянии $\frac{2}{3} \div \frac{3}{4}$ высоты ферм на опоре от нижнего пояса.

Поворот крыла возможен только на 63° . Отношение хвостовой части к длине крыла 0,3.

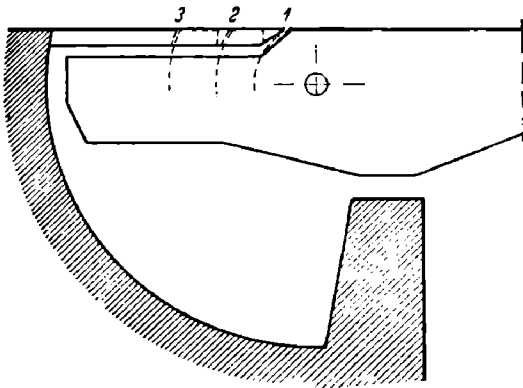
Сохраняя то же отношение хвостовой части к длине крыла, можно увеличить угол поворота до 80° , внося в очертание нижнего пояса небольшой излом. Это решение дано во втором варианте.

Увеличение угла поворота до 80° может быть осуществлено также увеличением расстояния между осью вращения и положительной опорой до 2,0 м (третий вариант), но при этом отношение длины хвостовой части к длине крыла становится равным 0,135, что, принимая во внимание жесткое прикрепление противовеса, недостаточно. Потребуется увеличение хвостовой части и следовательно ширины быка.

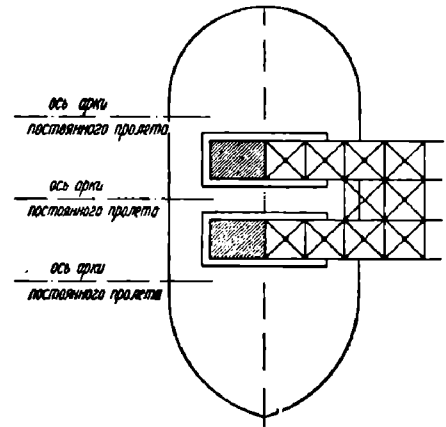
Наилучшим решением в данном случае следует считать второй вариант.

Очертание нижнего пояса ферм в хвостовой части зависит также от способа приведения крыла в движение (§ 17). В системе Шерцера—от способа откатывания: по нижнему поясу ферм или при помощи специальных секторов. Все эти вопросы были освещены в соответствующих параграфах и мы не будем на них останавливаться.

Очертание верхнего пояса ферм с ездой поверху находится в зависимости от устройства стыка подвижной и неподвижной частей полотна. Этот стык может быть устроен как позади оси вращения, так и впереди нее, о чем было сказано в § 16.



Фиг. 385.



Фиг. 386.

Если стык подвижной и неподвижной частей полотна находится позади оси вращения, то для того чтобы уменьшить давление на хвостовые замки, желательно приблизить упомянутый стык к оси вращения. С другой стороны, чем ближе к оси расположен стык, тем острее получается угол консоли и, следовательно, затруднительнее ее конструирование. Фиг. 385 дает наглядное представление о том, как изменяется угол консоли в зависимости от местонахождения стыка полотна. При назначении стыка следует исходить из конструктивных возможностей устройства сопряжения, стремясь расположить стык подвижной и неподвижной частей моста как можно ближе к оси вращения.

Позади стыка верхний пояс ферм снижается настолько, чтобы можно было поместить под фермами балки, перекрывающие колодец, и балки, поддерживающие отрицательные опоры.

Чтобы покончить с вопросом об очертании ферм, остается еще заметить, что конец хвостовой части выгодно или закруглить или срезать внизу (уменьшается радиус колодца, фиг. 385).

77. Расстояние между осями ферм разводного пролета назначается руководствуясь как соображениями общего характера (разбивка балочной клетки, вес ферм и проезжей части и т. п.), так и соображениями о перекрытии колодцев и о размещении противовесов, о чем говорилось ранее (§ 16). Кроме того в иных случаях полезно согласовать расположение ферм разводного пролета с фермами примыкающего постоянного пролета.

Так, если неподвижный пролет имеет распорные фермы с высоко расположенными пятнами, то может представиться удобным, чтобы не подсекать кривой давления, разместить эти фермы против продольных стенок, а не против колодцев. Схема расположения ферм разводного пролета принимает тогда вид, указанный на фиг. 386.

Расстояние между осями ферм разводных мостов под однопутную дорогу небольших пролетов (около 20 м и ниже) рекомендуется брать несколько большим, чем в постоянных пролетных строениях того же пролета. Это необходимо, во-первых, для того

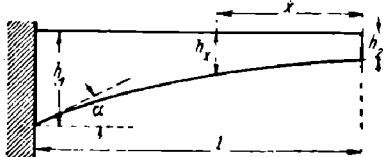
чтобы увеличить поперечную жесткость конструкции и тем обеспечить правильное соприкосновение крыльев друг с другом или крыла с опорой: во-вторых, для того чтобы разместить между фермами противовес, не прибегая к чрезмерно длинным хвостовым частям.

Приводим несколько примеров из практики.

Мосты под ж. д. в один путь	Название моста	Пролет м	Раст. между осями ферм м	Система
	Мост № 223 на St. L. J. M. Rw		11,84	3,06
Мост через Stör в Itzehoe		25,10	3,70	
Мост через Swan Greck в Толедо		19,20	5,0 до середины пролета	
Мост Père Marquette через Paw-Paw в штате Мичиган		16,46	3,2	Однокрылый с жестко прикрепл. противовесом

§ 35. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСА ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ РАСКРЫВАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ

78. Для предварительного определения веса разводящих пролетов раскрывающейся системы эмпирических формул, насколько известно, не существует. Имеющийся статистический материал вследствие своей неоднородности и малочисленности не поддается более или менее надежной систематизации. Таким образом остается пользоваться методом конструктивных или строительных коэффициентов.



Фиг. 387.

Мы можем предложить для консольных балок со сплошной стенкой следующие формулы, основанные на вычислениях теоретического объема.

Постоянная нагрузка предполагается при вычислении изгибающих моментов распределенной равномерно по всему пролету. Очертание нижнего пояса главных балок в пределах консоли принято по параболе.

Тогда изгибающий момент в расстоянии x от конца консоли (фиг. 387).

$$M = \frac{(p + q)x^2}{2},$$

где:

p — вес главных балок,
 $q = (1 + \mu) k + F + s$ — временная нагрузка $(1 + \mu) k$, вес проезжей части (F) и связей (s); p и q отнесены к единице длины консоли,
 $(1 + \mu)$ — динамический коэффициент.

Если ω_x — площадь поперечного сечения пояса балки, h_x — высота балки в расстоянии x от конца консоли, δ — толщина вертикального листа, то, пренебрегая незначительной разницей между полной высотой вертикального листа балки и расстояниями между центрами тяжести поясов, а также моментом инерции поясов балки относительно осей, проходящих через их центры тяжести, — имеем

$$W = \frac{2 \cdot I}{h_x} = \frac{2}{h_x} \left(2\omega_x \cdot \frac{h_x^2}{4} + \frac{\delta \cdot h_x^3}{12} \right) = \omega_x \cdot h_x + \frac{\delta \cdot h_x^2}{6} = \frac{M}{R} = \frac{(p + q)x^2}{2R}.$$

Отсюда

$$\omega_x = \frac{(p + q)x^2}{2R \cdot h_x} - \frac{\delta \cdot h_x}{6}. \quad (1)$$

Вес главных балок может быть выражен такой формулой

$$p = \frac{\psi \cdot \gamma}{l} \int_0^l [(1 + \eta) \cdot \omega_x + \delta \cdot h_x] \cdot dx, \quad (2)$$

где:

ψ — конструктивный коэффициент,

$\gamma = 7,85 \text{ т/м}^3$ — вес м^3 металла, $\eta = \frac{1}{\cos \alpha}$ — величина обратная \cos угла наклона нижнего пояса к горизонту. Так как эта величина обычно близка к единице, то в формулу (2) без особой погрешности можно вставить среднее для всей консоли значение η и считать его постоянным.

Для высоты h_x справедливо при параболическом очертании нижнего пояса такое выражение

$$h_x = ax^2 + h_0, \quad (3)$$

где

$$a = \frac{h_1 - h_0}{l^2}.$$

Подстановка в формулу (2) значения ω_x из формулы (1) и значения h_x из равенства (3) дает

$$p = \frac{\psi \cdot \gamma}{l} \cdot \left\{ \frac{p+q}{R} \cdot \frac{1+\eta}{2} \int_0^l \frac{x^2}{ax^2 + h_0} dx - \frac{1+\eta}{6} \cdot \delta \int_0^l (ax^2 + h_0) dx + \delta \int_0^l (ax^2 + h_0) dx \right\}. \quad (4)$$

Решая уравнение (4) относительно p , получим

$$p = \frac{\frac{1+\eta}{2} \cdot q \int_0^l \frac{x^2}{ax^2 + h_0} dx + \frac{5-\eta}{6} \cdot \delta \cdot R \int_0^l (ax^2 + h_0) dx}{\frac{R \cdot l}{\psi \cdot \gamma} - \frac{1+\eta}{2} \int_0^l \frac{x^2}{ax^2 + h_0} dx}. \quad (5)$$

Произведя интегрирование, приходим, после некоторых преобразований, к такой формуле веса главных балок.

$$p = \frac{q \frac{1+\eta}{2} \cdot A + \frac{5-\eta}{18} \cdot R \cdot \delta (h_1 + 2h_0)}{\frac{R}{\psi \cdot \gamma} - \frac{1+\eta}{2} \cdot A}, \quad (6)$$

где

$$A = \frac{l^2}{h_1 - h_0} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\frac{h_1}{h_0} - 1}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{h_1}{h_0} - 1} \right]. \quad (7)$$

При обычных соотношениях размеров главных балок можно принимать $\eta = 1$.

Вообще же величина, обратная косинусу угла наклона нижнего пояса к горизонту, может быть принята равной

$$\frac{1}{\cos \alpha} = \frac{ds}{dx} = \sqrt{\frac{dx^2 + dy^2}{dx^2}} = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} = 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + \dots$$

Остальными членами в разложении по биному Ньютона пренебрегаем ввиду их малости.

Таким образом

$$\eta = \frac{1}{\cos \alpha} = 1 + \frac{1}{2} \left[\frac{d(ax^2 + h_0)}{dx} \right]^2 = 1 + 2a^2 x^2 = 1 + 2 \frac{(h_1 - h_0)^2}{l^4} \cdot x^2.$$

Наибольшее значение η :

$$\eta_{\max} = 1 + \frac{2(h_1 - h_0)^2}{l^4}. \quad (8)$$

Среднее значение

$$\begin{aligned} \eta_0 &= \frac{\int_0^l \eta_x \cdot ds}{\int_0^l ds} = \frac{\int_0^l (1 + 2a^2 x^2)^2 \cdot dx}{\int_0^l (1 + 2a^2 x^2) \cdot dx} = \frac{1 + 8a^2 + 16a^4 l^2}{1 + 4a^2} = \\ &= \frac{1 + \frac{8(h_1 - h_0)^2}{l^4} \left[1 + 2 \frac{(h_1 - h_0)^2}{l^2} \right]}{1 + 4 \frac{(h_1 - h_0)^2}{l^4}}. \end{aligned} \quad (9)$$

В формулу (6) входит величина δ — толщина вертикальной стенки главных балок.

По известной формуле

$$\delta = \frac{1,25Q \cdot S}{l R}, \quad (10)$$

где:

R_t — допускаемое напряжение на скалывание,
 1,25 — коэффициент, учитывающий ослабление заклепочными отверстиями.
 В формулу (10) подставляем следующие значения:

$$S = \frac{\omega h_t}{2} + \frac{\delta h_t^2}{8} = \frac{1}{h_t} \left(\frac{\omega h_t^2}{2} + \frac{\delta h_t^3}{12} \right) + \frac{\delta \cdot h_t^2}{24} = \frac{M}{2R} + \frac{\delta h_t^2}{24},$$

$$M = \frac{(p+q)l^2}{2},$$

$$R_t = 0,8R.$$

После подстановки

$$\delta = \frac{(p+q)l}{h \cdot R \left(0,6 - \frac{1}{6} \cdot \frac{h}{l} \right)}. \quad (11)$$

Полученное выражение для δ можно вставить в равенство (6) и решить его снова относительно p . Результат этих действий

$$p = q \frac{\frac{1+\eta}{2} A + B}{\frac{R}{\psi \cdot \gamma} - \frac{1+\eta}{2} A - B}. \quad (12)$$

A — имеет прежнее значение,

$$B = \frac{5-\eta}{18} \cdot \frac{l \left(1 + 2 \frac{h_0}{h} \right)}{\left(0,6 - \frac{1}{6} \frac{h}{l} \right)}. \quad (13)$$

Если $\eta = 1$, то

$$B = \frac{l \left(1 + 2 \frac{h_0}{h_t} \right)}{2,7 - 0,75 \frac{h_t}{l}}. \quad (13a)$$

Однако пользоваться формулой (12) надо с осторожностью, т. к. необходимая по расчету на касательное напряжение толщина вертикальной стенки δ может оказаться меньше величины, определяемой конструктивными соображениями и устойчивостью вертикальных листов. Формула (12) даст в таком случае преуменьшенное значение.

Удобнее взять δ по чувству конструктивной меры в соответствии с назначенными высотами балки, воспользоваться для определения формулой (6), а затем проверить достаточность принятой для δ величины по формуле (11).

Равенство (1), положенное в основу вывода формулы (6), при малых значениях x дает отрицательное значение площади пояса.

Некоторая нелогичность такого положения является следствием того, что высота на конце консоли не равна нулю, а при выводе сечение балки принято в точности отвечающим изгибающему моменту. Таким образом вставленный в формулу (6) теоретический вес поясов балки несколько меньше действительного.

Соответствующая поправка может быть введена, если назначить примерную площадь ω_0 поперечного сечения на конце консоли (в соответствии с высотой балки намечается калибр уголков; кроме уголков следует учесть по одному горизонтальному листу) и определить то значение x , при котором

$$\omega_x = 0.$$

Это будет:

$$x_0 = h_0 \cdot \sqrt{\frac{R \cdot \delta}{3(p+q)}}.$$

Добавочный вес поясов, распределенный по всей длине консоли

$$\Delta p = \frac{2 \cdot \omega_0 \cdot \gamma \cdot h_0}{l} \cdot \sqrt{\frac{R \cdot \delta}{3(p+q)}}.$$

При этом принято, что $h_x = h_0$, т. к. высота главных балок у конца консоли меняется медленно.

Величина Δp — обычно незначительна.

В коэффициент ψ надо ввести, кроме влияния веса дополнительных частей (стыковых накладок, уголков жесткости и т. д.), о лабление сечения заклепочными отверстиями (около 18%) и величину неизбежного запа a в подборе сечений (6—10%).

Величина строительного коэффициента, т. е. коэффициента, учитывающего влияние на постоянную нагрузку только веса дополнительных частей, колеблется в довольно больших пределах в зависимости от размеров пролетного строения, от расположения в связи с этим стыков вертикальных листов или других подобного рода обстоятельств. Приводим два примера.

Пример 1-й. Разводная часть Охтенского моста. Мост под городское движение. Длина консоли 22,35 м (считая от положительной опоры), наибольшая высота вертикального листа 3,65 м. Уголки жесткости имеют высадки.

Строительный коэффициент без учета веса связей—1,30, с учетом веса связей—1,74.

Вес связей составляет значительный процент к общему весу по той причине, что поперечные связи одновременно являются поперечными балками и в некоторых сечениях сделаны со сплошной стенкой во всю высоту главных балок.

Постоянная нагрузка на 1 пог. м главной балки (средней) распределяется следующим образом.

Собственный вес фермы	1,08 т/м
Вес продольных связей	0,05 »
Вес поперечных связей (поперечных балок)	0,33 »
Вес проезжей части	1,20 »
В с е г о	2,66 т/м

Пример 2-й. Проект разводной части под ж.-д. (в один путь) пролетом 22,72 м Длина консоли 11,36 м. Наибольшая высота вертикального листа 2,80 м. Уголки жесткости на прокладках.

Строительный коэффициент без учета связей—1,6, с учетом связей—1,75.

Постоянная нагрузка составляется из:

1) веса проезжей части (продольные и поперечные балки, деревянные поперечины, полотно)	0,616 т/м
2) веса связей	0,140 »
3) веса главных балок (включая пальцевые замки)	0,974 »

В с е г о 1,730 т/м

Расчетная нагрузка—по схеме Н 1925 г.

Предварительное определение веса *сквозных ферм* можно делать по известным приемам, вычисляя площади линий влияния (см. соответствующие руководства, напр. Патон—Стальные мосты). Некоторые данные о весе существующих разводных мостов приведены в приложении.

36. НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ О РАСЧЕТЕ ФЕРМ РАЗВОДНЫХ МОСТОВ РАСКРЫВАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ

79. Расчет ферм разводных мостов раскрывающейся системы следует производить для двух состояний: закрытого и открытого.

В закрытом состоянии при расчете на действие временной нагрузки, фермы однокрылых раскрывающихся мостов представляют собой, в зависимости от устройства опор и от системы разводной части, или разрезные фермы или неразрезные. Например, фермы однокрылого моста при наличии подклинки противовесов (хвостовых замков) следует рассматривать как неразрезные, т. к. должны быть приняты меры, препятствующие подъему противовеса с подклинки. Напротив, постановка замков передних, взамен хвостовых, и отсутствие при этом отрицательной опоры позволяет считать фермы как разрезные с консолью. Это: случай часто встречается в мостах системы Штрауса с расположением противовеса над полотном (см. § 22) (фиг. 388).

Величина усиления, которое должно быть осуществлено в С (фиг. 388) при подклинке определяется опорной реакцией С от постоянной нагрузки в предположении неразрезной двухпролетной балки. Прочность же подклинивающего механизма (той его части, которая передает вертикальную нагрузку) рассчитывается по наибольшей опорной реакции с учетом временной нагрузки.

Отрицательная опора Д, как уже указывалось, является **необходимой** лишь в том случае, когда реакция в С от временной нагрузки в невыгоднейшем ее положении не погашается постоянной нагрузкой.

При наличии отрицательной опоры положение огор может быть так отрегулировано, что в B появится реакция от нуля до величины, соответствующей условиям обрывной неразрезной балки. Однако, ввиду возможных неточностей в регулировке, правильнее при наличии отрицательной опоры определять усилия в пролете AB от постоянной нагрузки в предположении $B=0$, что позволит к тому же снизить мощность подклинивающего механизма в C .

Фермы разводных мостов *коромысловой системы* представляют собой разрезные фермы, причем действие противовесов должно быть соответственно учтено.

Фермы *двухкрылых мостов* являются или консольными балками, или балками неразрезными, или наконец, трехшарнирными арками, в зависимости от устройства средних замков. Ригельные замки передают только перерезывающую силу; фермы работают при этом как консольные. Пальцевое зацепление передает, кроме перерезывающей силы, также и момент и обращает фермы в неразрезные трехпролетные балки. Однако, вследствие неизбежных зазоров в пальцевых замках и относительно малой их жесткости, момент передается не полностью. Характерны цифры, полученные при испытании ферм разводной части Охтенского моста в Ленинграде. Теоретические прогибы этих ферм: в предположении консольных ферм 43,8 мм, в предположении неразрезных — 22,1 мм; при испытании получился прогиб, равный 30 мм, т. е. фермы заняли среднее положение между неразрезными и консольными.

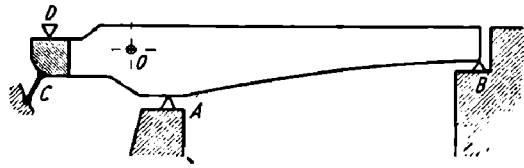
Поэтому осторожнее считать фермы как консольные, с проверкой их как неразрезных. На пальцевое соединение при таком способе расчета следует смотреть как на средство, увеличивающее жесткость ферм.

От постоянной нагрузки фермы двухкрылых мостов работают и в закрытом состоянии моста как балки с консолями.

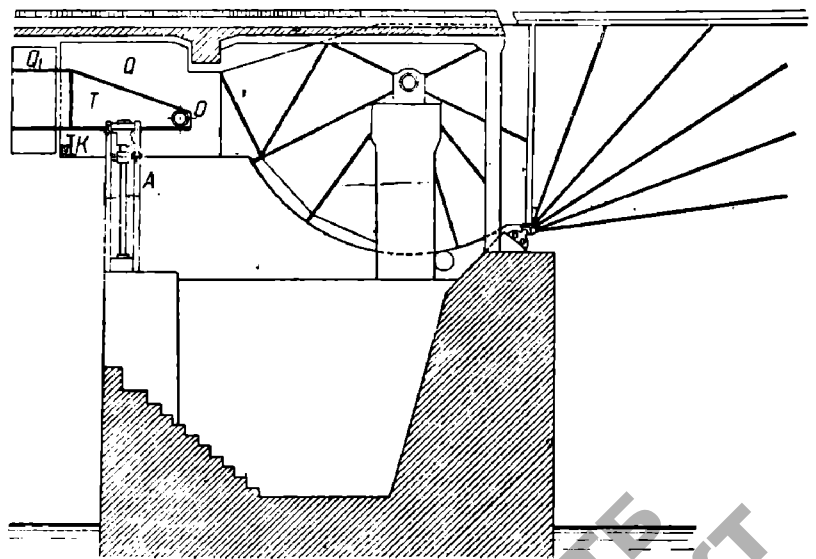
Устраивая фермы разводного пролета, как трехшарнирные арки, следует обратить внимание на явления, которые будут происходить от изменения температуры. Для создания распорности системы необходимо переместить равнодействующую постоянной нагрузки (включая противовес) с оси вращения в пролет с таким расчетом, чтобы при самом невыгодном положении временной нагрузки в среднем шарнире сохранялось нажатие.

Перемещение равнодействующей достигается действием подклинивающих хвостовых замков. Если противовесы подвешены шарнирно, то подклинка качающимися стойками, по типу Республиканского моста (см. § 21), обеспечивает необходимую подвижность хвостовой части при колебаниях температуры. Если же противовесы жестко соединены с хвостовой частью, то обычного типа подклинивающий механизм не годится, т. к. не дает возможности концу хвостовой части иметь вертикальные перемещения, вызываемые поворотом хвоста от температурных деформаций арки.

Удачное решение для арочной системы с жестко прикрепленным противовесом дано в проекте разводного пролета моста имени т. Володарского через р. Неву в Ленинграде (фиг. 388-а). Кроме основных противовесов Q даны дополнительные Q_1 , соединенные с основными рычажными балками T , шарнирно прикрепленными в точках O . В закрытом состоянии моста противовесы Q_1 подклинены хвостовыми



Фиг. 388.



Фиг. 388-а.

Удачное решение для арочной системы с жестко прикрепленным противовесом дано в проекте разводного пролета моста имени т. Володарского через р. Неву в Ленинграде (фиг. 388-а). Кроме основных противовесов Q даны дополнительные Q_1 , соединенные с основными рычажными балками T , шарнирно прикрепленными в точках O . В закрытом состоянии моста противовесы Q_1 подклинены хвостовыми

замками А. При открывании моста хвостовые замки освобождают балки Т, и последние находят себе опоры в консолях К основных противовесов. Таким путем осуществляется перемещение равнодействующей постоянной нагрузки из пролета на ось вращения и обратно.¹

Похожее на описанное, но менее удачное, решение дано в одном из проектов, предложенных на конкурс моста между Sæland и Amager.²

Преимуществом трехшарнирной арки перед системами с ригельными и пальцевыми замками является отсутствие горизонтальных перемещений одного крыла по отношению к другому, достигающих внушительных размеров уже при пролетах 30—40 м.

80. Расчет ферм двукрылых систем как неразрезных следует вести с обязательным учетом переменности момента инерции поперечных сечений ферм.

В качестве наиболее простого, по нашему мнению, способа, расчета трехпролетной неразрезной балки с переменным моментом инерции—можем рекомендовать следующий способ.

Рассматриваем 2 системы I и II (фиг. 389).

Сложенные вместе эти системы дают систему III.

Действие крайних пролетов заменяем приложенными на концах моментами. Очевидно:

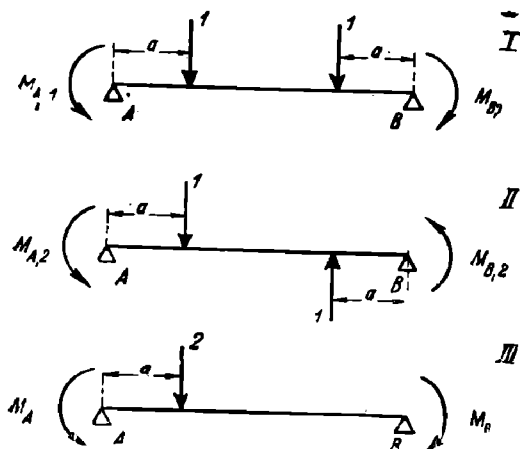
$$M_{A, I} = M_{B, I}$$

и

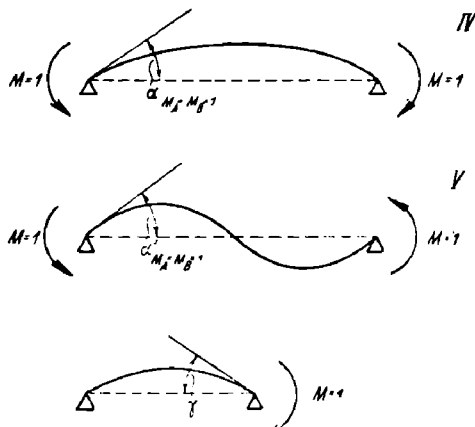
$$M_{A, II} = -M_{B, II}$$

Для отыскания неизвестных опорных моментов пользуемся равенствами углов поворота на опоре среднего и крайнего пролетов (фиг. 390).

$$\begin{aligned} \alpha_p - \alpha_{M_A - M_B = 1} \cdot M_1 &= \gamma \cdot M_1 \\ \alpha_p' - \alpha'_{M_A - M_B = 1} \cdot M_2 &= \gamma \cdot M_2, \end{aligned} \quad (1)$$



Фиг. 389.



Фиг. 390.

где

α_p и α_p' — углы поворота опорного сечения от внешней нагрузки, т. е. соответственно от единичных сил (система I (α_p) и (и) темы II (α_p');

$\alpha_{M_A - M_B = 1}$ — угол поворота опорного сечения от моментов, равных единице, приложенных на опорах (IV, фиг. 390);

$\alpha'_{M_A - M_B = 1}$ — угол поворота опорного сечения от моментов, равных единице, приложенных на концах в направлении, показанном на схеме V (фиг. 390);

γ — угол поворота опорного сечения крайнего пролета от момента равного единице, приложенного на конце.

¹ Проект разводной части Володарского моста, составленный под руководством проф. Передерия инж. Крыжановским, был закончен после того, как книга была сдана в печать. Поэтому автор лишен возможности привести детали этого, весьма интересного во многих отношениях, разводного моста с сварными фермами (со сплошной стенкой).

² Bautechnik 1926, II. 34.

Из равенств (1) следует, что

$$M_1 = \frac{\alpha_p}{\gamma + \alpha_{M_A - M_B - 1}}, \quad (2)$$

$$M_2 = \frac{\alpha'_p}{\gamma + \alpha'_{M_A - M_B - 1}},$$

искомый опорный момент

$$M_A = \frac{M_1 + M_2}{2}.$$

Для построения линии влияния опорного момента M_1 , необходимо определить углы $\alpha_{M_A - M_B - 1}$, $\alpha'_{M_A - M_B - 1}$, γ и углы α_p и α'_p для разных положений грузов, равных единице.

Для этой цели достаточно рассмотреть случаи IV и V. Загрузить балку фиктивными грузами $\frac{M}{I_x}$ и $\frac{M'}{I_x}$, где M и M' — моменты в разных сечениях от нагрузки, изображенной на фиг. 390 в IV и V схемах. Опорные реакции фиктивных грузов, разделенные на модуль упругости, дадут углы α_{M_A} и α'_{M_A} . Затем следует найти моменты фиктивных грузов в различных сечениях, что, по разделению на модуль упругости, дает прогибы соответствующих точек. Линии этих прогибов и есть, на основании теоремы о взаимности перемещений, линии влияния для углов поворота α_p и α'_p . I_x — моменты инерции сечений балки.

Ввиду симметричности достаточно проделать вычисления лишь для половины пролета. Следует лишь иметь в виду, что для первой половины нужно складывать моменты M_1 и M_2 , а для второй половины вычитать, так как α'_p изменит знак.

Зная линию влияния для опорных моментов, нетрудно вычислить ординаты линии влияния для моментов в любом сечении (μ_3), суммируя (алгебраически) моменты, как для разрезной балки (μ_1), с изгибающим моментом от опорных моментов (μ_2)

$$\mu_3 = \mu_1 + \mu_2,$$

причем

$$\mu_2 = M_2 + \frac{(M_1 - M_2)(l - x)}{l},$$

или

$$\mu_2 = M_1 + \frac{(M_2 - M_1)x}{l}.$$

Угол γ определяется как опорная реакция фиктивных грузов $\frac{M''}{I}$, действующих на крайний пролет. M'' — изгибающие моменты в разных сечениях крайнего пролета от момента, равного единице, приложенного на опоре.

Для эскизного проекта можно упростить приведенный выше расчет, рассматривая лишь загрузку среднего пролета равномерно распределенной нагрузкой. В этом случае

$$M_A = M_B = \frac{\alpha_p}{\gamma + \alpha_{M_A - M_B - 1}}.$$

причем α_p — угол поворота системы I (фиг. 399) от равномерно распределенной нагрузки, найденный как опорная реакция фиктивных грузов.

При расчете сквозных ферм как неразрезных выбор дополнительных неизвестных и составление уравнений для их нахождения можно оставить такими же, как описано выше.

Определение же деформаций удобнее всего вести, пользуясь методом фиктивных грузов.

Приводим основные положения этого метода¹:

1. Влияние деформации какого-нибудь элемента фермы на вертикальные перемещения ее узлов может быть выражено фиктивным грузом

где:

$$E_{\varphi} = \sigma_{\varphi} \cdot l \cdot S_1,$$

σ_{φ} — напряжение в рассматриваемом элементе от внешних сил,

¹ Подробности см. в статье автора «Определение деформаций сквозных ферм методом фиктивных грузов». Сборник Труды Ленинградского института инженеров путей сообщения, вып. 104.

l — длина элемента,

S_1 — так называемое «единичное усилие», т. е. усилие в элементе от момента относительно его точки Риттера, равного единице,

E — модуль упругости.

2. Фиктивный груз приложен в точке Риттера, соответствующей рассматриваемому элементу. Точка Риттера предполагается соединенной не принадлежащими ферме стержнями с тем сечением фермы, которое надо провести, чтобы определить усилие в элементе.

3. Фиктивный груз направляется или вниз (положительное направление) или вверх (отрицательное направление) в зависимости от знака выражения $E_p = \sigma_p \cdot S_1 \cdot l$.

При этом необходимо, сохраняя знак для σ_p , также и единичному усилию S_1 приписывать определенный знак. Этот знак должен соответствовать действию груза, приложенному в точке Риттера и связанному с той частью фермы, которая положительным фиктивным грузом изгибается выпуклостью вниз.

4. Фиктивный груз, приложенный в точке Риттера, заменяется двумя фиктивными грузами, приложенными в соответствующих узлах фермы так, чтобы действие новых фиктивных грузов было одинаковым с фиктивным грузом, который они заменяют.

5. Вертикальные перемещения узлов фермы определяются как изгибающие моменты от фиктивных грузов, углы поворота — как перерезывающие силы. Вертикальные перемещения положительные, если они направлены вниз. Знак моментов фиктивных грузов — по обычному правилу: положительному моменту соответствует изгиб выпуклостью вниз.

81. Расчет ферм раскрывающихся мостов в открытом состоянии следует производить, рассматривая их как консоли и учитывая переменный угол наклона крыла к горизонту. Для каждого элемента необходимо найти невыгоднейший угол наклона.

В качестве примера рассмотрим определение усилий при открывании моста в элементах фермы с параллельными поясами (фиг. 391). Постоянную нагрузку можно предположить сосредоточенной в узлах фермы. Пусть равнодействующая всех сил, приложенных в узлах верхнего пояса справа от сечения $\beta\beta$, будет Q_0 ; тоже для нижнего пояса — Q_u . Общая равнодействующая — Q . Угол наклона крыла к горизонту α .

Усилие в раскосе определится из равенства

$$D \sin \gamma + Q \cdot \cos \alpha = 0; \quad D = - \frac{Q \cdot \cos \alpha}{\sin \gamma}.$$

Наибольшее значение D будет при $\alpha = 0$, т. е. в начале открывания моста.

Усилие в нижнем поясе найдем из уравнения:

$$U \cdot h + Q_0 \cdot l_0 \cdot \cos \alpha + Q_u (l_u \cdot \cos \alpha + h \cdot \sin \alpha) = 0,$$

$$U = - \frac{1}{h} (Q \cdot l \cdot \cos \alpha + Q_u \cdot h \cdot \sin \alpha),$$

где $Q \cdot l = Q_0 \cdot l_0 + Q_u \cdot l_u$ — момент всех сил, находящихся справа от точки N , вычисленный для горизонтального положения крыла.

Далее

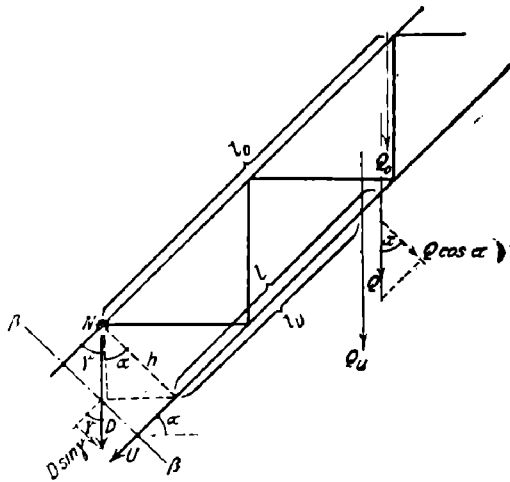
$$\frac{dU}{d\alpha} = - \frac{1}{h} (-Q \cdot l \cdot \sin \alpha + Q_u \cdot h \cdot \cos \alpha) = 0,$$

откуда

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Q_u \cdot h}{Ql}$$

Таким образом, наибольшие усилия в элементах нижнего пояса получаются при разных для каждого элемента углах наклона.

Для верхнего пояса



Фиг. 391.

$$O = \frac{1}{h} (M_n \cdot \cos \alpha - Q_0 h \cdot \sin \alpha),$$

где M_n —момент сил относительно соответствующей точки моментов.

$$\operatorname{tg} \alpha = - \frac{Q_0 h}{M_n},$$

что приводит к углам, невозможным в действительности. Из выражения для O видно, что наибольшее растягивающее усилие в верхнем поясе будет при $\alpha=0$, наибольшее сжимающее—при α , равном наибольшему углу открытия.

Подобными приемами решается задача и для ферм с иным очертанием поясов и с другой решеткой.

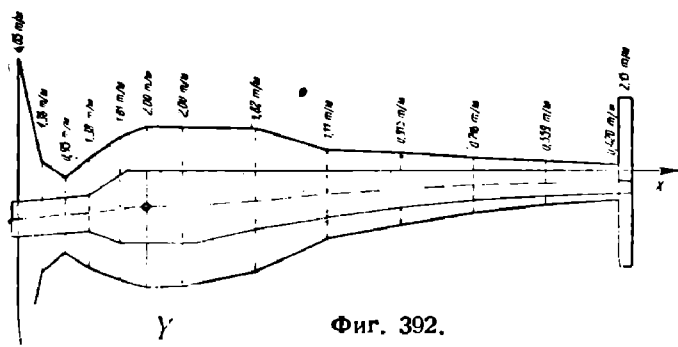
82. Определение центра тяжести пролетного строения, размеров и положения противовеса. Определение центра тяжести пролетного строения после того, как стали известны размеры и вес всех его элементов, не представляет никаких принципиальных трудностей. В решетчатых фермах вес элементов ферм и связей можно разнести по узлам. Проезжую часть лучше рассматривать в виде самостоятельной полоски, найдя предварительно центр тяжести этой полоски. Статические моменты всех грузов, взятые относительно двух координатных осей, разделенные на сумму грузов, дадут координаты центра тяжести.

Если фермы с сплошной стенкой, то вводятся в рассмотрение участки стенки, определяются их центр тяжести и т. д.

Однако положение центра тяжести пролетного строения необходимо знать еще до того, как произведен детальный расчет пролетного строения.

Для приблизительного определения центра тяжести можно воспользоваться эпюрой распределения веса по длине пролетного строения. Чтобы построить эту эпюру, нужно от середины высоты фермы, в разных сечениях, отложить симметрично в обе стороны в некотором масштабе вес ферм со связями, определенный приближенным способом для данного сечения и отнесенный к 1 пог. м длины пролетного строения. Соединяя полученные точки прямыми линиями, т. е. предполагая, что вес на 1 пог. м меняется между сечениями по закону прямой, будем иметь эпюру распределения веса.

На фиг. 392 в качестве примера приведена эпюра распределения веса средней фермы разводной части Охтенского моста, построенная по окончательным весам.



Фиг. 392.

Резкие изменения ординат в начале и в конце эпюры объясняются влиянием веса балластного ящика и пальцевых замков.

Центр тяжести полученной фигуры, найденный или вычислением, или графическим построением, или, наконец, при помощи вырезанной из картона модели—и будет искомым центром тяжести пролетного строения без проезжей части. Последняя учитывается отдельно.

Чем больше взяты сечений при построении эпюры распределения веса, тем, понятно, точнее результат. Однако для первоначальных соображений бывает достаточно сравнительно небольшого числа сечений (4—5 для крыла, 3—4 для хвостовой части).

Если есть основания предполагать, что вес ферм со связями нельзя считать приложенным посредине высоты фермы (например, если один пояс тяжелее другого или верхние связи иного веса чем нижние), то при построении эпюры распределения веса откладывать веса надо не от середины высоты ферм, а от центра тяжести вертикальной полоски, вырезанной из пролетного строения, в рассматриваемом месте.

Зная центр тяжести пролетного строения нетрудно подобрать форму и размеры противовеса, исходя из условий уравнивания, присущих каждой системе.

Эти условия были указаны в соответствующих параграфах.

Заметим, что в качестве материала для противовеса применяется или чугун или бетон. При чугунном балласте следует при подсчете его веса положить около 5% на неизбежные пустоты. Бетон для противовесов зачастую берется утяжеленным, т. е. с включением чугунного лома, старых рельсов, железной руды и т. п.

Так, напримр, в мосту Книпельбро системы Штрауса вес 1 м^3 бетонного, с металлическим каркасом, противовеса принят равным $4,9 \text{ т}$ (Engin., 1911, стр. 406).

Часть противовеса (около $5\text{--}10\%$) следует назначать в виде отдельных, умеренного веса, блоков, легко снимаемых, с тем чтобы можно было произвести точное уравновешивание после постройки моста.

§ 37. ПОСТРОЕНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ РАСКРЫВАЮЩИХСЯ МОСТОВ

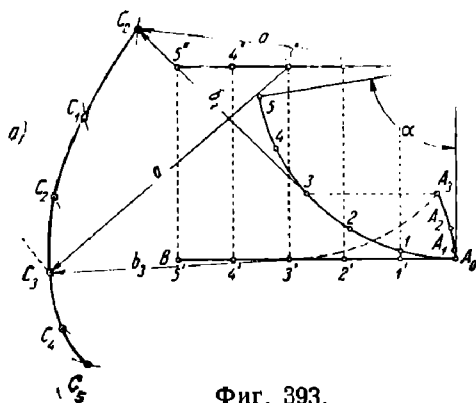
83. В мостах с постоянной осью вращения траектории всех точек пролетного строения—дуги круга.

Траектории точек противовеса при шарнирном его прикреплении также дуги круга. Центры этих дуг занимают такое же положение относительно прямой OA (Фиг. 400), какое занимает точка, траектория которой отыскивается, относительно прямой OB . Например, траектория центра тяжести противовеса D есть дуга круга, описанная из центра D_0 (Фиг. 400).

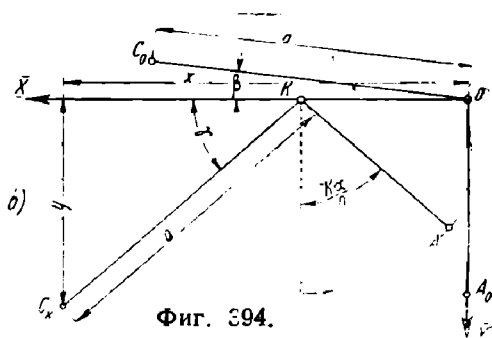
Не рассматривая способы построения траекторий тех систем раскрывающихся мостов, которые в настоящее время применяются редко, остановимся на системах Шерцера и Ралля.

В системе Шерцера все точки пролетного строения движутся по циклоидам. Для построения траекторий движения необходимо отложить по направлению откатывания развернутую длину дуги катания. Если радиус этой дуги R , угол наибольшего поворота— α (в градусах), то $A_0B = \frac{\pi R \alpha}{180}$ (Фиг. 393).

Затем длину дуги откатывания и ее развертку делим на произвольное число n частей.



Фиг. 393.



Фиг. 394.

При откатывании точки дуги катания $1, 2, 3, \dots$ занимают положения $1', 2', 3', \dots$. Центр O движется по горизонтальной прямой. Определенным моментам движения отвечают положения центра $O\text{—}1'', 2'', 3'', \dots$. Зная в каждый момент движения положения двух точек системы, можно найти положение любой точки той же системы посредством засечек.

Например, в момент движения 3 , положение точки C определяется пересечением двух дуг. Одна из них—из центра $3''$ радиусом, равным OC_0 , другая—из центра $3'$ радиусом, равным C_0C .

Для построения траектории точки A (Фиг. 393) пригоден еще другой прием. Из точек $1, 2, 3, 4, \dots$ проводятся горизонтальные прямые до пересечения с дугами круга, описанными из центров $1'', 2'', 3'', \dots$ радиусом OA_0 . На Фиг. 393, показано определение A_3 по этому способу. Мгновенный центр вращения движется по прямой A_0B . Соответствующие каждому моменту движения положения мгновенного центра: $A_0, 1', 2', 3'$ и т. д.

Аналитически, координаты траектории какой-нибудь точки, например точки C , определяются следующими уравнениями (Фиг. 394).

Предположим, что рассматривается момент движения, которому соответствует поворот пролетного строения на угол $\frac{k\alpha}{n}$

Первоначальное положение точки C (C_0) задано углом β и расстоянием a от начала координат O . Направление координатных осей показано на чертеже, угол β в соответствии с направлением координат будем считать положительным против часовой стрелки. Показанный на чертеже угол, следовательно, отрицателен. Имеем следующие зависимости:

$$\gamma = \frac{k\alpha}{n} + \beta,$$

$$x = R \cdot \frac{k\alpha}{n} + a \cdot \cos\left(\frac{k\alpha}{n} + \beta\right),$$

$$y = a \cdot \sin\left(\frac{k\alpha}{n} + \beta\right),$$

где R —радиус дуги откатывания.

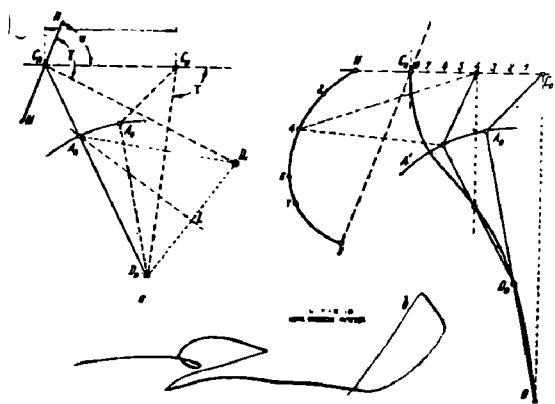
84. Определение траектории движения *мостов системы Ралля* удобнее всего производить графическим построением. Практическое применение имеют преимущественно т. н. системы с обратной тягой.

Чтобы построить траектории движения такой системы, необходимо задаться некоторыми величинами, определяющими кинематику системы. Проще всего за исходные данные взять положение центра катка для закрытого состояния моста C_0 , длину откатывания S , предельный угол поворота α и положение нижнего шарнира тяги D_0 .

Центр катка должен совпадать с центром тяжести системы и может быть расположен на вертикали, проходящей через положительную опору. Нижний шарнир совпадает или почти совпадает, в зависимости от тех или иных конструктивных вариантов, с положительной опорой. Угол поворота достаточно взять $80-85^\circ$. Длина откатывания при длине крыла $20-30$ м может быть назначена ориентировочно в $2-2,5$ м.

Окончательные значения исходных величин устанавливаются на основании оценки получающейся траектории движения конечной точки хвостовой части, положения крыла в раскрытом состоянии по отношению к судоходному отверстию и т. п.

На фиг. 395 C_0 —центр катка в закрытом состоянии пролетного строения, C —то же в открытом, D_0 —нижний шарнир тяги. Проводим прямую MN , составляющую с C_0C_n



Фиг. 395.

угол α (угол предельного поворота). Затем под углом a к прямой MN проводим прямую SpD , на которой откладываем $C_nD_1 = C_0D_0$. Угол γ —между горизонтальной прямой, проходящей через центр катка, и прямой C_0D_0 , соединяющей первоначальное положение центра катка с нижним шарниром тяги.

Точка D_0 принадлежит одновременно и пролетному строению (в закрытом состоянии) и неподвижной части моста (нижний шарнир тяги). Верхний шарнир тяги остается в неизменном расстоянии как от нижнего шарнира, так и от точки D_0 , принадлежащей пролетному строению. Эта последняя занимает в открытом состоянии моста по-

ложение D_1 . Следовательно верхний шарнир тяги, как равноудаленный от точек D_0 и D_1 , должен лежать на перпендикуляре, проходящем через середину отрезка D_0D_1 .

Пересечение перпендикуляра с прямой C_nD_0 дает точку A_n —верхний шарнир тяги. Траектория движения верхнего шарнира тяги—дуга круга, описанная из точки D_0 , как из центра. Начальное и промежуточные положения точки A легко найти, приняв во внимание, что расстояние между центром катка и верхним шарниром тяги остается постоянным. Следовательно $C_0A_0 = C_nA_n$, что дает положение точки A_0 и т. д.

Возможно, если это окажется удобным, назначить верхний шарнир тяги несколько выше пересечения перпендикуляра KL с прямой C_nD_0 (оставив его на прямой KL), что, впрочем, связано с увеличением длины тяги при прочих равных условиях.

Выбрать верхний шарнир ниже указанного пересечения нельзя, т. к. система с обратной тягой превратится в систему с тягой, выступающей в пролет.

Мгновенный центр вращения находится на пересечении направления тяги с вертикальной прямой, проходящей через центр катка. Производя подобные построения для ряда положений катка, будем иметь траекторию мгновенного центра. Траектории других точек системы легко находятся посредством засечек из тех точек, траектории которых уже известны, например, из центра катка и мгновенного центра вращения, или верхнего шарнира тяги. На фиг. 395 показаны линии движения мгновенного центра и хвостовой точки N .

§ 38. СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ В РАСКРЫВАЮЩИХСЯ МОСТАХ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

85. Общие замечания. Сопротивление движению в раскрывающихся мостах вызывается: 1) силами инерции, 2) ветром, 3) неуравновешанной частью настила, 4) трением.

Сопротивление от сил инерции составляет, вообще говоря, небольшую часть общей суммы сопротивлений, поэтому практически достаточно ограничиться приближенной величиной этого фактора.

Интенсивность ветра при расчете сопротивлений движению принимается, согласно установившейся практике, равной 40—50 $\text{к}/\text{м}^2$.

Если считать, что это давление (обозначим его через w) приходится на 1 м^2 поверхности нормальной действию ветра и что направление ветра горизонтально, то величина составляющей сил ветра, нормальной к поверхности настила, была бы равна

$$p = w \cdot \sin^2 \alpha,$$

где α —угол открытия крыла.

Однако, на основании некоторых опытных данных, обычно принимается]

$$p = w \cdot \sin \alpha.$$

Вообще этот вопрос нельзя считать достаточно изученным. В дальнейшем мы будем принимать для p закон изменения по $\sin \alpha$.

Сопротивление от неуравновешанной части настила возникает вследствие свойства дерева менять вес с изменением влажности. Можно считать, что это изменение выражается цифрой 50—70 $\text{к}/\text{м}^3$. Предполагается, что, за исключением влияния на вес изменения влажности, система вполне уравновешенная. Если по каким-либо соображениям это условие не выполнено, надлежит учесть также работу, которую придется затрачивать на преодоление неуравновешенности системы.

Наконец, сопротивление от трения—это сопротивления, которые возникают в осях, шарнирах, также при катании сектора мостов Шерцера и катка мостов Ралля.

Ниже рассмотрены приемы определения сопротивления движению раскрывающихся мостов различных систем.

86. Сопротивление движению в раскрывающихся мостах с неподвижной осью вращения и с жестким креплением противовеса. Момент сил инерции при вращательном движении выражается такой формулой

$$M = \frac{J \cdot \omega}{t_1},$$

где:

J —момент инерции движущейся массы относительно центра вращения,
 ω —угловая скорость равномерного движения крыла,
 t_1 —период ускорения.

$$J = \sum \frac{G}{g} \cdot r^2,$$

где:

G —вес отдельных элементов пролетного строения,
 r —расстояние от центра тяжести элементов до оси вращения,
 g —ускорение силы тяжести.

Чтобы упростить вычисления, можно считать, что веса отдельных участков пролетного строения сосредоточены на горизонтальной прямой, проходящей через ось вращения. Как показали сравнительные подсчеты (например для разводной части Охтенского моста), такое допущение дает вполне достаточную точность. Момент инерции массы противовеса следует вычислять отдельно.

Для отыскания угловой скорости равномерного движения надлежит обратиться к диаграмме, изображающей изменение угловой скорости в функции от времени (фиг. 396). Площадь диаграммы представляет собой полный угол поворота крыла.

Имеем:

$$\frac{\omega t_1}{2} + \omega t + \frac{\omega t_2}{2} = \varphi,$$



Фиг. 396.

откуда

$$\omega = \frac{\varphi}{\tau},$$

где $\tau = \frac{t_1}{2} + t + \frac{t_2}{2}$ — так называемое *приведенное время вращения*.

Время ускорения и замедления в современных быстродействующих разводных мостах равно 5—10 сек. Время полного поворота T равно 50—90 сек.

Работа сил инерции:

$$A_i = M_i \cdot \frac{\omega t_1}{2} = \frac{J\omega^2}{2}.$$

Момент сил ветра относительно оси вращения при крыле, повернутом на угол α (фиг. 397):

$$M_w = w \cdot b (l - c) \cdot \sin \alpha \cdot \left(\frac{l - c}{2} + c \right),$$

где:

w — интенсивность давления ветра,

b — ширина полотна,

l — длина крыла, считая от оси вращения,

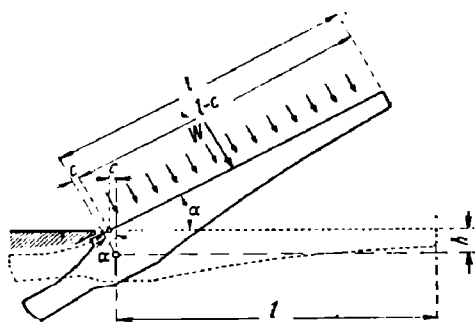
c — часть крыла, спрятавшаяся при повороте за неподвижную часть моста.

Так как

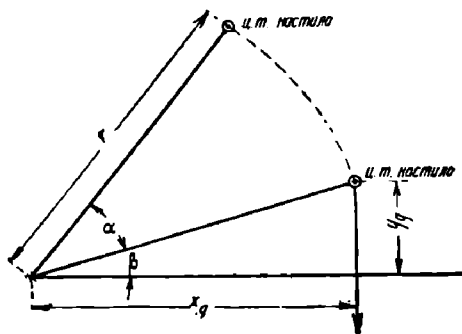
$$c = h \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

где h — расстояние по вертикали от оси вращения до полотна, то

$$\begin{aligned} M_w &= w \cdot b \left(l - h \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \sin \alpha \cdot \frac{1}{2} \left(l + h \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) = \\ &= \frac{wb}{2} \left(l^2 - h^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} \right) \cdot \sin \alpha = wb \left(\frac{l^2 + h^2}{2} \cdot \sin \alpha - h^2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right). \end{aligned}$$



Фиг. 397.



Фиг. 398.

Полная работа сил ветра при повороте от 0 до φ :

$$\begin{aligned} A_w &= w \cdot b \int_0^\varphi \left[\frac{l^2 + h^2}{2} \sin \alpha - h^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right] d\alpha = \\ &= wb \left[\frac{l^2 + h^2}{2} (1 - \cos \varphi) + 2 h^2 \ln \cos \frac{\varphi}{2} \right]. \end{aligned}$$

Учет величины c сравнительно мало отражается на результате. Принимая во внимание известную условность при задании величины интенсивности ветра, казалось бы нет нужды усложнять расчет рассмотрением маловажных обстоятельств.

Величину c , в особенности при эскизных подсчетах, можно полагать равной нулю.

Тогда формулы упрощаются:

$$M_w = \frac{w \cdot b l^2}{2} \sin \alpha,$$

$$A_w = \int_0^\varphi \frac{w \cdot b l^2}{2} \sin \alpha = \frac{w \cdot b l^2}{2} (1 - \cos \varphi).$$

Сопротивление движению от неуравновешенной части настила характеризуется моментом (фиг. 398):

$$M_g = \pm \Delta G \cdot r \cdot \cos(\alpha + \beta),$$

где ΔG —разница в весе настила от изменения влажности; значения других величин ясны из фиг. 398.

Соответствующая работа при открывании на угол φ :

$$A_g = \int_0^\varphi \Delta G \cdot r \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot d\alpha = \Delta G \cdot r [\sin(\varphi + \beta) - \sin \beta].$$

Те же величины, выраженные через координаты центра тяжести настила x_g, y_g :

$$M_g = \pm \Delta G (x_g \cdot \cos \alpha - y_g \cdot \sin \alpha),$$

$$A_g = \pm \Delta G [x_g \cdot \sin \alpha + y_g \cdot \cos \alpha]^\varphi.$$

Сопротивление движению от трения при жестком прикреплении противовеса и неподвижной оси вращения возникает лишь от сил трения в оси вращения. Эти силы, как известно, пропорциональны давлениям на ось. Строго говоря, давление на ось не остается постоянным: оно меняется в связи с изменением ветровой реакции и зависит также от величины движущей силы. Таким образом при точном решении рассматриваемой задачи необходимо определить равнодействующие всех реакций, возникающих на оси вращения, для целого ряда последовательных положений крыла и по ним найти сопротивляющиеся вращению моменты и суммарную работу.

Например, для положения крыла, изображенного на фиг. 399, предполагая что движущая шестерня находится на конце хвостовой части, имеем следующее.

Приближенное значение момента трения

$$M_f' = f \cdot G \cdot r,$$

где:

f —коэффициент трения,

G —вертикальное давление на ось,

r —радиус оси вращения.

Приближенное значение движущей силы

$$Z = \frac{M_f' + \Sigma M}{R},$$

где:

ΣM —момент сопротивления движению от остальных (кроме трения) факторов,

R —радиус цевочной дуги.

Ветровая реакция:

$$W_0 = \frac{W_e}{R}.$$

На ось действуют силы:

$$G, Z \text{ и } W_0.$$

Равнодействующая этих сил, найденная графическим сложением или иным способом— S .

Исправленное значение момента трения:

$$M_f = f \cdot S.$$

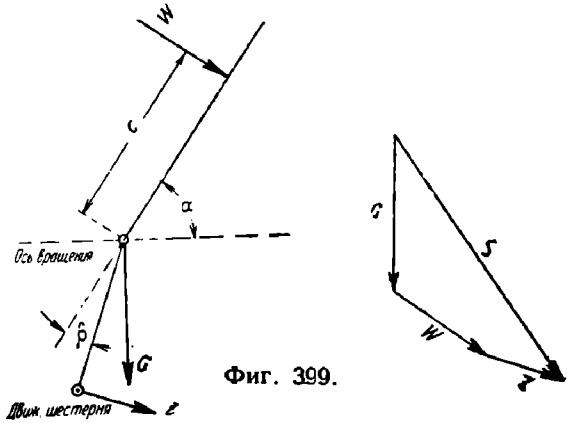
В сущности и это значение не является вполне точным, т. к. в связи с изменившимся M_f меняется и Z , что в свою очередь влияет на M_f . Однако, для практических целей дальнейшие приближения излишни. Более того, поправка на силы Z и W вообще незначительна, а учитывая к тому же, что сопротивления от трения редко составляют больше 15—20% суммы всех сопротивлений, можно ограничиться первым приближением для M_f , т. е. считать

$$M_f = f \cdot G \cdot r.$$

Работа сил трения

$$A_f = f \cdot G \cdot r \cdot \varphi,$$

где φ —попрежнему полный угол поворота.



Фиг. 399.

Если желательно учесть работу сил трения более точно, то следует или определить наибольшие и наименьшие значения M_f и взять среднее между ними, или вычислить M_f для нескольких положений крыла и найти работу путем суммирования элементарных работ.

Момент сопротивления движения от всех факторов:

$$M_{\Sigma} = M_i + M_w + M_g + M_f.$$

Полная работа:

$$A_{\Sigma} = A_i + A_w + A_g + A_f.$$

По этим данным (M_{Σ} и A_{Σ}) находится мощность двигателя, подсчитывается передаточное число, делается расчет деталей механизмов и т. д. (см. § 38, 91).

87. Сопротивления движению в раскрывающихся мостах с шарнирным креплением противовеса (системы Штрауса). Определяются во многом так же, как и при жестком креплении противовеса.

Отметим некоторые особенности.

При вычислении сил инерции противовеса примем во внимание, что его центр тяжести движется по окружности, описанной из точки O (фиг. 400).

При вращательном движении, как известно, возникают силы инерции, направленные по касательной к траектории, равные

$$\frac{Q}{g} \cdot \frac{\rho \cdot \omega}{t_1}$$

и направленные по нормали

$$\frac{Q}{g} \cdot \rho \cdot \omega^2.$$

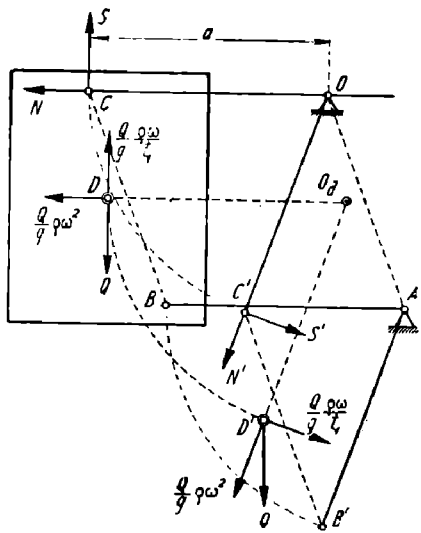
В этих формулах

$\frac{Q}{g}$ — масса противовеса,

ω — угловая скорость равномерного движения,

t_1 — время ускорения (или замедления),

ρ — радиус траектории центра тяжести противовеса.



Фиг. 400.

Под влиянием сил инерции тяга AB (фиг. 400) получает напряжение, а в точке привеса противовеса C возникает сила, которая может быть представлена вертикальной S и горизонтальной N с оставляющими.

Проектируем силы инерции и вызываемые ими реакции на направление, нормальное к тяге AB . Имеем

$$S = \frac{Q}{g} \cdot \frac{\rho \cdot \omega}{t_1}.$$

Момент сил инерции противовеса относительно оси вращения:

$$M_i = \frac{Q}{g} \cdot \frac{\rho \cdot \omega}{t_1} \cdot a = \frac{Q}{g} \cdot \frac{\omega \cdot a^2}{t_1}, \text{ так как } \rho = a.$$

Формула справедлива для любого наклона крыла.

Работа сил инерции противовеса

$$A_i = \frac{Q}{g} \cdot \frac{\omega \cdot a^2}{2}$$

Сопротивления от ветра определяются так же, как и в раскрывающихся мостах с жестким креплением противовеса.

К работе трения в оси вращения, найденной указанным ранее способом, надо прибавить работу трения в шарнирах.

Чтобы вычислить эту работу, необходимо знать давления в шарнирах в различные моменты вращения, что легче всего сделать посредством графического разложения сил, показанного на фиг. 401. Эпюры изменения давления в шарнирах, умноженного на радиус шарнира и на коэффициент трения, в функции угла поворота даны на фиг. 402. Площади эпюр представляют собой работу, которую необходимо затратить на преодоление трения в каждом из шарниров.

Суммируя работу сопротивлений от различных факторов для каждого момента движения, получим полную картину того режима, который требуется от двигателя. Нетрудно также выяснить наибольшее значение потребной движущей силы.

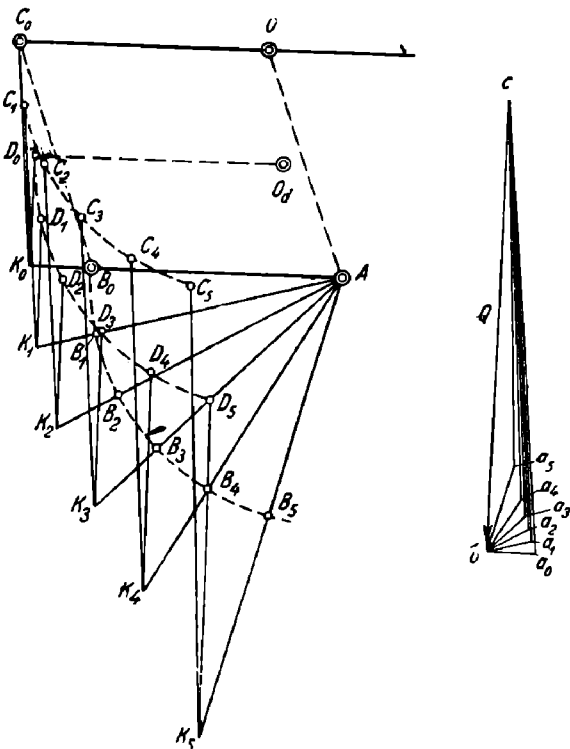
88. Сопротивление движению в коромысловых мостах. Сопротивления от сил инерции и неуравновешенной части настила определяются аналогично изложенному выше для простейшего типа раскрывающихся мостов. Учет сил инерции делается отдельно для крыла и отдельно для коромысла без каких-либо затруднений.

Особо остановимся на сопротивлении от трения и от сил ветра.

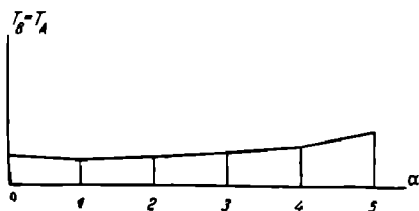
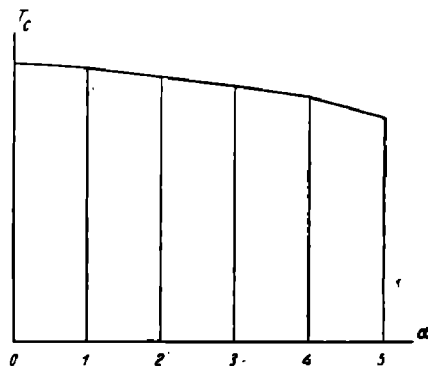
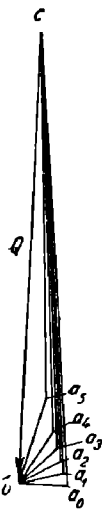
Имеется в коромысловой системе 4 места, где проявляется себя трение: ось крыла, ось коромысла и 2 шарнира тяги, соединяющей коромысло с крылом. Чтобы вычислить работу трения, надо знать те силы, которые передаются в перечисленных местах.

Эти силы возникают от трех причин: 1) веса пролетного строения, коромысла и балласта, 2) ветра и 3) усилия в тяге, приводящей систему в движение.

Из этих причин основные—две первых. Влияние третьего фактора можно ввести лишь как поправку, как второе приближение, после предварительного



Фиг. 401.



Фиг. 402.

определения всех сопротивлений. Ввиду незначительности поправки на движущую силу ее без существенного ущерба для дела можно опустить при вычислении работы сопротивлений движению.

На фиг. 403 показано распределение сил от веса пролетного строения для разных углов открытия.

Вес крыла Q_1 разлагается на две составляющие: одна из них направлена по тяге AB_0 , другая проходит через ось O_1 . Направление второй составляющей получим, если соединим O_1 с точкой C_0 (фиг. 403). На плане сил (фиг. 403) соответствующее разложение силы Q_1 выражается треугольником MNR . Усилие в тяге AB равно MR , давление на ось вращения— NR или точнее NK , причем RK есть вес, приходящийся непосредственно на ось вращения (вес опорных деталей).

Вес неуравновешенной части настила также уместно включить в величину RK , поскольку этот вес является неуравновешенным, а влияние момента веса можно учесть особо.

С другой стороны, усилие MR в тяге AB должно быть уравновешено весом коромысла с противовесом Q_2 и реакцией в оси вращения коромысла ML , что на плане сил изобразится треугольником MRL .

Вес тяги AB лучше всего отнести и к коромыслу, и к крылу, разделив пополам и сосредоточив по концам тяги, в точках A и B .

Если выполнить указанные выше построения для разных углов поворота крыла, то окажется, что пересечения различных направлений тяги с соответствующими на-

правлениями веса пролетного строения попадают на одну и ту же прямую O_1C_0 . Точно так же геометрическим местом точек E является прямая E_0O_2 . Поэтому план сил, изображенный на фиг. 403, остается одним и тем же для всех положений крыла.

Теперь рассмотрим действие на коромысловую систему ветра (фиг. 404).

Действие ветра на противовес можно свести к двум силам w_1 и w_2 , нормальным к его боковой и торцевой поверхностям. Равнодействующая этих сил W_{Σ} вызывает реакцию в оси вращения коромысла и усилие в тяге AB , величины которых можно узнать из плана сил (фиг. 404). KN —реакция в оси, MN —усилие в тяге для одного из положений крыла; построения для остальных положений, чтобы не затемнять чертежа, не показаны.

Величины нормальных к поверхностям противовеса сил ветра вычисляются по прежней формуле

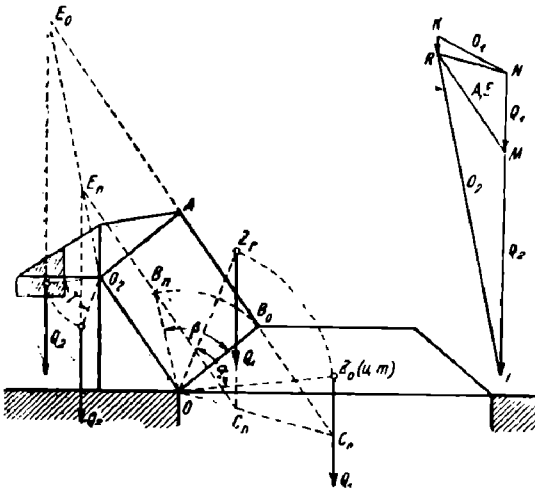
$$p = w \cdot \sin \alpha \text{ (на единицу площади),}$$

где:

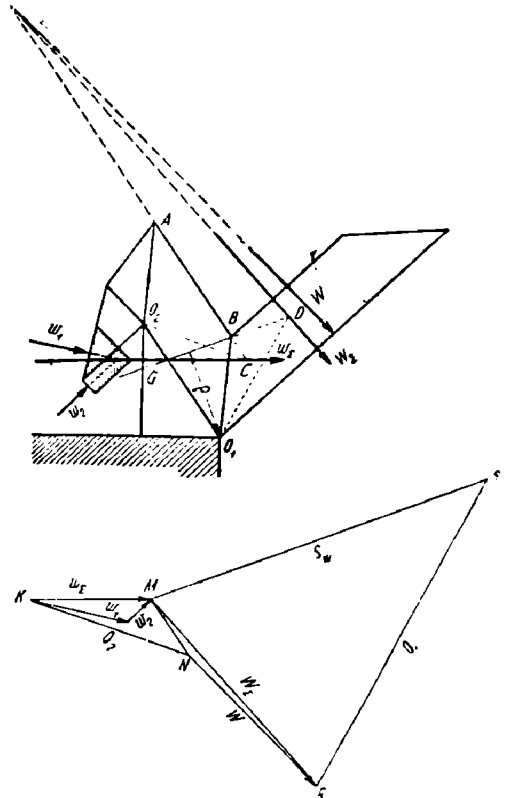
w —интенсивность ветра,

α —угол наклона поверхности к горизонту.

На пролетное строение действуют: ветровое усилие в тяге AB , переданное от коромысла, и силы ветра на само пролетное строение W . Сумма этих сил W_{Σ} , на плане сил—отрезок MR , уравнивается давлением на ось вращения крыла и усилием в зубчатой рейке BJ , служащей для приведения всей системы в движение. Необходимые для определения сил построения даны на фиг. 404. На плане сил: MS —усилие в тяге RG , RS —реакция в оси O_1 . Направления тяги BG определяются положением шестерни G (постоянно) и точки B (перемещается по дуге круга).



Фиг. 403.



Фиг. 404.

Произведя указанные построения для последовательных положений крыла и суммируя (геометрически) давления от постоянной нагрузки и от ветра, получим полные давления в каждом из шарниров, если пренебречь теми давлениями, которые возникают от усилия в тяге BG , направленного на преодоления момента от неуравновешенной части настила и трения в шарнирах.

Влияние этих давлений, как уже указывалось, незначительно. При желании легко их учесть. Необходимо лишь найти сумму моментов трения, взяв сначала приближенное их значение, и момента неуравновешенной части настила; затем разделить полученную сумму на расстояние g (фиг. 404) от оси O_1 до тяги BG , что и даст интересующее нас усилие в последней. В оси O_1 будет приложена одинаковая по величине и обратная по направлению реакция.

После этого останется геометрически сложить три реакции в оси O_1 : от постоянной нагрузки, от ветра и от дополнительного усилия в движущей рейке.

Момент трения, в шарнире будет равен:

$$M_f = D \cdot f \cdot r,$$

где

D —давление на шарнир,

f —коэффициент трения,

r —радиус шарнира.

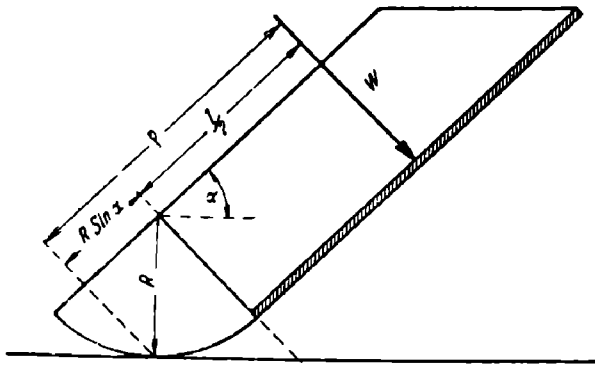
Работа трения получится как площадь эпюры, в которой по горизонтали отложены углы поворота, а по вертикали—моменты трения, соответствующие каждому углу.

Полезно для выяснения наибольшей величины работы трения обследовать как случай открывания моста, так и случай закрывания. Это в особенности необходимо для расчета тяги AB , так как в зависимости, от направления вращения в ней возникают или растягивающее или сжимающее усилия.

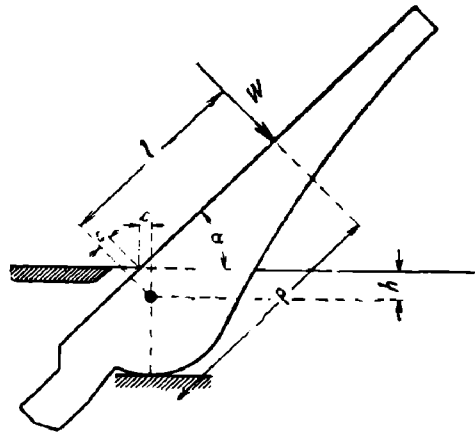
Что касается *до сопротивления движению от ветра*, то таковое определится моментом ветрового усилия в зубчатой рейке относительно оси вращения крыла:

$$M_w = s_w \cdot \rho.$$

Данные для вычисления M_w получаются из тех же диаграмм, которые строятся для определения работы трения. На фиг. 404 MS и есть нужное нам усилие в рейке. Плечо момента берем из схемы движения системы (на фиг. 404). Аналогично определяется сопротивление движению от неуровненного веса настила.



Фиг. 405.



Фиг. 406.

Работа на преодоление сопротивления движению от ветра по найденным моментам M_w находится уже знакомым нам способом (как площадь эпюры).

89. Сопротивления движению в мостах системы Шерцера. В отличие от раскрывающихся мостов ранее рассмотренных систем, в мостах Шерцера пролетное строение поворачивается вокруг центра, который сам перемещается по горизонтальной прямой. Поэтому при вычислении моментов сопротивления движению от ветра, от неуровненной части настила и от сил инерции, моменты надо относить к мгновенным центрам вращения. Положение последних показано на фиг. 293. В остальном порядок вычислений сопротивлений движению остается прежним.

Момент от сил ветра в мостах Шерцера с ездой понизу (фиг. 405).

$$M_w = l \cdot b \cdot w \cdot \sin \alpha \cdot \left(\frac{l}{2} + R \cdot \sin \alpha \right).$$

Соответствующая работа:

$$A_w = l \cdot b \cdot w \int \left(\frac{l}{2} \sin \alpha + R \cdot \sin^2 \alpha \right) d\alpha = lbw \left[\frac{l}{2} (1 - \cos \varphi) + \frac{R}{2} (\varphi - \cos \varphi \cdot \sin \varphi) \right].$$

В этих формулах W —интенсивность ветра (обычно 40—50 $к/м^2$).

Те же формулы пригодны для мостов с ездой поверху, если пренебречь тем, что при повороте часть проезжего полотна моста опускается и выходит из-под ветра.

Практически такое допущение вполне приемлемо. Ниже мы даем более точные формулы для этого случая (фиг. 406).

$$M_w = (l-c) \cdot b \cdot w \cdot \sin \alpha \left(\frac{l-c}{2} + c + R \cdot \sin \alpha \right) = bw(l-c) \times$$

$$\times \left(\frac{l+c}{2} + R \cdot \sin \alpha \right) \cdot \sin \alpha.$$

$$c = h \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

$$M_w = b \cdot w \left(l - h \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \cdot \left(\frac{l + h \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{2} + R \cdot \sin \alpha \right) \cdot \sin \alpha =$$

$$= bw \left[\frac{l^2 + h^2 - 2hR}{2} \sin \alpha - h^2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + R(l \cdot \sin \alpha + h \cdot \cos \alpha) \sin \alpha \right].$$

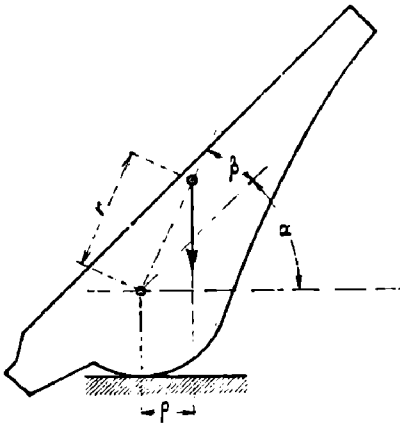
$$A_w = \int_0^\varphi M_w \cdot d\alpha = b \cdot w \left[\frac{l^2 + h^2 - 2hR}{2} (1 - \cos \varphi) - 2h^2 \cdot \ln \cos \frac{\varphi}{2} + \right.$$

$$\left. + \frac{Rl}{2} (\varphi - \cos \varphi \cdot \sin \varphi) + \frac{Rh}{2} \cdot \sin^2 \varphi \right].$$

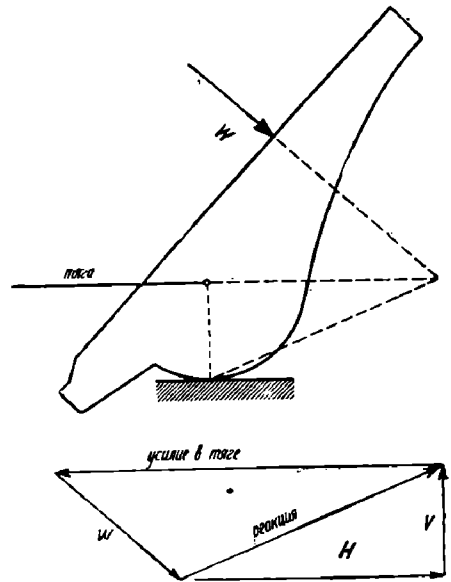
Момент от неуравновешенной части настила в мостах системы Шерцера (фиг. 407).

$$M_g = \pm \Delta G \cdot r \cdot \cos(\alpha + \beta),$$

т. е. той же формулой выражен, как и в мостах с неподвижной осью вращения. Справедливы все формулы, относящиеся к последнему случаю (стр 210).



Фиг. 407.



Фиг. 408.

Сопротивление движению от трения в мостах системы Шерцера составляется главным образом из трения при катании и, в незначительной степени, от скользящего трения, вызванного ветровым воздействием и усилием в движущей тяге.

Если вес пролетного строения, включая противовес, равен Q и движущая сила приложена к центру дуги катания, то момент трения при коэффициенте трения второго рода μ

$$M_\mu = \mu \cdot Q.$$

Работа трения

$$A_\mu = \mu \cdot Q \cdot \varphi.$$

Силы ветра на пролетное строение уравновешиваются усилием в тяге, приводящей систему в движение (или давлением на зубцы движущей шестерни), и реакцией в точке касания дуги откатывания. Реакция может быть заменена двумя составляющими—вертикальной V и горизонтальной H . Разложение сил показано на фиг. 408.

Составляющей V соответствует момент трения качения, равный

$$M_{\mu v} = \mu \cdot V.$$

Под влиянием горизонтальной составляющей H возникают силы трения в зубчатом зацеплении между сектором и путем откатывания. За плечо этих сил относительно точки поворота можно принять половину шага зацепления t . Тогда соответствующий момент трения будет равен

$$M_{f_n} = f \cdot \frac{t}{2} \cdot H.$$

Работу трения найдем, сделав разложение сил, показанное на фиг. 408, для ряда положений крыла и произведем вычисление выражений

$$A_{\mu v} = \sum \mu \cdot V \cdot da,$$

$$A_{f_n} = \sum f \cdot \frac{t}{2} \cdot H \cdot da.$$

Работа сил трения, вызванных усилением в движущей тяге, может быть учтена как работа момента

$$M = f \cdot \frac{t}{2} \cdot Z,$$

где

Z —усилие в тяге для преодоления сопротивлений движению от инерционных сил, ветра, неуравновешенной части настила и трения (вводится сначала приближенное значение); t —поперечному шаг зацепления.

Сопротивление от трения в шарнире движущей рейки или в оси движущей шестерни относится к работе движущего механизма и входит в коэффициент его полезного действия.

90. Сопротивления движению в мостах системы Ралля. Вследствие относительно сложной кинематики этой системы приходится пользоваться при определении сопротивлений движению почти исключительно графическими приемами.

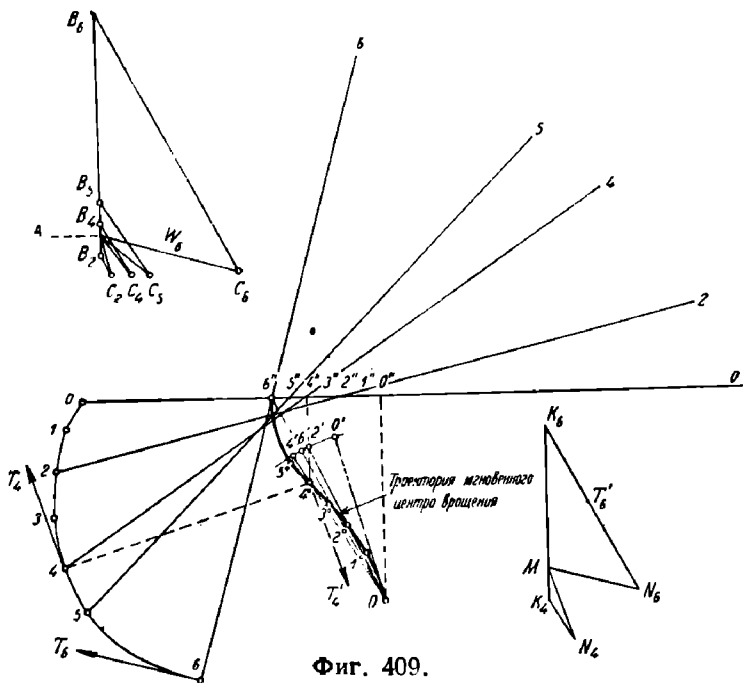
Сопротивления от ветра, неуравновешенной части настила и сил инерции определяются подобно изложенному ранее с тем отличием, что все моменты сопротивлений надо относить к мгновенным центрам вращения. Способ нахождения последних, указан в § 37 п. 84.

Чтобы узнать работу сопротивления движению от трения, предварительно выясняем распределение сил при различных углах открытия крыла.

Постоянная нагрузка приводится к одной вертикальной силе, приложенной в центре катка.

Равнодействующая сил ветра, перенесенная в мгновенный центр вращения, может быть разложена на вертикальную составляющую, проходящую через центр катка, и на составляющую, направленную по оси тяги.

На фиг. 409 показано разложение сил для некоторых положений крыла изучаемой системы. Так, например, для положения 4, давление ветра на крыло AC_4 уравнивается вертикальной реакцией в катке AB_4 и усилием в тяге B_4C_4 . Кроме того для преодоления момента сопротивления движению необходимо приложить движущую



Фиг. 409.

силу T_4 , касательную к траектории движения (сила T_4 перпендикулярна к линии, соединяющей точку 4 с мгновенным центром 4°). Сила T_4 сопровождается реактивной силой T_4^1 , имею ей точку приложения в мгновенном центре вращения. Пара сил T_4 и T_4^1 соответствует полному моменту сопротивления движению от всех факторов. Сила T_4^1 (на плане сил она изображается отрезком MN_4) вызывает дополнительные реакции: вертикальную (давление на каток) MK_4 и наклонную (усилие в тяге) K_4N_4 .

Такие же построения следует сделать для остальных положений крыла.

Если для приведения крыла в движение применяется не хвостовая шестерня и цевочная дуга, как предположено в разобранный выше примере, а какой-либо иной механизм,—построения для определения реакций несколько видоизменяются, но метод остается прежним.

По известным усилиям в тяге S определится момент трения в верхнем и нижнем шарнире при радиусе каждого из них r и коэффициенте трения f .

$$M_{r1} = M_{r2} = fS \cdot r.$$

Работа трения

$$A_{r1} = A_{r2} = \Sigma f \cdot S \cdot r \cdot \Delta\alpha,$$

где $\Delta\alpha$ —углы поворота тяги при переходе от одного положения крыла к другому.

В катке при его движении появляются: во-первых, трение второго рода от перекатывания катка и, во-вторых, трение первого рода в оси катка, т. к. крыло несколько поворачивается относительно катка.

Если за некоторый короткий промежуток времени каток переместился на длину ds , а пролетное строение повернулось относительно своего прежнего положения на угол $d\alpha$, то угол поворота крыла относительно катка, будет

$$d\beta = \frac{ds}{R} - d\alpha,$$

а элементарная работа трения, отнесенная к перемещению катка:

$$dA = \frac{Q \cdot \mu \cdot ds}{R} + Q \cdot f \cdot e \left(\frac{ds}{R} - d\alpha \right) = Q \cdot ds \left[\frac{\mu}{R} + f \cdot e \left(\frac{1}{R} - \frac{d\alpha}{ds} \right) \right].$$

В этих формулах:

R —радиус катка,

e —радиус оси катка,

μ —коэффициент трения при катании,

f —коэффициент трения в оси катка,

Q —полное давление на каток.

Та же работа может быть отнесена к углу поворота крыла.

$$dA = \left[Q \cdot d\alpha \left[\frac{\mu}{R} \cdot \frac{ds}{d\alpha} + f \cdot e \left(\frac{1}{R} \cdot \frac{ds}{d\alpha} - 1 \right) \right] \right].$$

Общий ход определения сопротивления движению в мостах Ралля следующий.

Разбиваем путь движения катка на некоторое число равных частей (5—10). Для каждого положения катка графическим построением находим угол открытия крыла и местонахождение мгновенного центра вращения.

Для тех же положений катка производим графическое разложение сил ветра и движущих сил.

После этого вычисляем элементарные работы трения, сопротивления ветра, неуравновешенной части настила и т. д. для перехода от одного положения к соседнему. Элементарные работы будут функциями или соответствующих углов поворота (напр. угла поворота тяги, крыла), или перемещений катка. Поэтому нетрудно построить эпюры, площади которых дадут ту или иную работу сопротивлений.

Представляет интерес суммарная эпюра сопротивлений. Чтобы ее построить, надо все эпюры сопротивлений привести к одной независимой переменной, напр. к углу поворота крыла или к перемещению катка.

Если желательно узнать, какую силу надо приложить к пролетному строению, чтобы привести его в движение, надо воспользоваться суммарной эпюрой сопротивлений. Очевидно, что работа движущей силы должна быть равна работе всех сопротивлений (включая силы инерции). Предположим, что плечо действия движущей

силы относительно мгновенного центра равно k , тогда для какого-нибудь момента движения

$$K \cdot k \cdot d\alpha = dA.$$

Откуда:

$$K = \frac{dA}{k \cdot d\alpha},$$

где dA берется из суммарной эпюры сопротивлений.

Или, если движение осуществляется тягой, поступательно перемещающейся

$$K = \frac{dA}{ds}.$$

91. Подбор двигателя. По суммарной работе определяется необходимая мощность двигателя

$$N = \frac{A}{75 \cdot \tau \eta^n}.$$

Здесь:

N —мощность в лошадиных силах;

A —суммарная работа в килограммо-метрах;

τ —так называемое «приведенное время» поворота, т. е. то время, которое потребовалось, если бы движение было равномерным с самого начала до конца (см. стр. 209);

η^n —коэффициент полезного действия передач от двигателя к той части механизма, которая непосредственно приводит крыло в движение. В обычных условиях

$$\eta^n = 0,75 \div 0,80.$$

Вычисленная по вышеприведенной формуле мощность является некоторой средней. В действительности в известные моменты вращения нужна будет большая мощность. Появится перегрузка.

В настоящее время в качестве двигателя в разводных мостах применяют преимущественно электромоторы, допускающие довольно значительную перегрузку сверх нормальной мощности на короткий срок (до 40%/о). Остается, следовательно, проверить—не превосходит ли получающаяся перегрузка допускаемого предела.

Перегрузку можно определить по суммарной эпюре сопротивлений. Если предположить, что наибольшее сопротивление имело бы место в течение всего периода движения, то необходимая для движения мощность двигателя возросла бы во столько раз, во сколько площадь прямоугольника $ABCD$ (фиг. 410) больше площади эпюры.

Итак, перегрузка будет равна (фиг. 410).

$$X = \frac{y_{max} \cdot b}{A},$$

где b —абсцисса эпюры сопротивлений движению.

В частном случае, когда все сопротивления приводятся к моментам и наибольший угол поворота крыла— φ , перегрузка

$$X = \frac{M_{max} \cdot \varphi}{A},$$

Если перегрузка оказывается чрезмерной, необходимо увеличить мощность двигателя, исходя при вычислении мощности из величины работы, равной

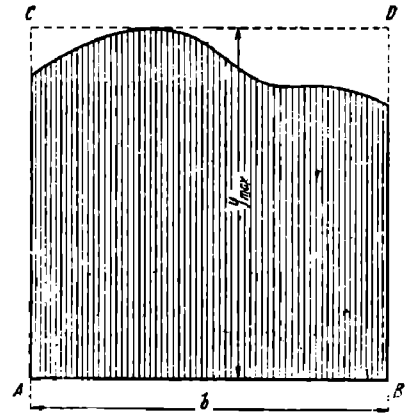
$$A' = \frac{y_{max} \cdot b}{X_{дон}}.$$

и приняв $X_{дон}$ с учетом допускаемой перегрузки.

Подбор двигателя по каталогу и определение передаточного числа делается как показано ниже на примере.

Пример. Необходимая мощность

$$N = \frac{313 \cdot 10^3}{75 \cdot 55 \cdot 0,94^4} = 97 \text{ л. с.}$$



Фиг. 410.

Наибольший момент сопротивления движению

$$M_{max} = 363 \text{ т} \cdot \text{м}.$$

Наибольший угол поворота крыла 1,274 (в радианах), в градусах—73°. Перегрузка

$$X = \frac{363 \cdot 1,274}{313} = 1,48,$$

что больше допускаемого.

Принимая $X = 1,40$, получим:

$$A' = \frac{363 \cdot 1,274}{1,40} = 330 \text{ т} \cdot \text{м}.$$

$$N = \frac{97 \cdot 330}{313} = 102 \text{ л. с.}$$

Возьмем с некоторым запасом 4 мотора по 30 л. с. с числом оборотов (по каталогу)—870 об/мин.

Предположим, что крыло приводится в движение шестерней, расположенной на хвостовой части в расстоянии 8,5 м от оси вращения.

Задаемся радиусом начальной окружности ведущей шестерни—0,2 м.

Число оборотов шестерни в минуту равно

$$\frac{2\pi \cdot 8,5}{2\pi \cdot 0,2} \cdot \frac{73^\circ}{360^\circ} \cdot \frac{60}{55} = 9,4$$

(55 сек.—приведенное время вращения, 60 сек.—полное время вращения).

Число оборотов мотора—870.

Следовательно, передаточное число должно быть

$$i = \frac{9,4}{870} = \frac{1}{92,5}$$

Теперь проверим, удастся ли при таком передаточном числе осуществить необходимый для вращения момент.

Крутящий момент, развиваемый взятыми двигателями

$$M_k = \frac{716,2 \cdot N}{n} = \frac{716,2 \cdot 4 \cdot 30}{870} = 98,7 \text{ кг} \cdot \text{м}.$$

Крутящий момент на ведущих шестернях

$$M_k' = M_k \cdot k \cdot \eta^n = 98,7 \cdot 92,5 \cdot 0,78 = 7130 \text{ кг} \cdot \text{м} = 7,13 \text{ т} \cdot \text{м}.$$

Сумма сил на окружностях ведущих шестерен, осуществляемая этим моментом

$$P = \frac{7,13}{0,2} = 35,6 \text{ т}.$$

Момент, приводящий крыло в движение,

$$M = 35,6 \cdot 8,5 = 303 \text{ т} \cdot \text{м}.$$

Наибольший сопротивляющийся момент 363 т·м.

Перегрузка

$$X = \frac{363}{303} = 1,20,$$

что вполне допустимо.

Перегрузка, определенная по приведенной ранее формуле для $N = 4 \cdot 30 = 120$ л. с.

$$X = 1,48 \cdot \frac{97}{120} = 1,20.$$

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

ВЕРТИКАЛЬНО-ПОДЪЕМНЫЕ МОСТЫ

Глава X

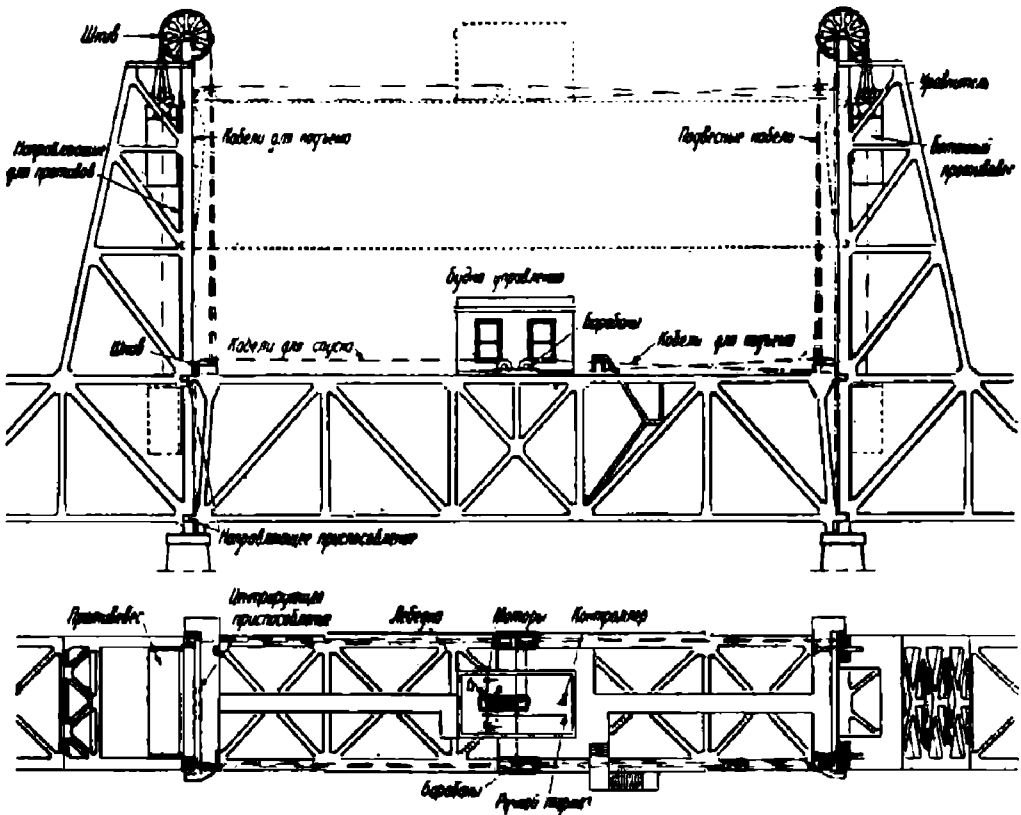
КОНСТРУКЦИИ ВЕРТИКАЛЬНО-ПОДЪЕМНЫХ МОСТОВ

§ 39. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРТИКАЛЬНО-ПОДЪЕМНЫХ МОСТОВ С ГИБКОЙ СВЯЗЬЮ МЕЖДУ ПРОТИВОВЕСОМ И ПРОЛЕТНЫМ СТРОЕНИЕМ

92. Общие замечания. Вертикально-подъемными мостами называются такие, в которых пролетное строение может перемещаться поступательно в вертикальном направлении.

Вес пролетного строения при движении уравнивается противовесами.

Вертикально подъемные мосты могут быть или с гибкой, или с стержневой, или с гидравлической связью между пролетным строением и противовесами.



Фиг. 411.

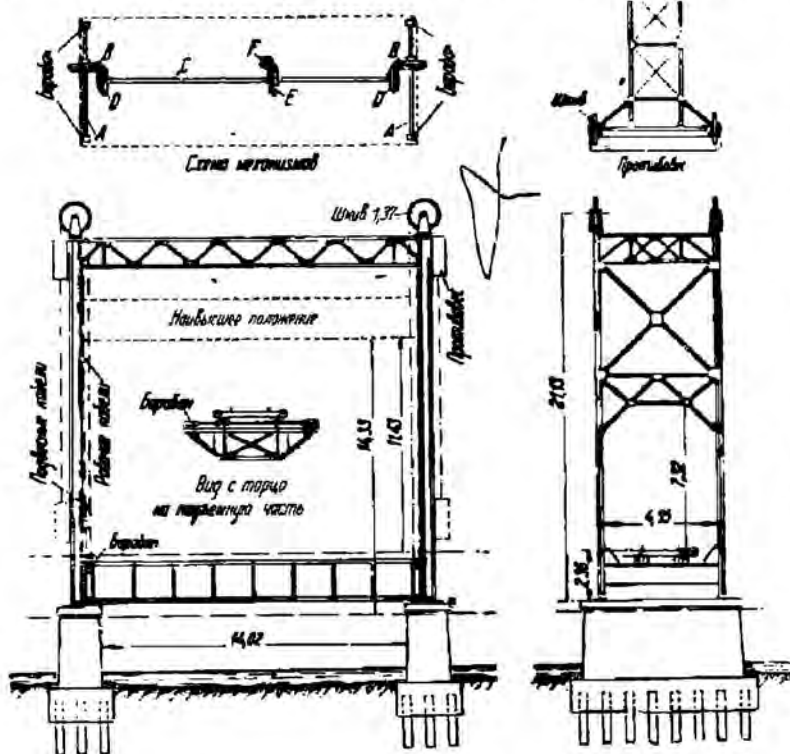
В первых в качестве соединительных средств применяются стальные крученые кабели, перекинутые через шкивы на достаточно высоких башнях (фиг. 411).

Башни обычно представляют собой клепаные металлические конструкции, или поставленные на опоры (быки, фиг. 416) или составляющие одно целое с соседними

неподвижными пролетными строениями (фиг. 411). Связи, устроенные по всем граням башни, превращают ее в пространственно-жесткую систему. Для небольших пролетных

строений башни могут быть сделаны в виде отдельных колонн с легкими связями между ними (фиг. 412). Есть попытки (в проектах) выполнить башни вертикально-подъемного моста по эстетическим соображениям из железобетона (фиг. 413).

Если к подъемному пролету примыкает неподвижное пролетное строение и если крайняя панель последнего имеет верхние горизонтальные связи, то противовес не может быть опущен ниже верхнего пояса ферм, что заставляет соответственно увеличивать высоту башни. Чтобы избежать этого, необходимо не устраивать верхних связей и крайней панели, воспользовавшись наклонным порталом в плоскости первого восходящего раскоса (фиг. 411) и дать возможность противовесу опу-



Фиг. 412.

скать я до полотна моста.

93. Шкивы во избежание больших дополнительных напряжений в канатах делаются солидных размеров. В первом по времени значительном вертикально-подъемном мосту — через Halsted Street в Чикаго — шкивы были составлены из фасонного железа с небольшими литыми частями (фиг. 414). В последующих сооружениях этого рода применяются преимущественно цельные литые шкивы: двустенчатые — при большой их ширине (фиг. 436 а) или одностенчатые — в противном случае (фиг. 452).

Чтобы уменьшить ширину шкива (а она зависит от числа канатов), уместно поставить в каждом углу по два шкива (фиг. 452). В некоторых мостах оси парных шкивов сдвинуты в продольном направлении на некоторую величину для удобства размещения канатов (фиг. 452).

Так как канатов много, то чтобы обеспечить равномерное их натяжение, необходимы особые уравниватели, которые ставятся в месте прикрепления канатов к проти-



Фиг. 413.

вовесу (фиг. 431, 452) или к пролетному строению (фиг. 443). Уравнители представляют собой систему рычагов. В одном из американских мостов поставлен гидравлический уравнитель (фиг. 462), устройство и действие которого описаны ниже в § 41, 103.

Чтобы упростить систему рычагов, представляющих собой уравнитель, можно применить секционные противовесы, т. е. разделенные на отдельные, самостоятельные части. Между собой эти части соединяются наверху и внизу (или только наверху) планками на болтах (шарнирах).

94. При движении, пролетное строение вертикально-подъемного моста удерживается от поперечных и продольных качаний *направляющими приспособлениями*. Последние представляют собой систему роликов, катающихся по направляющим путям, из уголков, тавров и т. п. По большей части ролики устраиваются в плоскости как верхнего, так и нижнего поясов, по всем углам пролетного строения. При этом на неподвижном конце пролетного строения, либо наверху, либо внизу устраивается такая система роликов, которая препятствует и продольным и поперечным перемещениям пролетного строения. Это может быть достигнуто постановкой в каждом углу трех роликов, из коих два имеют оси, перпендикулярные к оси моста, а третий—параллельную ей (фиг. 415). Можно ограничиться и двумя роликами с взаимно перпендикулярными осями, если заставить один из роликов катиться между двумя направляющими (фиг. 463).

Во всех остальных углах пролетного строения направляющие приспособления должны ограничивать лишь свободу поперечных перемещений, для чего достаточно иметь по одному ролику с осью, направленной вдоль моста.

Есть пример устройства направляющих приспособлений только в одной плоскости, именно в плоскости верхних поясов ферм (мост в Роттердаме, § 41, 101). Тот же мост интересен в том отношении, что его подъемная часть имеет во всех четырех углах по 3 ролика; чтобы сделать удлинение ферм возможным, поставлены пружины.

Конструкция частей, предназначенных для поддержания осей направляющих роликов, освещена на помещенных далее примерах.

Между ободом ролика и его путем катания оставляется зазор в 5—10 мм.

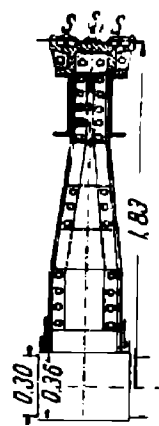
Для противовесов также необходимо дать направляющие приспособления. Они могут быть или того же типа, как описано выше, т. е. в виде системы роликов, или же более простой конструкции, в виде вилок обхватывающих уголки, рельсы и т. п. (фиг. 462).

При постановке на опоры положение пролетного строения должно быть вполне определенным. Для этой цели служат *центрирующие приспособления* (см. примеры конструкции вертикально-подъемных мостов).

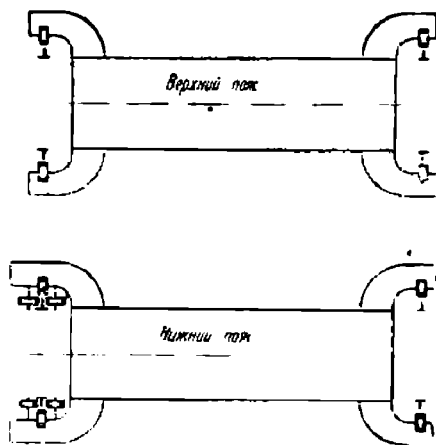
Во избежание случайного подъема разводной части устраивают особые задвижки, замки, включенные в блокировочную цепь. Пока замки не открыты—невозможно пустить в ход моторы механизмов движения. Открывание замков в свою очередь связано с путевыми сигналами.

95. Подъем и опускание пролетного строения осуществляется двигателями, поставленными либо на подъемной части моста, либо на опорах.

Серьезное внимание должно быть уделено вопросу об одновременном и равномерном поднятии всех четырех углов пролетного строения без перекоса. Наиболее простое и надежное устройство заключается в постановке на подъемной части вращающихся барабанов, на которые наматываются рабочие канаты, прикрепленные наверху башен, и с которых сматываются канаты, прикрепленные внизу, или наоборот, в зависимости от того, что требуется: подъем или опускание. Все барабаны объединены между собой механической связью, обуславливающей их одновременное вращение (фиг. 411).

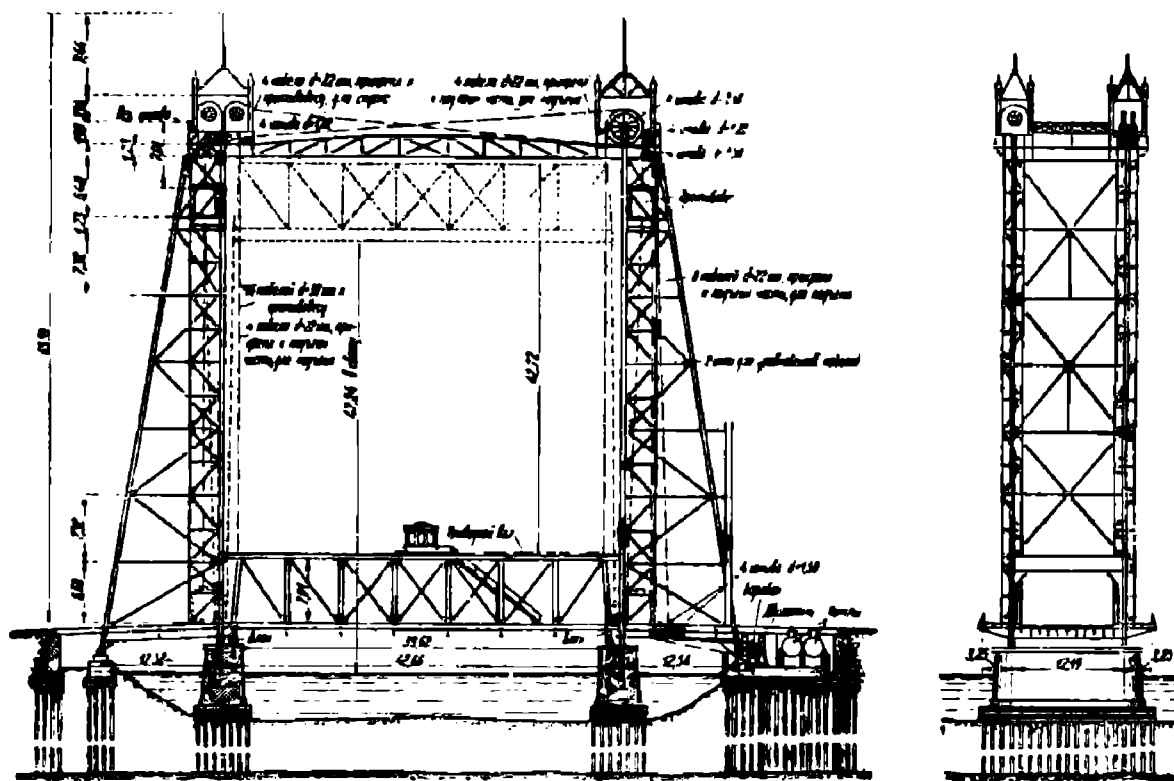


Фиг. 414.



Фиг. 415.

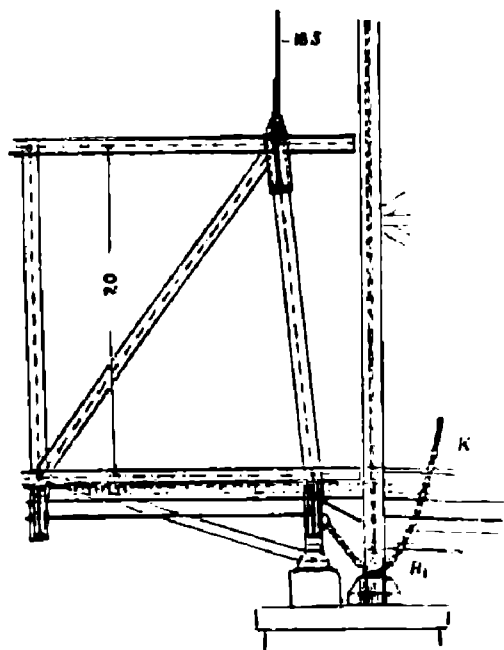
Если желательно расположить двигатели на неподвижной части моста, то можно воспользоваться схемой, примененной в Роттердамском мосту (§ 41, 101). Другой при-



Фиг. 416.

мер для подобного же размещения двигателей—подъемное устройство в мосту на Halsted Street в Чикаго (фиг. 416). Подъем совершается натягиванием канатов, прикрепленных к фермам, а опускание—натягиванием канатов, прикрепленных к противовесам. Барабаны, через которые пропускаются канаты, находятся на одной стороне пролета. На другую сторону рабочие канаты переброшены по легкому мостику между башнями. Система сложная. Мостик наверху не всегда приятен в эстетическом отношении.

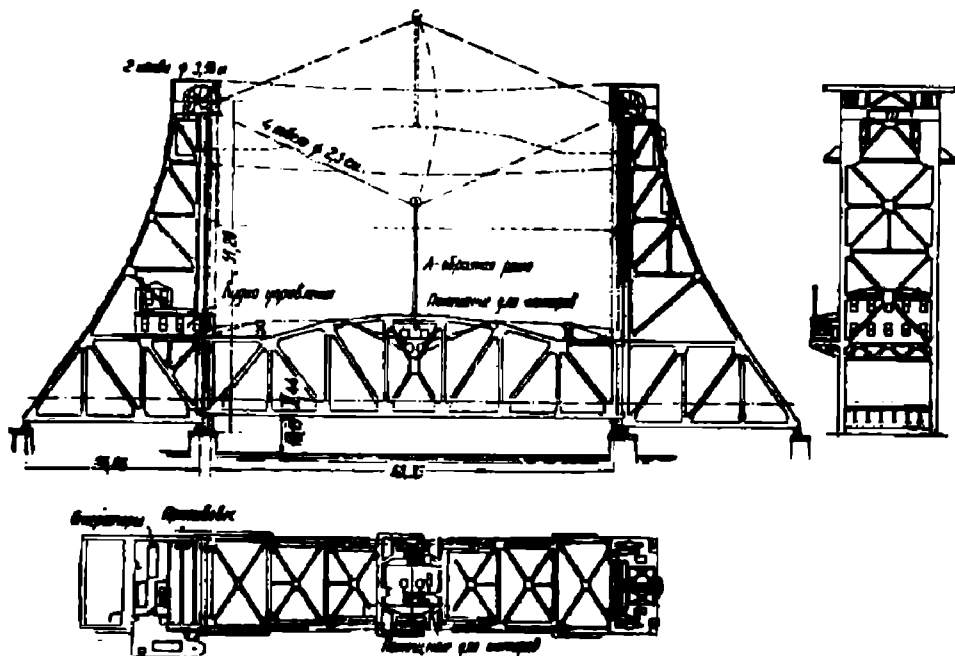
Наконец, движение пролетного строения может быть осуществлено вращением главных шкивов, тех, через которые проходят подвесные канаты. Трудности использования такого способа заключаются в том, во-первых, что можно опасаться скольжения канатов по шкивам, и, во-вторых, в том, что вращение шкивов на одном конце пролета механически не связано с вращением шкивов на другом конце. Тем не менее в 1927 г. закончен мост через White River, в котором применен подобный способ приведения подъемной части в движение с использованием синхронных электродвигателей. Конструкция моста описана в § 41, 103. Другой мост с подобным же устройством построен в 1931 г. через



Фиг. 417.

р. Des Plaines. Пролет разводной части 45,72 м. Мост под ж. д. (Eng. News Record 1932, V. 109, № 8).

96. Как указывалось выше, уравнивание движущихся масс достигается противовесами, вес которых равен весу пролетного строения. Вес канатов при этом остается неуравновешенным и требует дополнительной мощности двигателей. При больших высотах подъема эта дополнительная мощность достигает внушительных размеров. Достаточно указать, что в мосту через р. Дон в Ростове сопротивление движению от веса канатов составляет 32,4% полного сопротивления (в начале подъема). Указывается некоторыми инженерами, что вес канатов способствует устойчивому положению пролетного строения в закрытом и в открытом состоянии моста. Однако для этой цели достаточно значительно меньшего избыточного веса.



Фиг. 418.

Поэтому следует признать вполне резонными стремления уравновесить не только пролетное строение, но и канаты.

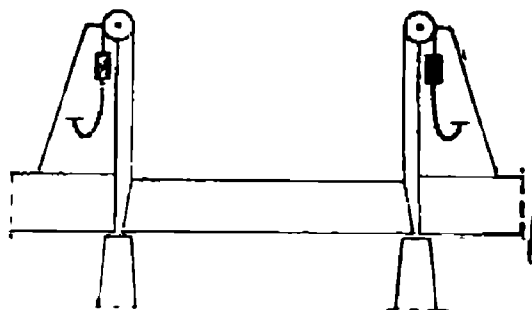
Уже в мосту через Halsted Street в Чикаго приняты меры в указанном направлении. К фермам внизу прикреплены тяжелые цепи К (фиг. 417), перекинутые через блоки R_1 . Верхними концами цепи соединены с противовесами. В целом ряде мостов, построенных после Чикагского моста, канаты оставлены неуравновешенными.

В последнее время снова стали обращать внимание на уравнивание канатов.

В мосту через залив Newark (см. § 43, 102) для этой цели даны вспомогательные противовесы, соединенные с фермами наклонными кабелями. В мосту через Hackensack River (фиг. 418) тот же вопрос решен следующим образом. Четыре дюймовых кабеля закреплены на правой башне, проходят через барабан на А-образной стойке посередине пролета и соединены через шкивы с добавочными противовесами на левой стороне пролета.

Еще один способ уравновесить канаты: прикрепить тяжелую цепь одним концом к противовесу, другим — к неподвижной точке (фиг. 419). По мере опускания противовеса вес цепи выходит из системы действующих сил. Нетрудно убедиться, что для равновесия необходимо, чтобы вес противовесов вместе с кабелями равнялся весу пролетного строения, а вес цепи составлял бы удвоенную величину веса кабелей.

Небольшой избыток веса частей, находящихся в закрытом состоянии моста со стороны пролета, над весом частей по другую сторону главных шкивов полезен. Положение пролетного строения будет более устойчивым.



Фиг. 419.

97. Стальные кабели не являются единственным видом гибкой связи между противовесами и пролетным строением. Та же связь может быть осуществлена и иными средствами. Так, например, в мосту через р. Арканзас около Pine Bluff¹ она представляет собой цепь, составленную из звеньев длиной 0,51 м между центрами отверстий для болтов. Болты, соединяющие звенья, имеют диаметр в 80 мм. Преимущество цепи перед кабелями заключается в том, что диаметр шкивов при цепи может быть сделан меньше, т. к. не приходится считаться с теми дополнительными напряжениями, которые возникают в кабеле при обхвате им шкива. Что касается до стоимости моста с цепной связью по сравнению с кабельным мостом, то по уверению автора проекта Pine Bluff'ского моста инж. Coshgand—первая не выше второй, а при некоторых условиях даже ниже. Серьезная задача при использовании цепной связи—уравновешивание веса цепей. Если этого не сделать, то придется увеличить мощность двигателей, ибо вес цепей раза в полтора больше веса кабелей.



Фиг. 420.

Pine Bluff'ский мост имеет пролет 72, 84 м, нормальную высоту подъема 14,94 м. Вес движущей части (включая противовесы) 1250 т. Диаметр шкивов 2,62 м. Мост под железную дорогу. На фиг. 420 и 421 даны фотографии общего вида моста и вершины башни. Замена кабелей цепями распространения не получила, т. к. по видимому стоимость цепей все же выше, чем замещающих их кабелей.

§ 40. ВЕРТИКАЛЬНО-ПОДЪЕМНЫЕ МОСТЫ С СТЕРЖНЕВОЙ СВЯЗЬЮ МЕЖДУ ПРОТИВОВЕСАМИ И ПРОЛЕТНЫМ СТРОЕНИЕМ

98. К системе вертикально-подъемных мостов с стержневой связью между пролетным строением и противовесами относятся системы Штрауса и Ралля.

Первая изображена на ф. 422. Характерная часть системы—параллелограмм $ABCD$. На стороне CD находится противовес. Сторона AB продолжена вниз и представляет собой стержень, соединенный с фермой в точке E и вращающийся вокруг точки A . Кроме главных противовесов имеются дополнительные, жестко скрепленные с коромыслом (на фиг. 422 жесткое скрепление осуществляется специальными стержнями). Назначение дополнительных противовесов—совместить центр тяжести коромысла с осью его вращения T .

Условия уравновешивания следующие:

1) точка приложения равнодействующей сил P_1 , P_2 и P_3 , ось вращения T и точка приложения равнодействующей сил W_1 и W_2 должны лежать на одной прямой. P_1 —половина веса пролетного строения; P_2 —вес стержней BE ; P_3 и W_2 —половина веса стержня BD ; W_1 —вес противовеса;

2) моменты равнодействующих сил P_1 , P_2 и P_3 , с одной стороны, и сил W_1 и W_2 —с другой, относительно точки T должны быть равны;

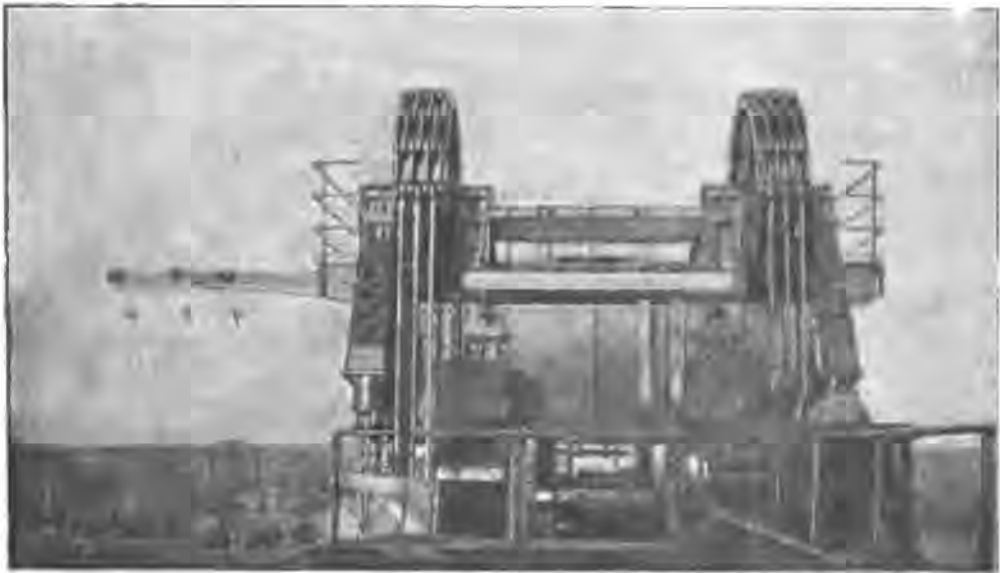
3) коромысло должно быть вполне уравновешенным, т. е. его центр тяжести с учетом дополнительного противовеса должен совпадать с осью вращения T .

Для подъема и опускания пролетных строений в системе Штрауса пользуются шестернями, расположенными по четырем углам пролетного строения и зацепляющими

¹ Transaction of the Amer. Soc. of Civil Engineer. 1921, стр. 669.

за зубчатые рейки, прикрепленные к стойкам башен. Шестерни приводятся во вращении двигателями, поставленными на подъемной части. Все ведущие шестерни соединены валами для одновременности их вращения.

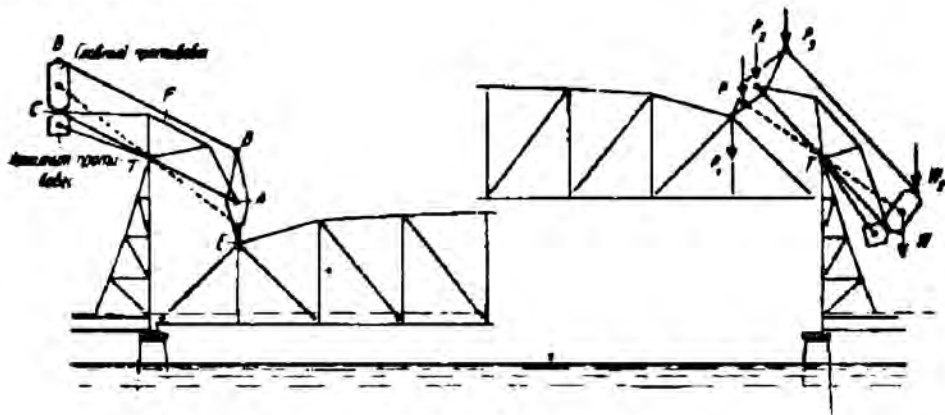
99. Вертикально-подъемные мосты системы Ралля (Штробеля) известны в двух разновидностях.



иг. 421.

В первом типе (фиг. 423-а) коромысло вращается вокруг неподвижной оси; конец коромысла, соединенный с фермой, имеет продольную подвижность по отношению к ней.

Во втором типе (фиг. 423-б) коромысло соединено с фермой неподвижным шарниром; ось коромысла может перемещаться при помощи катков по горизонтальной площадке на верху башни.



Фиг. 422.

Противовесы как в первом, так и во втором типе находятся на коромысле и жестко с ним связаны.

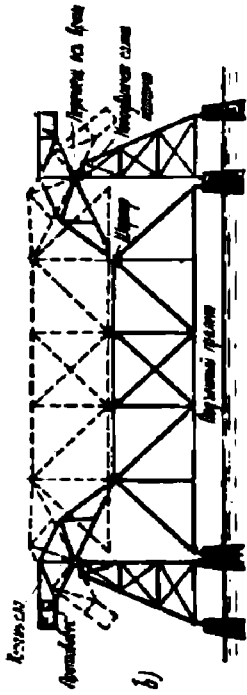
Способ приведения пролетного строения в движение такой же, как и в мостах системы Штрауса.

Вертикально-подъемные мосты с стержневой связью пригодны лишь для небольших высот подъема.

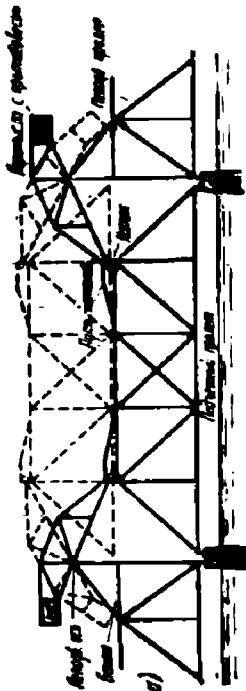
§ 41. ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИИ ВЕРТИКАЛЬНО-ПОДЪЕМНЫХ МОСТОВ

100. Мост через р. Илинойс. Разводной пролет этого моста вертикально-подъемной системы (фиг. 444). Высота подъема—17,15 м. Расчетный пролет ферм разводной части 79,5 м. Расстояние между осями ферм 7,9 м. Мост под обыкновенную дорогу.

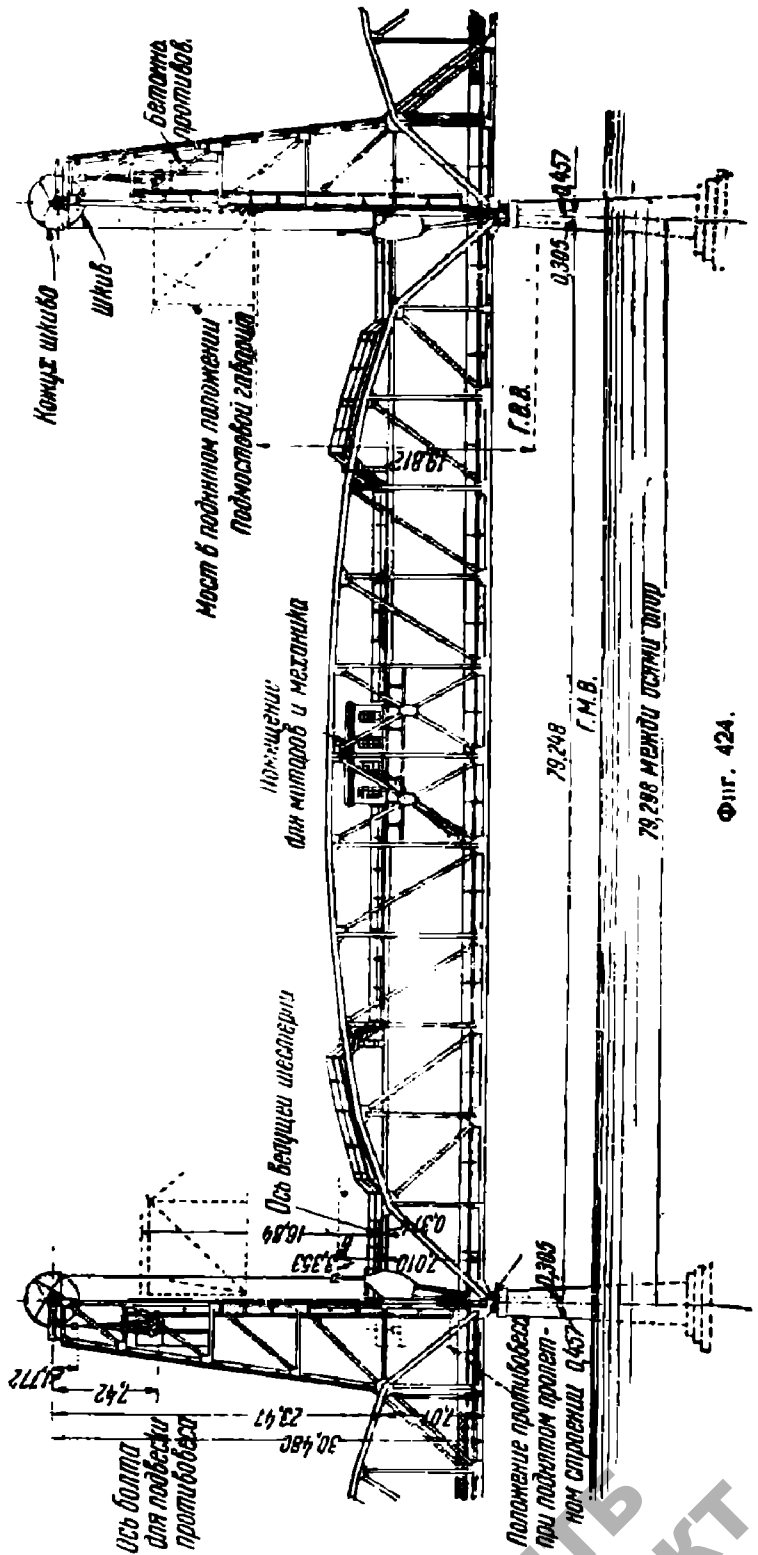
К каждому верхнему углу пролетного строения прикреплено по восьми стальных канатов диаметром 50,8 мм (2"). Канаты перекинуты через шкивы и через посредство уравнивателей соединены другими своими концами с противовесами. Башни, поддержи-



Фиг. 423-б.



Фиг. 423-а.

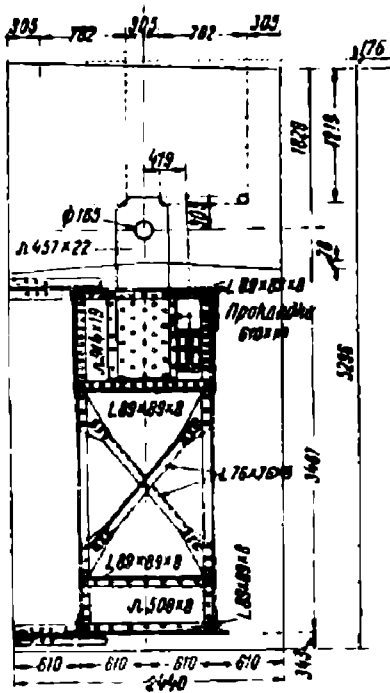
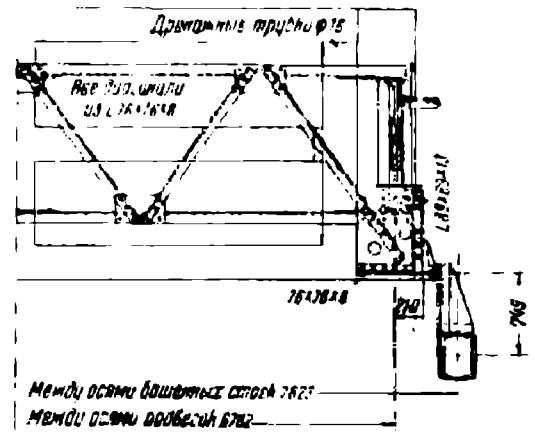


Фиг. 424.

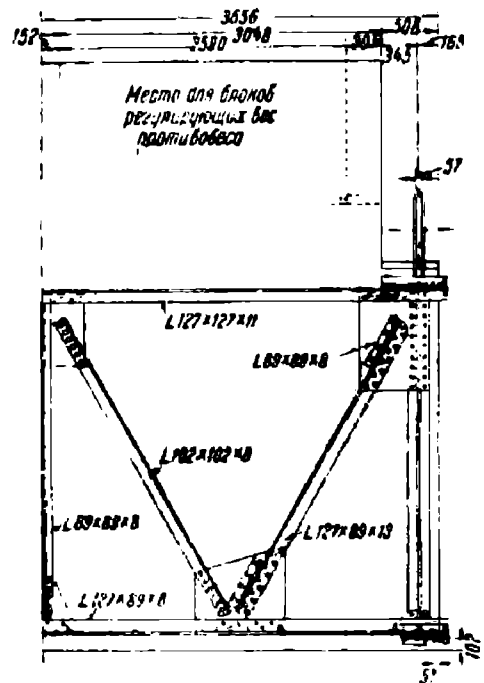
вающие шкивы, опираются на соседние пролетные строения. Противовесы при подъеме разводного пролета опускаются почти до уровня проезжей части, что становится возможным вследствие устройства наклонных опорных рам (фиг. 424). Конструкция противовеса ясна из фиг. 425, 426 и 427. Противовесы бетонные с металлическим каркасом. Ширина их (размер поперек моста)—7,11 м соответствует свободному про-

странству между фермами, высота 3,47 м, размер вдоль оси моста — 2,44 м. Для прикрепления канатов к металлическому каркасу прикреплены по две планки, выпущенные вверх. При движении противовесы удерживаются простейшего устройства направляющими (фиг. 426).

Концы канатов заделываются в специальные отливки-бобышки (фиг. 428), имеющие коническую часть, в которую заводится распущенный конец каната для заливки его баббитом. Бобышки соединяются между собой планками, выполняющими роль уравнивателей, т. е. приспособлений, обеспечивающих одинаковое натяжение всех канатов. Устройство уравнивателя показано на фиг. 429. Как видно из фиг. 429, канаты в количестве 8, подходя к уравнителю, располагаются в четырех наклонных плоскостях, по два в каждой плоскости. Между тем на шкиве все канаты должны быть расположены в ряд и быть параллельны друг другу. Изменение направления канатов осуществляется в специальной коробке, составленной из двух швеллеров и четырех уголков (фиг. 429). Между швеллерами вставлено 4 валика, на которых сидят желобчатые ролики из фос-



Фиг. 425.

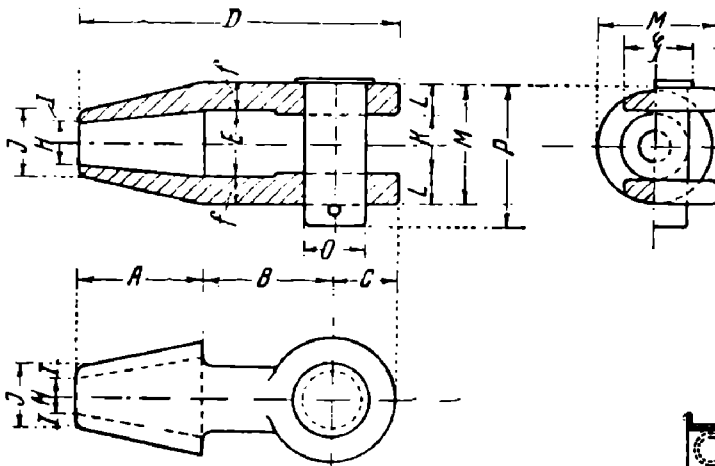


Фиг. 426 и 427.

фористой бронзы. Канаты обхватывают ролики, причем для канатов 7 и 8 и соответственно 2 и 7, как наиболее отклоняющихся от вертикального направления дано по два ролика на каждый канат (один на верхнем, другой на нижнем валике), для остальных канатов — по одному (фиг. 430). Распределительная коробка четырьмя тяжами, пропущенными через 76 мм трубки, прихвачена к подвеске противовеса.

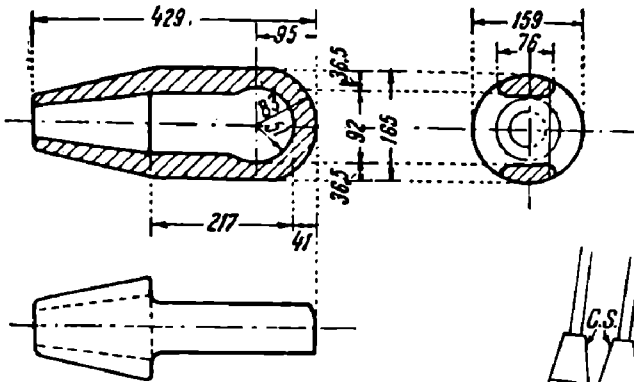
Другой прием для изменения направления канатов заключается в постановке сжимов — стальных плит с желобками. Плиты стягиваются болтами. Этот прием иллюстрируется примером, взятым из конструкции другого подъемного моста и показанным на фиг. 431. Деталь одной из плит сжима дана на фиг. 432. Приведенный пример относится к случаю использования секционных противовесов (из трех самостоятельных массивов), к которым прикрепляется 12 канатов.

Прикрепление канатов к фермам в рассматриваемом мосту через р. Иллинойс выполнено следующим способом (фиг. 433-а и 434). К фасонке верхнего узла прикреплены в разных уровнях 3 поперечных вертикальных листа. Из них 2 нижних входят в состав поперечной сквозной распорки между фермами, верхний же лист поставлен обособленно. Листы окаймлены по бо-



Открытый тип
Кованая сталь

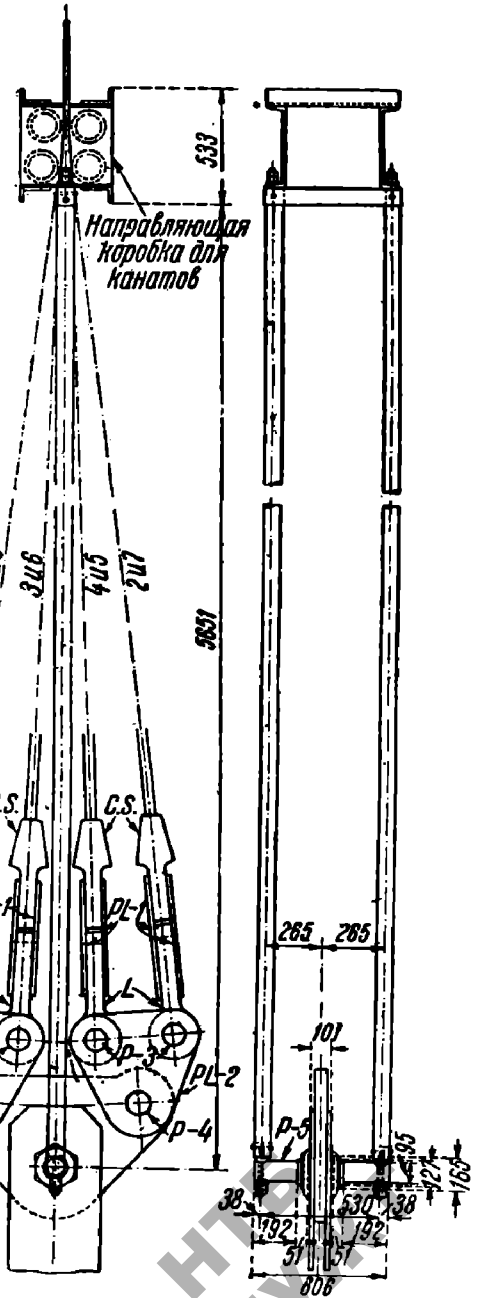
Марка	Коллечес.	Диаметр каната	Размеры																Цена	
			A	B	C	D	E	F	Г	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Долж.	Држм.
M2-12	8	28,5	114	114	51	279	60	20	57	32	13	50	57	21	100	102	54	110	9,5	76
M2-13	4/8	41,2	178	203	79	460	93	32	89	51	8	83	89	35	159	159	83	181	11	114



Фиг. 428.

кам уголками. К верхнему листу прикрепляются 2, каната, к каждому из нижних по 3. Детали прикрепления и выравнивающие направляющие канатов отливки с выкружками ясны из фиг. 435.

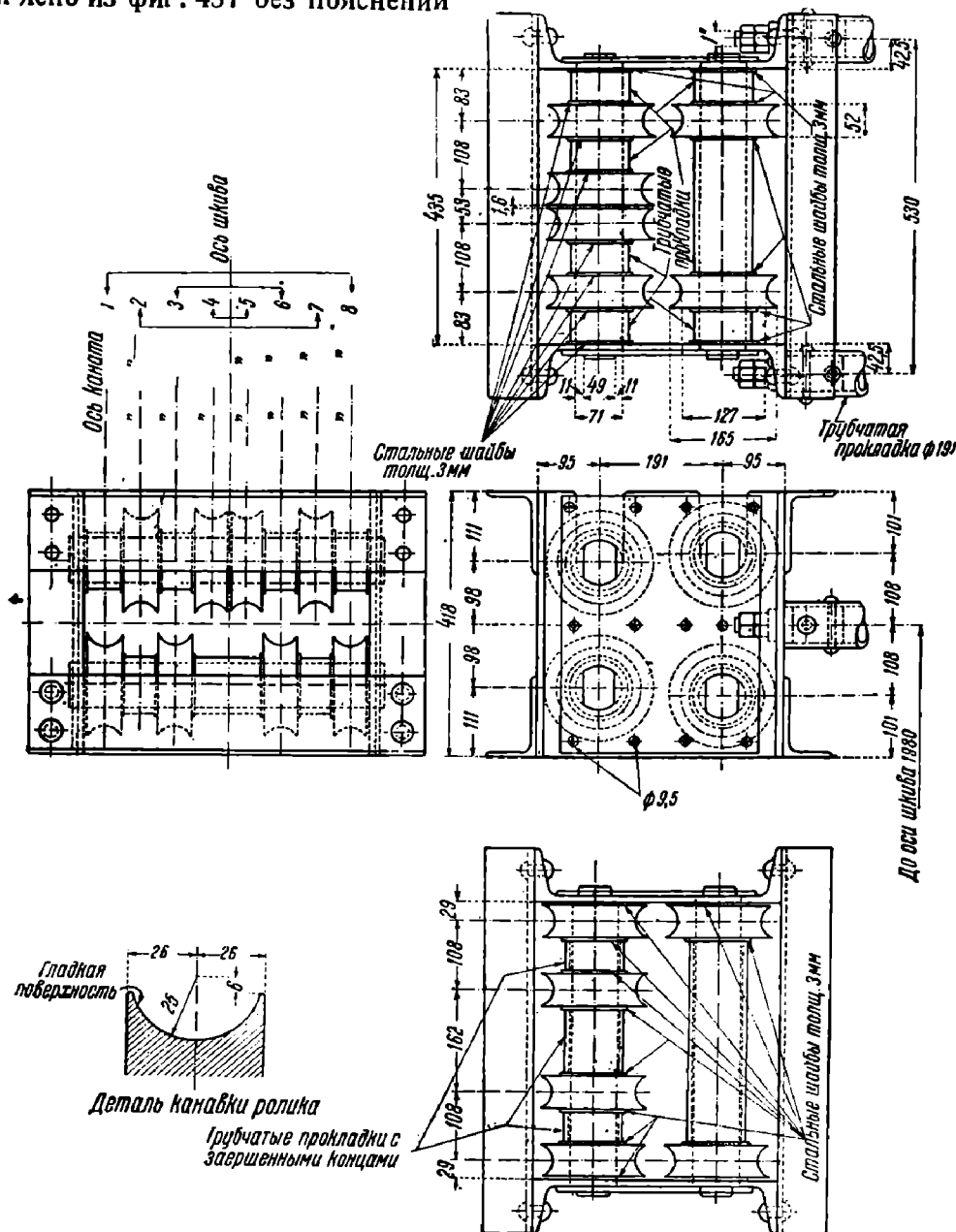
Шкив, через который перекинуты канаты, — двустенчатый, литой (фиг. 436а и в). Между стенками шкива устроено 8 больших радиальных диафрагм и столько же малых. Для выпуска случайно попавшей воды, масла и т. п. из пространства ограниченного двумя стенками шкива, большой и малой диафрагмами, даны показанные на фиг. 436-а, отверстия диаметром 25 мм. Шкив желобчатый с количеством желобков, соответствующим



Фиг. 429.

числу канатов (8). На втулке шкив закрепляется тремя стальными шпонками $38 \times 25,4$ мм в поперечном сечении (фиг. 436b). Сверху шкивы закрыты кожухами (фиг. 424).

Деталь верхней части башни показана на фиг. 437. Как усматривается из чертежа, один из подшипников оси шкива непосредственно опирается на опорную стойку башни; второй подшипник поддерживается дополнительно короткой стойкой, отстоящей от первой на $0,53$ м (между осями). Дополнительная стойка вклепана в коробчатую распорку, верхние уголки которой расположены по отношению к оси шкива с таким расчетом, чтобы можно было поместить шкив в пространство между стойками. Устройство связей ясно из фиг. 437 без пояснений

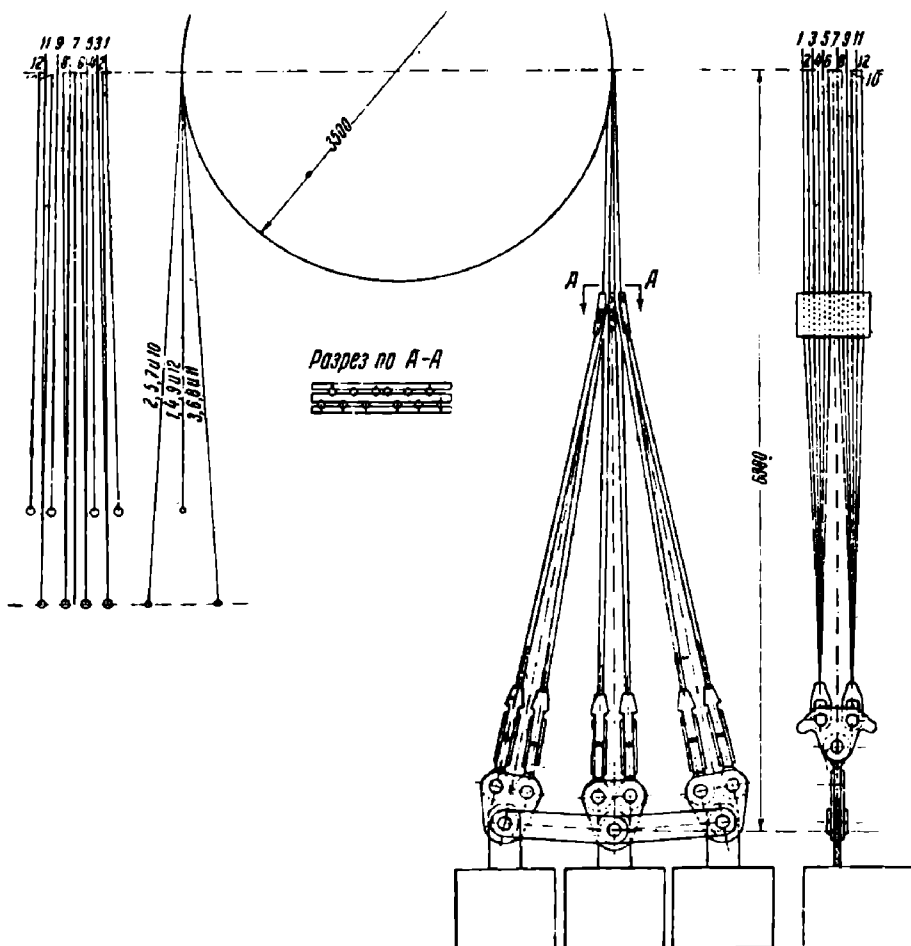


Фиг. 430.

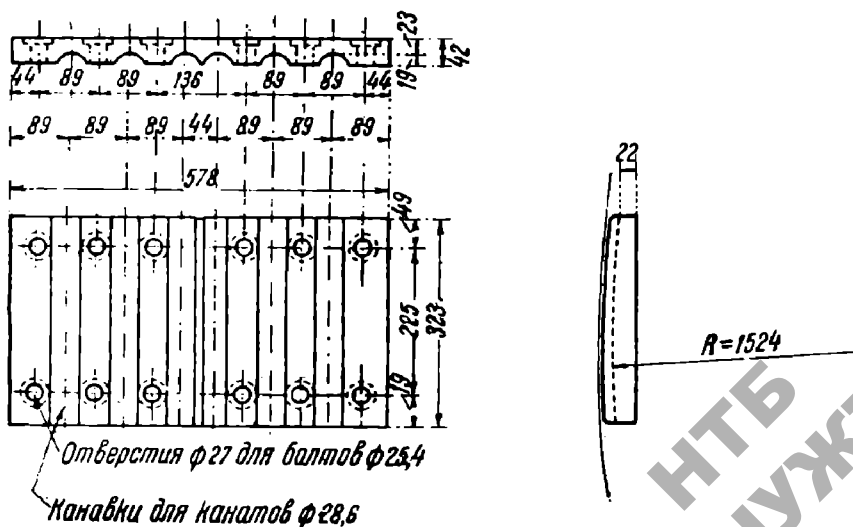
При движении пролетное строение удерживается аналогичной системой роликов показанной на фиг. 415.

Для укрепления осей роликов даны обхватывающие опорные стойки башен клепаные консоли, показанные на фиг. 433-б.

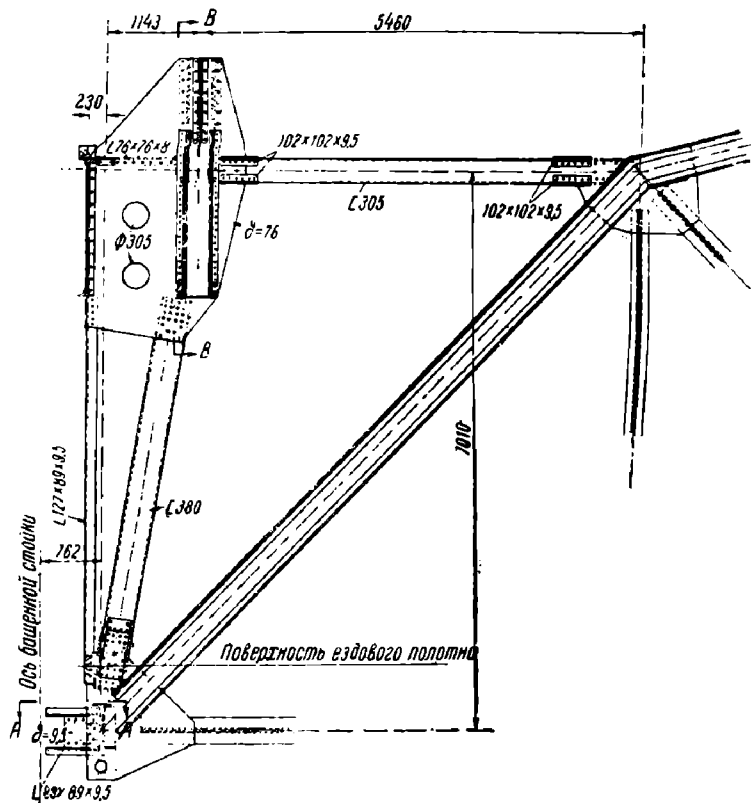
Кроме того имеются центрирующее устройство, буфера, замки. В движение пролетное строение приводится моторами, расположенными на самом пролетном строении (фиг. 424) и действующими через систему валов и зубчатых зацеплений на ведущих шестерни. Последние зацепляют за зубчатые рейки, установленные на неподвижных



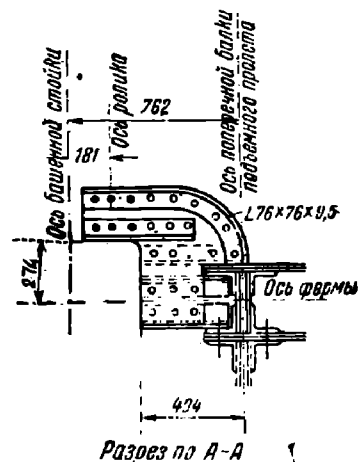
Фиг. 431.



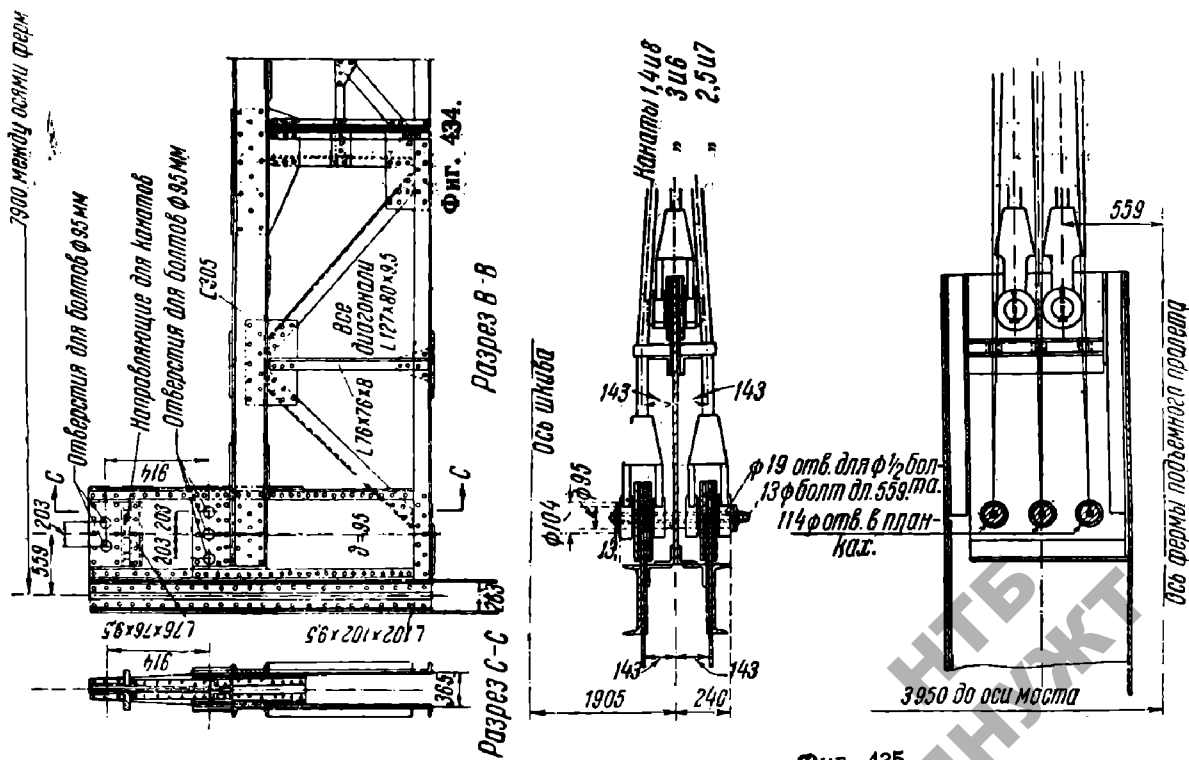
Фиг. 432.



Фиг. 433-а.

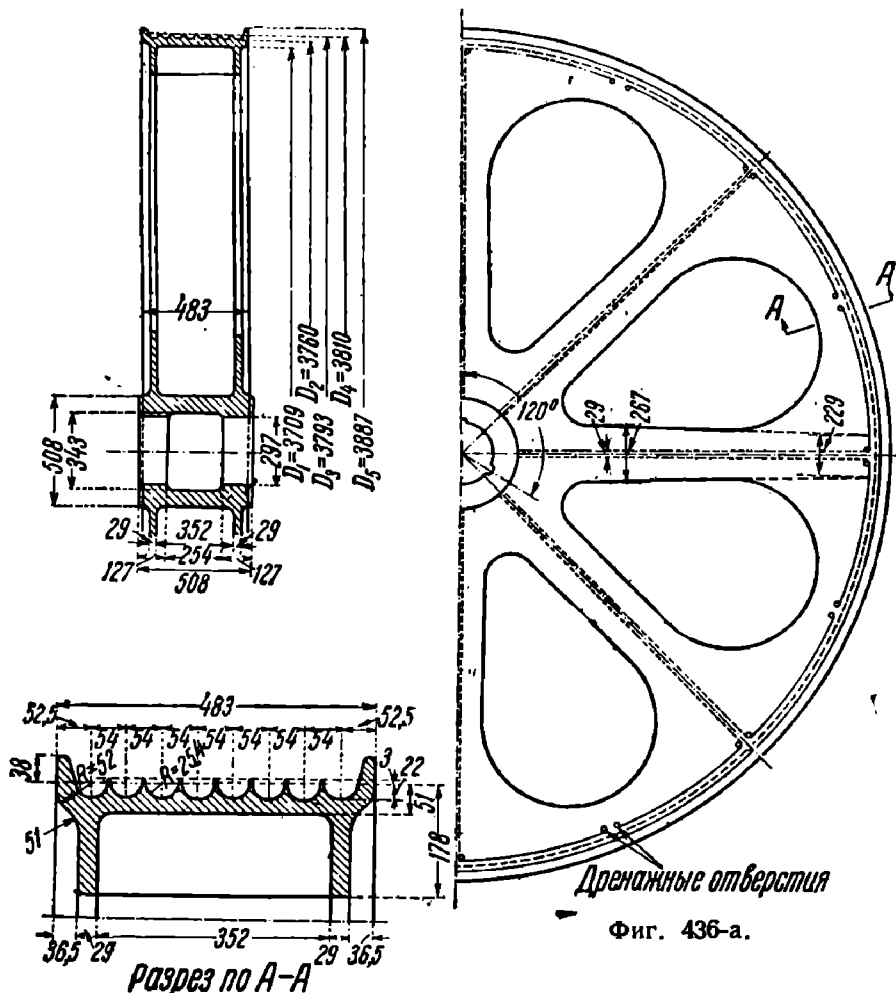


Фиг. 433-б.



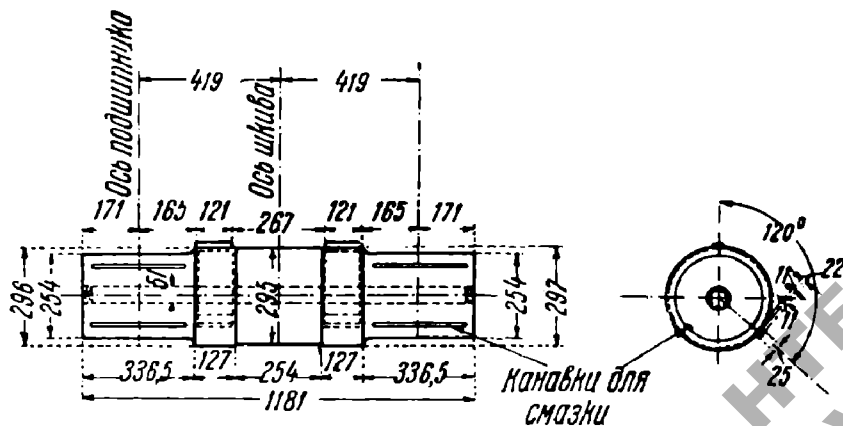
Фиг. 435.

башнях. Такое устройство механизмов движения применяется сравнительно редко и целесообразно лишь при небольшой высоте подъема. Более употребительны механизмы движения, состоящие из вращающихся барабанов и рабочих канатов, закрепленных одним концом наверху, а другим внизу башни (фиг. 411). Деталь барабана показана на фиг. 438, а агрегат двигателей и барабанов—на фиг. 439.



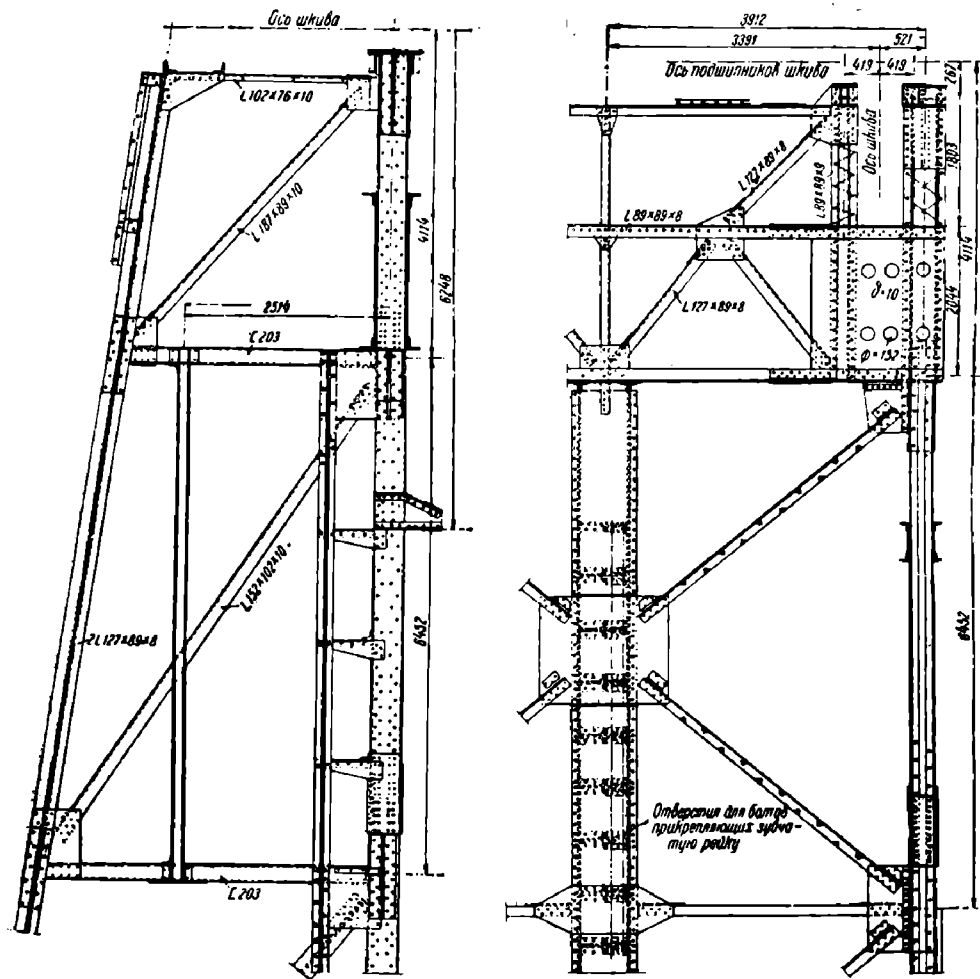
Фиг. 436-а.

Характерная для вертикально-подъемных мостов конструкция центрирующих отливок дана на фиг. 440-а, б. Из них фиг. 440-а относится к отливке, прикрепленной к опорной стойке башни, а фиг. 440-б — к отливке, помещаемой на конце ферм. Центри-

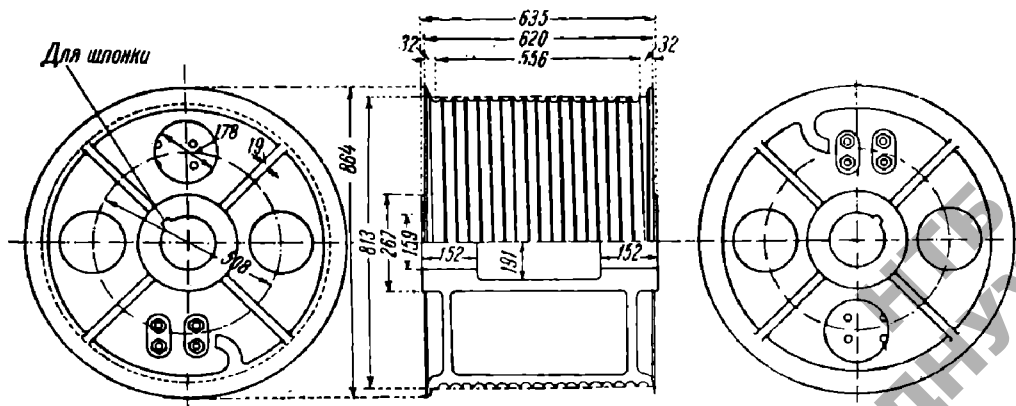
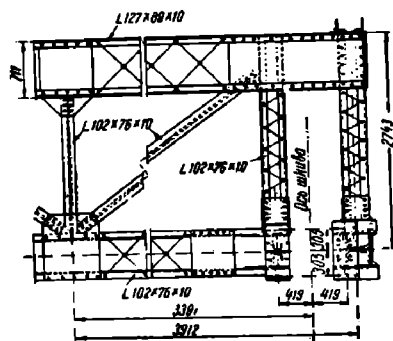


Фиг. 436-б.

рующие приспособления на неподвижном конце пролетного строения имеют закраины, а на подвижном концеве делаются без них (фиг. 440-а). Часто применяющаяся конструк-



Фиг. 437.

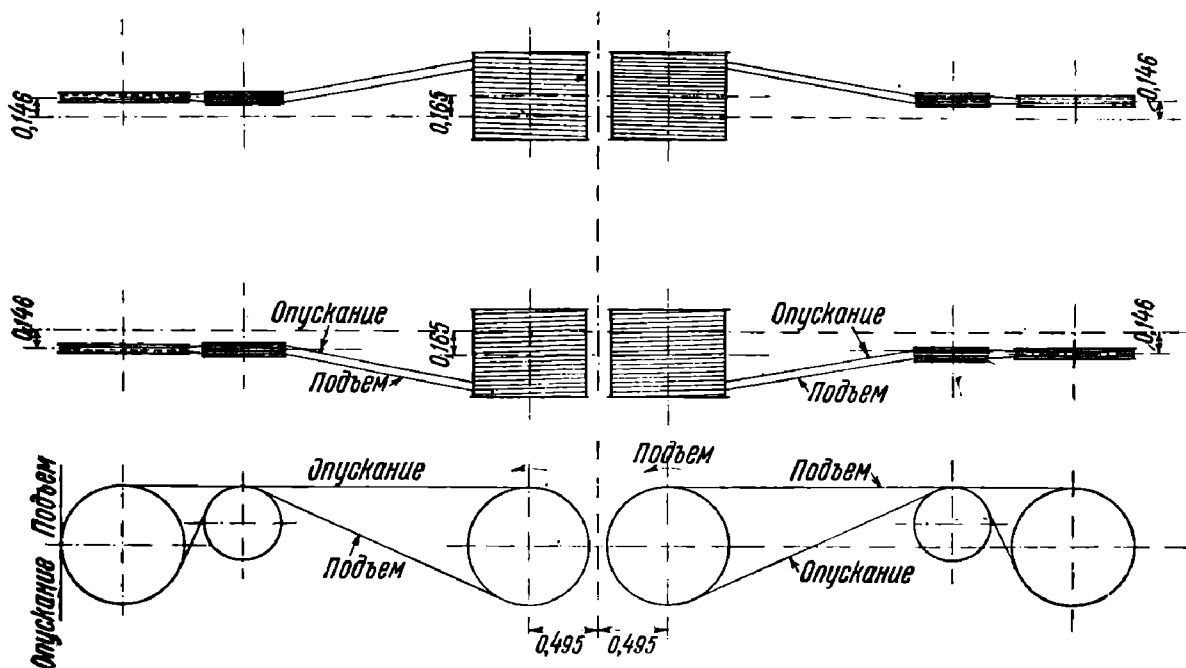


Фиг. 438.

ция опорных частей подъемного пролета показана на фиг. 441. Опорные части состоят из секторов, подвешенных к опорным узлам ферм. Сектора поднимаются вместе с пролетным строением. Сектор подвижной опоры имеет цилиндрическую нижнюю поверхность. Сектор неподвижной опоры может иметь и плоскую, при этом неподвижность соответствующего конца пролетного строения обеспечивается упомянутыми выше центрирующими отливками.

101. Мост через Königshafen в Роттердаме. Этот мост под ж. д. в 2 пути. Среди пролетов имеется один подъемный в 53,52 м между центрами опор (фиг. 442). Высота подъема 41 м. Вес пролетного строения 530 т.

В отличие от моста через р. Иллинойс в описываемом сооружении уравнители поставлены не со стороны противовеса, а между пролетным строением и канатами. Общее число канатов—48, по 12 в каждом углу. Вес пролетного строения, приходящийся на каждую опору, распределяется рычагом H_2 (фиг. 443 и 444) между двумя группами канатов, по 6 в группе. Затем рычаги H с отношением плеч 2 : 1 производят



Фиг. 439.

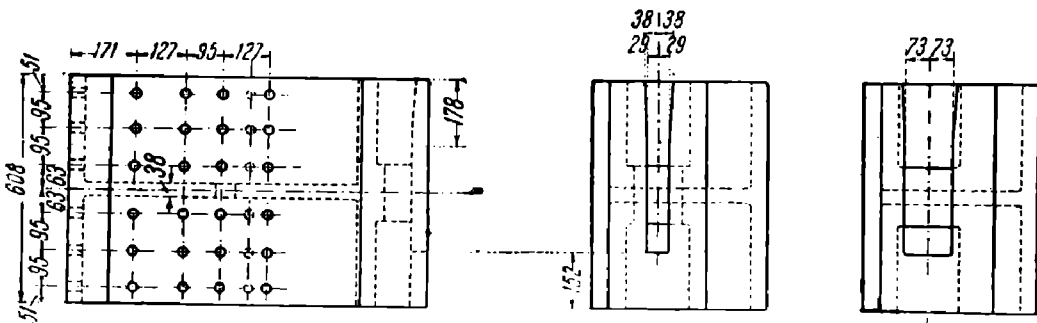
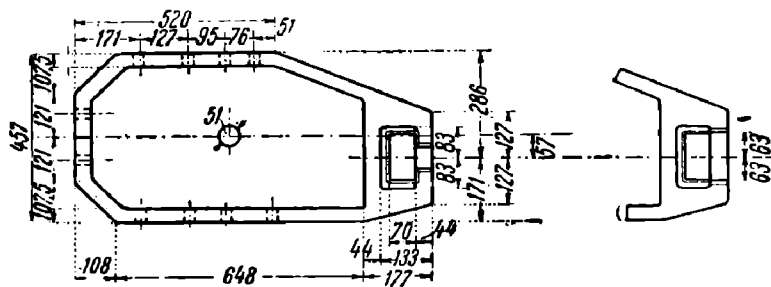
дальнейшее деление веса, принятого каждой группой на 3 части, а планки H_1 еще пополам. В результате оказываются равномерно натянутыми 12 полос, расположенных в трех плоскостях. К верхним концам полос прикреплены посредством приспособлений, аналогичных тем, которые были описаны в предыдущем параграфе (фиг. 428), стальные канаты диаметром 40 мм. Канатыгибают два самостоятельные в каждом углу шкива (всего 8 шкивов) диаметром 3,60 м.

Подшипники для осей шкивов роликовые (фиг. 445) фирмы S. K. F., рассчитанные на принятие давления в 75 т на каждый подшипник.

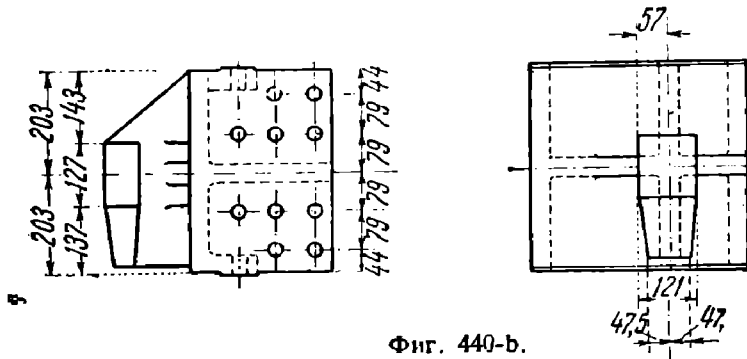
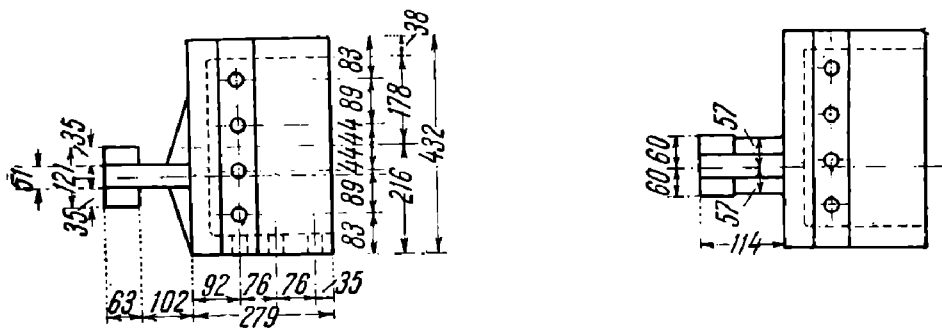
Другая интересная деталь Роттердамского моста—устройство направляющих приспособлений, показанное на фиг. 446 и 447. От поперечных перемещений пролетное строение во время движения удерживается четырьмя роликами R_6 , от продольных четырьмя роликами R_7 . Последние снабжены спиральными пружинами, позволяющими фермам удлиняться от изменения температуры. Для поддержания осей роликов дана распорка T с выступающими концами. Столь значительный вынос направляющих роликов объясняется тем, что расстояние между стойками башен превышает расстояние между осями ферм, в связи с необходимостью разместить шкивы и уравнители (фиг. 444).

Ноги башен, противоположные подъемному пролету, опираются на самостоятельные быки (фиг. 442).

Для подъема и опускания пролетного строения служат рабочие канаты (фиг. 448). Показанная на фиг. 448 пунктиром часть рабочего каната проходит по поддерж-

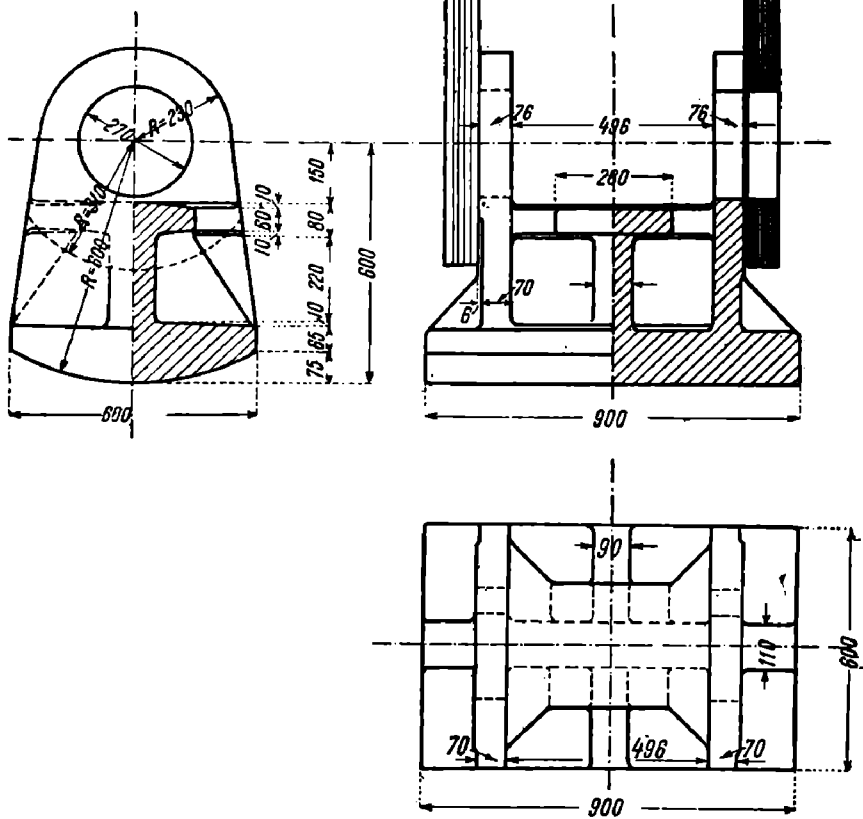


Фиг. 440-а.

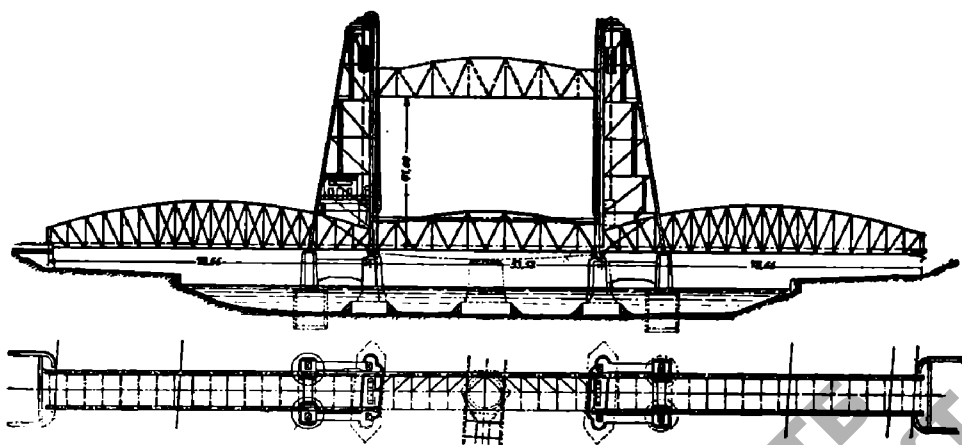


Фиг. 440-б.

НТБ
ДНУЖТ



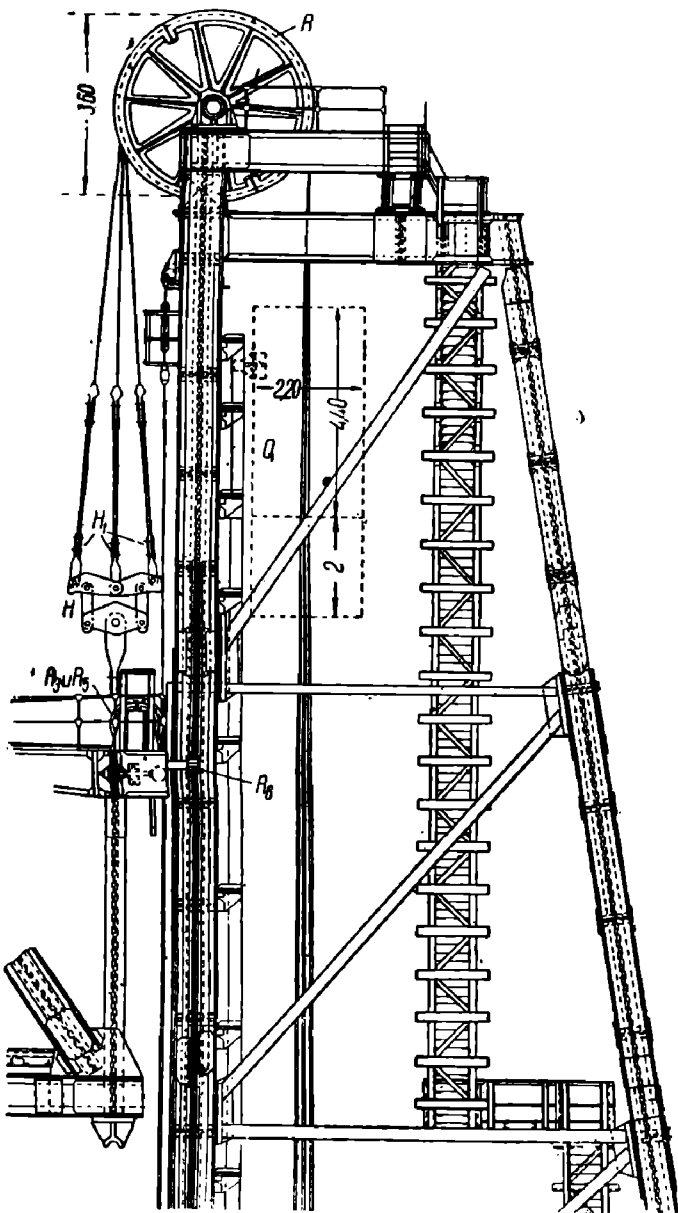
Фиг. 441.



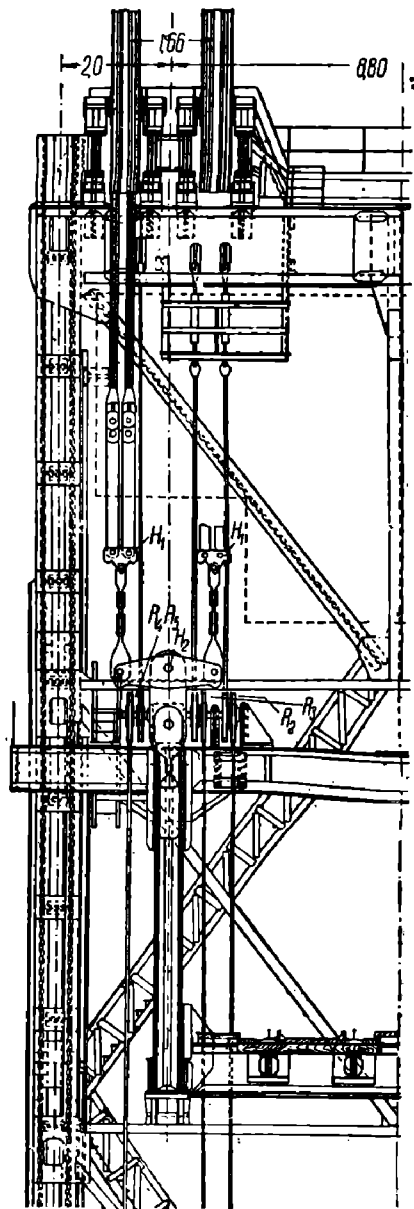
Фиг. 442.

вающим шкивам вдоль верхнего пояса ферм и заканчивается на противоположной башне неподвижным закреплением внизу. Другая часть, изображенная сплошной линией, подымается вверх, огибает вспомогательные шкивы, опускается вниз, переходит на другую сторону и, снова поднявшись наверх, закрепляется. Рабочие канаты пропущены через барабаны R_1 . Последние приводятся во вращение мотором в 450 л. с., что и вызывает подъем пролетного строения.

Чтобы пролетное строение при движении не перекашивалось, даны дополнительные системы канатов S_2 и S_3 . Канаты S_2 (фиг. 449) закреплены в Z_1 , наверху левой по



Фиг. 443.

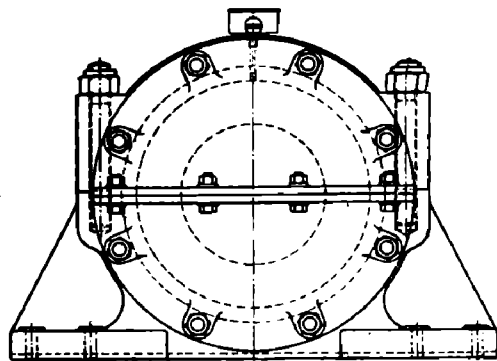
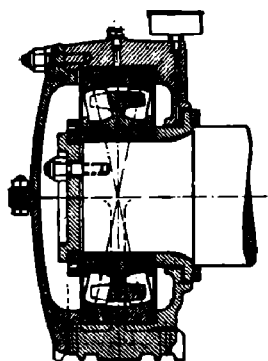


Фиг. 444.

чертежу башни, огибают шкив R_4 снизу, шкив R_5 сверху и снова закрепляются уже на правой башне. Тем самым канаты S_2 не позволяют правому концу пролетного строения подняться выше левого, т. к. такое поднятие связано с растяжением канатов. От перекоса в другую сторону подъемная часть застрахована наличием канатов S_3 , огибающих шкив R_5 снизу, а шкив R_4 сверху. Для каждой системы канатов в R_4 и R_5 помещены самостоятельные, рядом сидящие, шкивы.

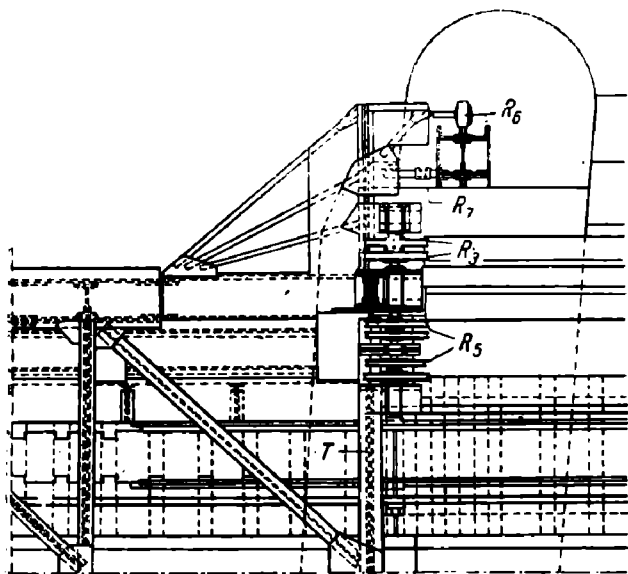
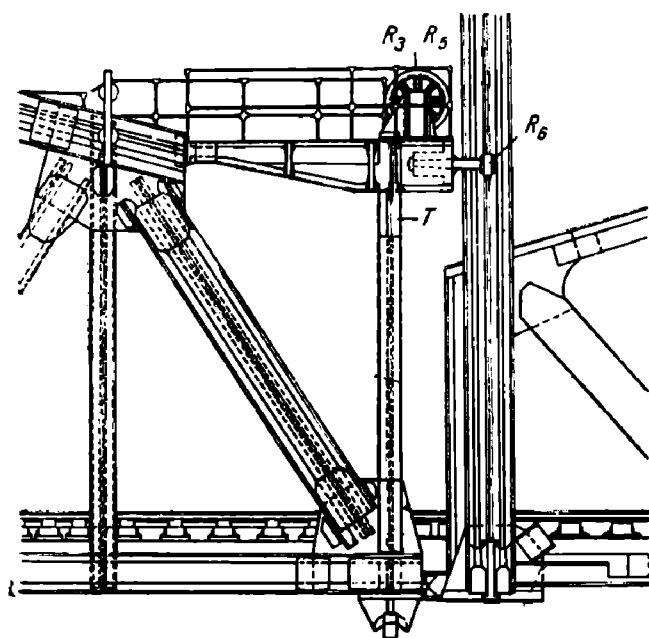
Некоторые из шкивов, о которых выше упоминалось, показаны также на фиг. 443 и 444 (см. буквенные обозначения).

Примененная в Роттердамском мосту схема расположения движущих канатов позволяет не ставить двигатель на пролетное строение, что избавляет от излишнего утяжеления подъемной части и более приятно с эстетической стороны. Но зато схема, показанная на фиг. 411, значительно проще, канаты в ней короче, шкивов меньше.



Фиг. 445.

Фиг. 446.



Фиг. 447.

102. Мост через залив Newark. В 1924—1926 гг. построен мост через залив Newark, под 4 ж.-д. пути. Состав моста общей длиной 2259 м входят 2 вертикально-подъемных пролета, помещенных рядом. Из них один имеет

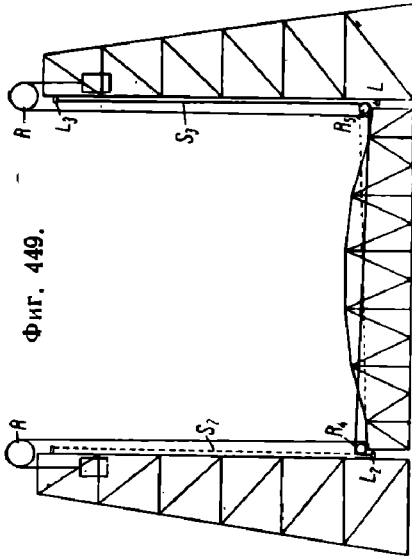
91,13 м между центрами опор, другой—64,24 м. Высота подъема в обоих пролетах—30,48 м.

На фиг. 450 и 451 приведены чертежи, дающие общее представление о подъемных пролетах. На одном пролетном строении уложены 2 ж.-д. пути. Для двух других путей назначены рядом стоящие отдельные пролетные строения.

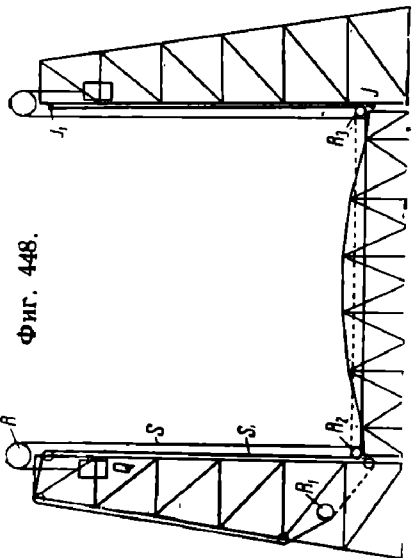
По-особенному устроено в описываемых подъемных пролетах уравновешивание веса движущейся части. Кроме главных противовесов, соединенных с фермами подвесными канатами, имеются еще добавочные, меньших размеров, противовесы, к которым идут через свои шкивы канаты, прикрепленные к фермам в четвертях пролета. Назначение добавочных противовесов — уравновешивать вес подвесных канатов. Действительно, в начале подъема, когда канаты находятся со стороны пролетного строения, к фермам приложены под некоторым углом направленные вверх силы, создаваемые добавочными противовесами. По мере подъема пролетного строения угол, составляемый канатами добавочного противовеса с горизонтальной линией, уменьшается, величина вертикальных составляющих натяжения этих канатов падает, что компенсирует изменение условий равновесия вследствие перехода части канатов за шкивы.

Вес добавочных противовесов по 15 т. Этот вес так подобран, что в верхнем положении пролетного строения система вполне уравновешена, в нижнем же имеется перевес в 10 т в сторону пролета для создания небольших положительных реакций опоре ферм.

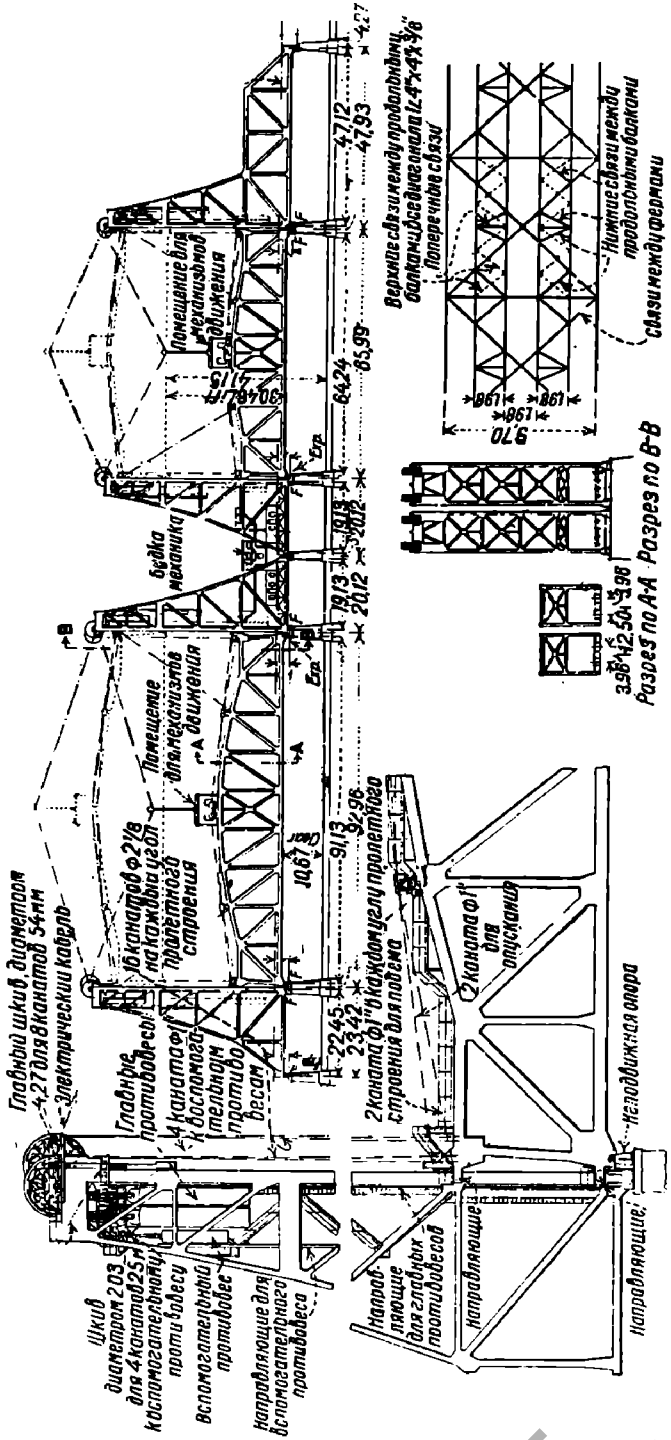
На каждой башне по 2 противовеса, расположенных рядом и имеющих длину, близкую расстоянию между стойками башни. Канаты, идущие от двух противовесов, обхватывают 4 шкива, причем оси одной пары шкивов сдвинуты в плане по отношению к другой паре на 1,5 м (фиг. 452).



Фиг. 449.



Фиг. 448.

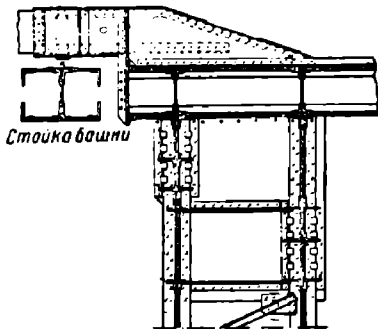


Фиг. 450 и 451.

Прикрепление канатов сделано к противовесам при помощи рычажного уравнителя (фиг. 452); к фермам—посредством круглых стержней с винтовой нарезкой, которые пропущены сквозь стальные плиты, обхватывающие снизу двутавровые двойные распорки портала (фиг. 452 и 455-а).

Разделение 16 канатов на две группы по 8 на шкив позволило сделать шкивы одностенчатыми (фиг. 452) с радиальными ребрами (на чертеже реборды показаны только в одной проекции).

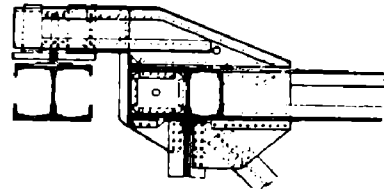
Опорные части на неподвижном конце пролетного строения (фиг. 457) несколько своеобразной конструкции. Цилиндрический шарнир и нижний стул остаются на месте. Поднимается сидящая на шарнире отливка, нижние края которой немного раздвинуты. Центрирование пролетного строения в продольном направлении осуществляется указанной отливкой. В поперечном же направлении та же цель достигается специальным центрирующим приспособлением (фиг. 458), помещенным под поперечной балкой посередине ее длины.



Фиг. 455-с.

Подвижные опоры устроены обычного для вертикально-подъемных мостов типа (фиг. 457, правый чертёж).

На фиг. 458, кроме центрирующей отливки, показаны задвижка, приводимая в дви-

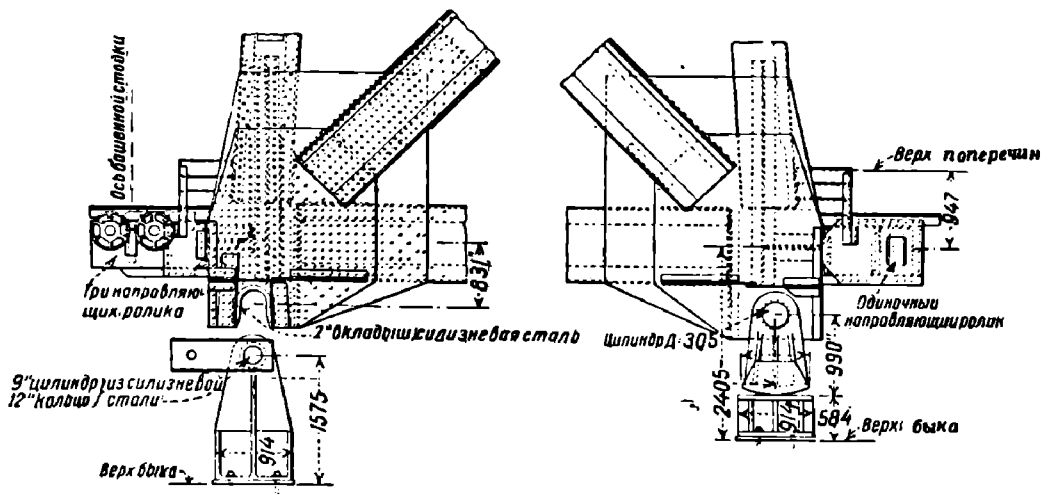


Фиг. 456.

жение сжатым воздухом и предохраняющая пролетное строение от случайного подъема, и пневматический буфер для смягчения удара при опускании ферм на опоры.

Способ приведения подъемной части в движение такой же, какой был описан в § 41, 100.

В качестве двигателей взяты (для пролета в 91,13 м) 2 электромотора по 150 л. с. и запасной двигатель внутреннего сгорания в 200 л. с. План машинной установки дан на фиг. 459.



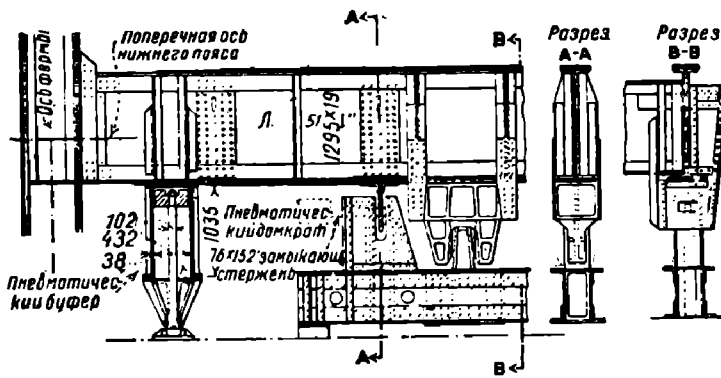
Фиг. 457.

Для подачи моторам тока к особой стойке над верхним поясом посередине пролета прикреплены канаты, отведенные к вершинам башен. Канаты перекинуты через специальные шкивы и соединены с небольшими противовесами, которые держат канаты постоянно в натянутом положении. К канатам присоединены питающие моторы кабель. Такое устройство делает ненужным прикрепление скользящих контактов.

Каждое восточное пролетное строение ($l=91,13$ м) весит вместе с механизмами— 1 135 т.

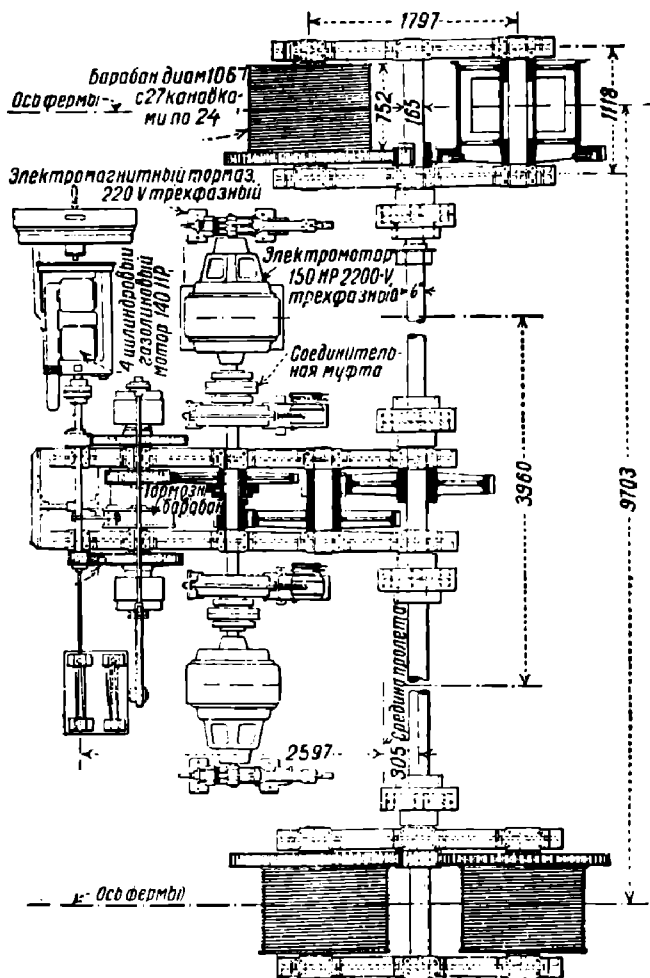
103. Мост через White River на ж.-д. линии Memphis—Little Rock (открыт для движения в 1927 г.). Имеет вертикально-подъемную часть, пролетом 55,58 м, с высотой

подъема 16,76 м (фиг. 460). Предназначен под железную однопутную дорогу. Вес пролетного строения 361 т.



Фиг. 458

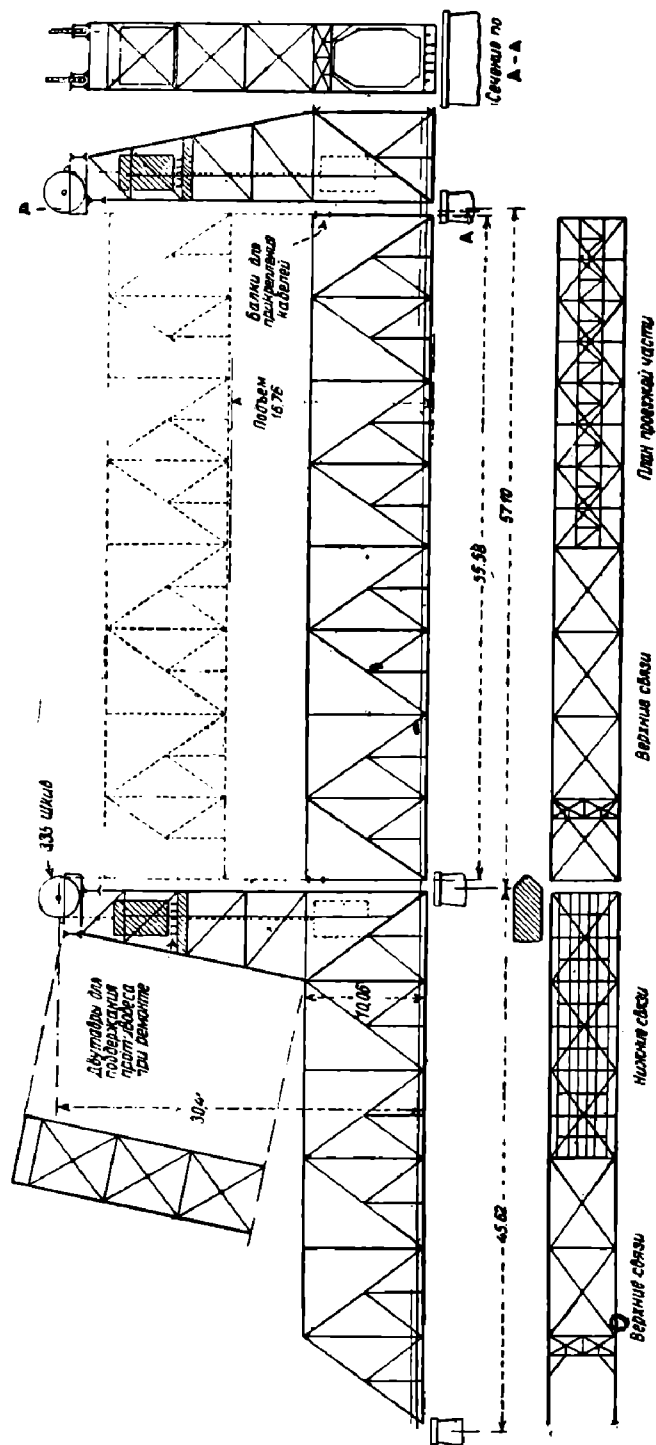
Для уравнивания пролетного строения во время его подъема служат два противовеса по 180 т. Каждый из них подвешен на шестнадцати стальных кабелях диаметром 41,3 мм.



Фиг. 459.

Кабели перекинута через шкивы диаметром 3,35 м и шириной 0,311 м, рассчитанные на пропуск 8 канатов. Для прикрепления к противовесу и к пролетному строению кабели разделены на группы как показано на фиг. 461. На высоте 1,83 м от места при-

крепления поставлены сжимы, обеспечивающие спокойный переход кабелей на шкив. Равномерность натяжения всех кабелей достигается гидравлическим уравнивателем (фиг. 487). Он состоит (по числу канатов) из восьми цилиндров, ныряла которых верхними вилкообразными концами соединены с канатами, снабженными соответствующими



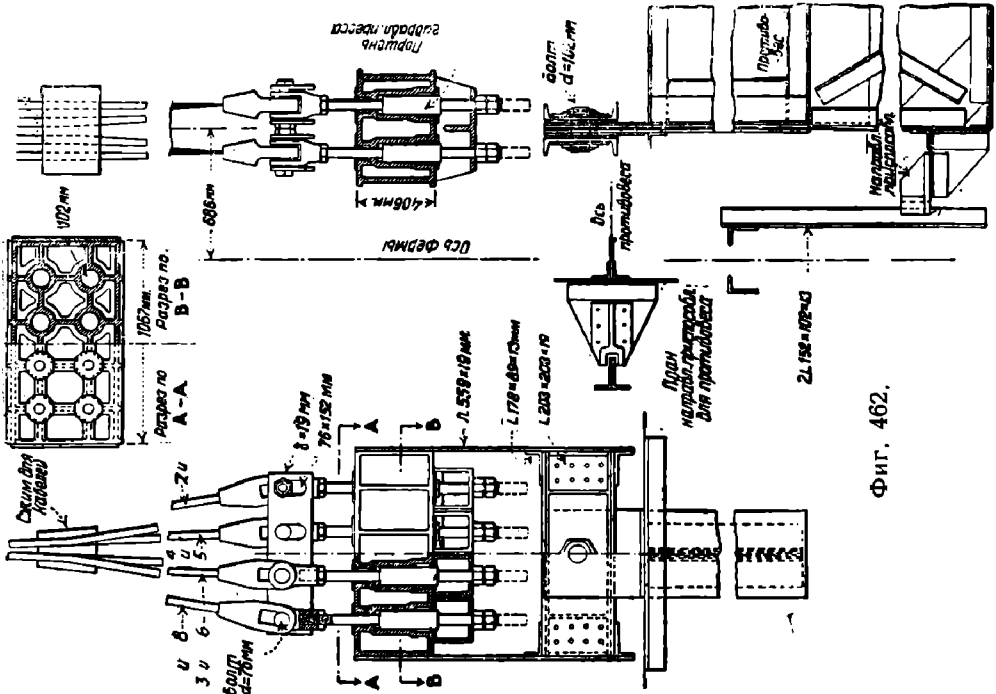
Фиг. 460.

деталью, а внизу заканчиваются круглыми стержнями с винтовой нарезкой, пропущенными сквозь, стальные открытые коробки, представляющие собой одно целое с цилиндрами. Последние соединены с клепаной рамой, на которой при помощи 100 мм болта висит противовес. Чтобы сохранить параллельность верхних концов нырял, даны планки 19 мм толщины с овальными вырезами для соединительных болтов.

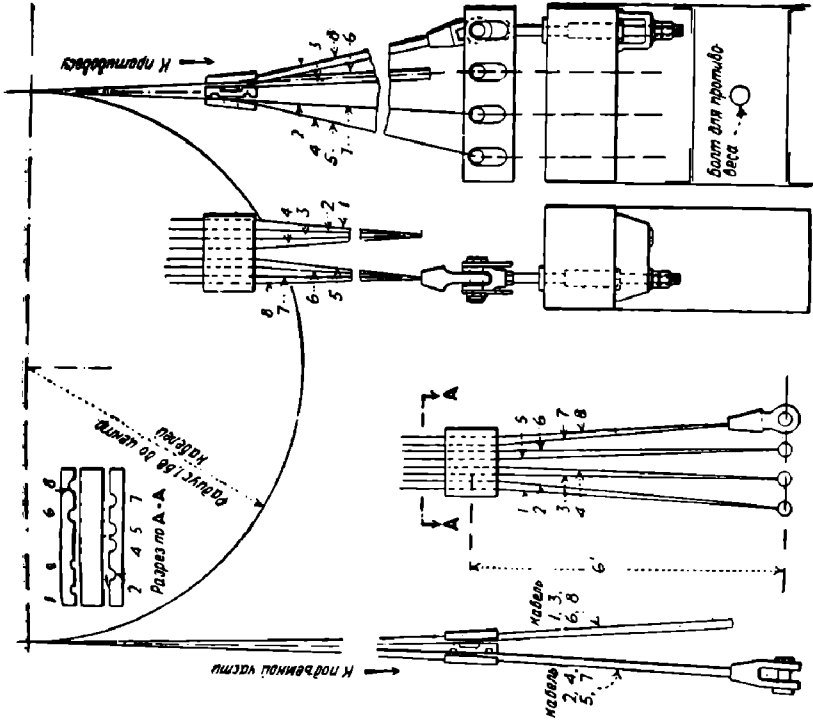
Действие гидравлического уравнивателя заключается в следующем. При монтаже все цилиндры соединяются трубопроводом с одним масляным насосом, которым со-

здается необходимое давление. Ныряла получают небольшое перемещение и выравниваются усилия в кабелях. После этого завинчивают без особого нажима гайки и контргайки на нижних концах нырял и разобщают цилиндры и насос.

Такая же операция повторяется после замены износившегося кабеля новым.



Фиг. 462.



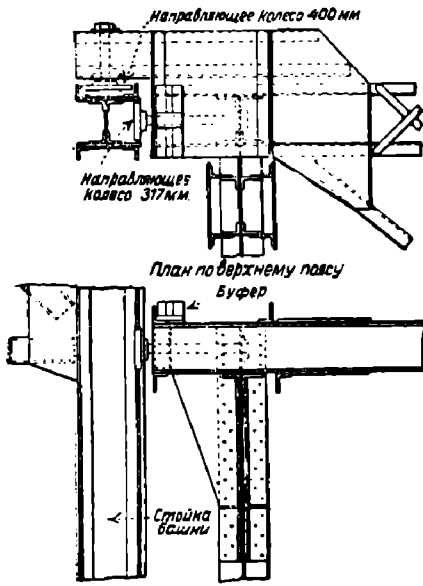
Фиг. 461.

Направляющие для движения пролетного строения приспособления состоят из двух роликов в верхнем каждом углу пролетного строения со стороны неподвижных опор и по одному ролику во всех остальных углах (фиг. 463). Большинство роликов входит внутрь опорных стоек башен, что упрощает закрепление их осей, и только ролики, препятствующие продольным перемещениям пролетного строения, помещены с наружных сторон опорных стоек.

Диаметры роликов 0,34 и 0,40 м. Между роликами и путем их катания оставлены зазоры по 13 мм.

Правильная постановка подъемной части на место осуществляется приспособлениями, показанными на фиг. 464, состоящими из отливок, из коих одни прикреплены к стойкам неподвижного пролета, а другие—к нижним поясам ферм подвижной части. Отливки имеют соприкасающиеся плоскости, срезанные на клин. Центрирующие приспособления со стороны неподвижных опор снабжены—против продольных перемещений ферм—закраинами.

Опорные части подвешены к фермам (фиг. 464).



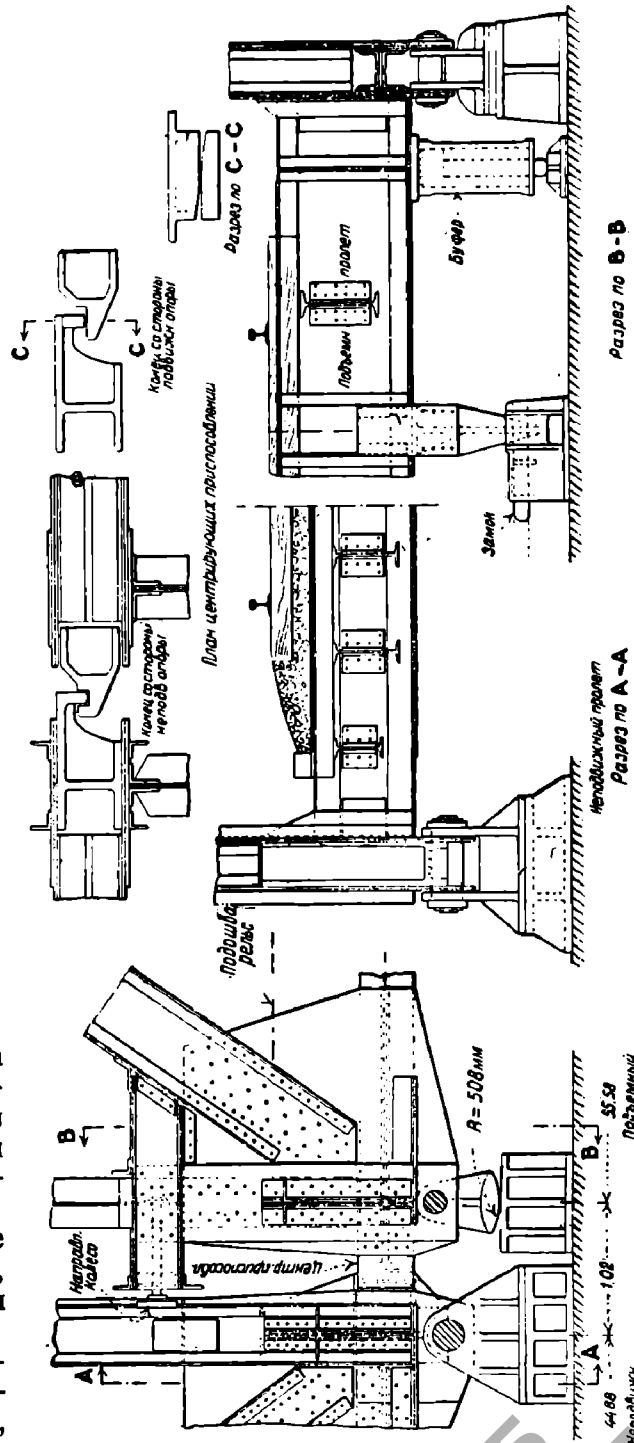
Фиг. 463.

В закрытом состоянии моста пролетное строение предохраняется от случайного подъема особыми задвижками (фиг. 464). Удар при опускании амортизируется пневматическими буферами (фиг. 464).

Противовесы выполнены в виде металлических ящиков (фиг. 462), заполненных бетоном и старыми рельсами.

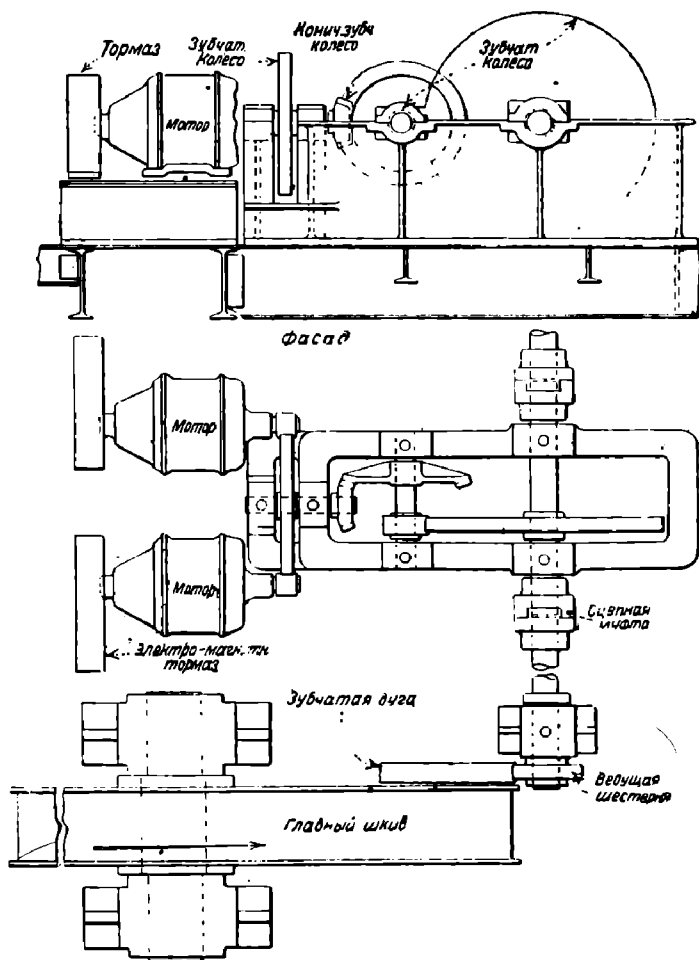
Движение противовесов ограничено направляющими приспособлениями, имеющими форму вилок, скользящих по таврам из двух уголков (фиг. 462).

Подъем и опускание пролетного строения достигается вращением шкивов, через которые перекинута подвесные канаты. Насколько известно, этот прием применен впервые в описываемом мосту. Шкивы на внутренней поверхности имеют зубчатые дуги, за которые зацепляют шестерни, приводимые во вращение двумя электромоторами по 25 л. с. (фиг. 465). Для преодоления сопротивлений движению достаточно по одному мотору на каждом конце пролета. Вторые моторы—запасные.



Фиг. 464.

Одновременность подъема обоих концов пролетного строения достигается синхронизацией работы моторов.



Фиг. 465.

Из мелких деталей отметим специальные балки, на которые можно поставить противовес, если это требуется, при ремонте моста (фиг. 460).

Глава XI

ДАнные для проектирования вертикально-подъемных мостов. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА

§ 42. ВЕС ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ И БАШЕН

104. Для предварительного определения веса вертикально-подъемных пролетных строений мы даем два графика, построенные на основании приводимых инж. Waddell'ом данных из американской практики.

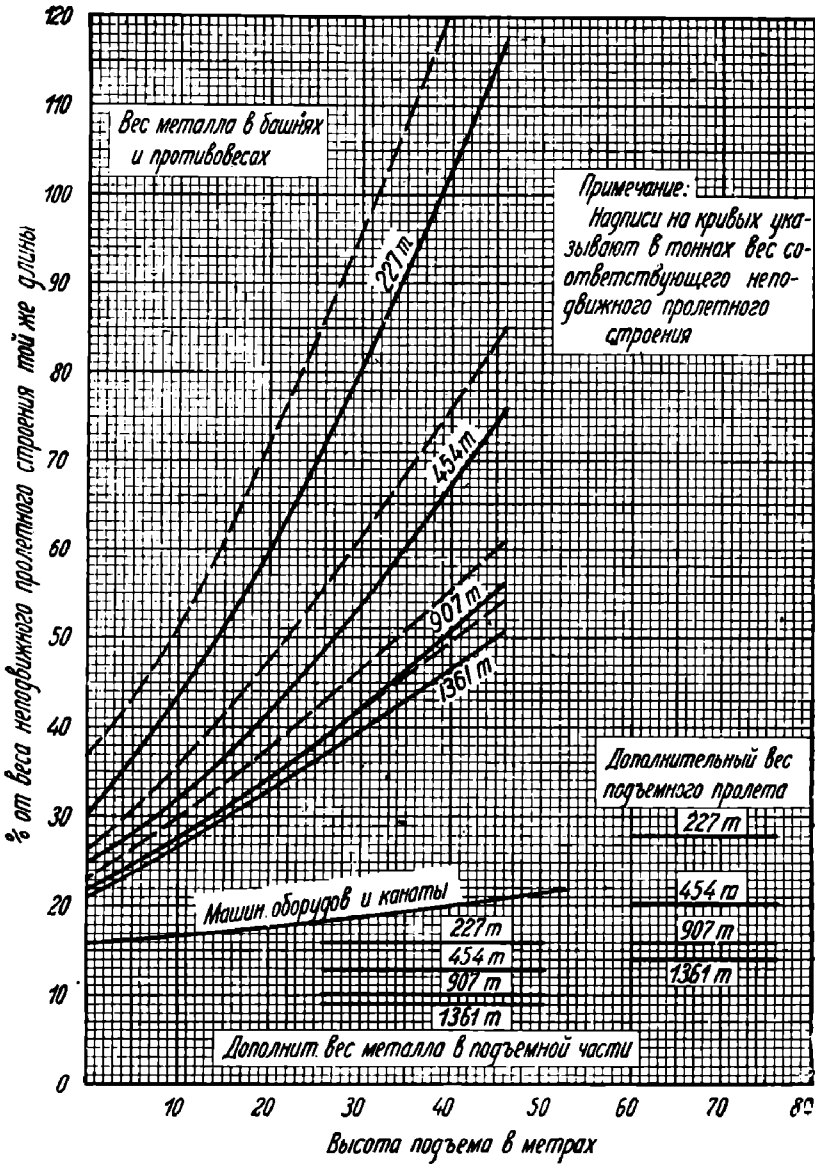
Пользуясь первым графиком (фиг. 466), можно определить: 1) вес металла в башнях и в каркасах железобетонных противовесов, 2) вес машинного оборудования и канатов, 3) дополнительный вес металла в пролетном строении и 4) дополнительный вес подъемной части, включая в него вес тех механизмов и приспособлений, которые находятся на пролетном строении.

Все перечисленные данные получаются из графика в процентах от веса постоянного пролетного строения той же длины, как и подъемная часть, вес которой желательно знать. График относится к вертикально-подъемным мостам с двигателями, расположенными на пролетном строении.

Сплошные линии графика построены для тех мостов, в которых башни подъемного пролета опираются на соседние неподвижные пролетные строения; пунктирные—для

мостов с непосредственным опиранием башен на опоры или на балки со сплошной стенкой.

Второй график (фиг. 467) дает дополнительный вес подъемного пролетного строения (по сравнению с постоянным той же длины) в более удобной для пользования форме.



Фиг. 466.

По указанию Lefler'a¹ вес шкивов составляет 0,09—0,2 т на тонну металла пролетного строения, вес кабелей—0,052—0,056 т, вес механизмов 0,13—0,17 т.

В Ростовском мосте через р. Дон полный вес движущейся части распределяется следующим образом:

1) фермы, связи, проезжая часть	686 т
2) металлический настил	84 >
3) досчатый тротуар	9 >
4) механизмы и опорные части	47 >
5) два противовеса	826 >
6) канаты, захваты и уравнители	30 >
7) шкивы и их оси	54 >
<hr/>	
Всего	1736 т

Пролетное строение Ростовского моста рассчитано на ж.-д. нагрузку 1907 года. Мост под 2 пути, подъемный пролет имеет 64 м между центрами опор.

¹ Lefler, Movable Bridges. Bul. Am. Rw. Ass., 1914 г.,

§ 43. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ПОДВЕСНЫХ И РАБОЧИХ КАНАТАХ

105. В качестве первого приближения, усилие во всех канатах, соединяющих пролетное строение с противовесами, можно принять равным весу пролетного строения, увеличенному на вес канатов.

В действительности усилие в подвесных канатах будет больше, т. к. кроме указанных выше нагрузок на них будут действовать в определенные моменты движения силы инерции, силы сопротивления движению от трения в осях, в направляющих приспособлениях и т. д. Знание всех перечисленных сил необходимо и для определения усилий в рабочих канатах, т. е. в тех, которые служат для приведения пролетного строения в движение. В зависимости от тех же факторов находится и мощность двигателей.

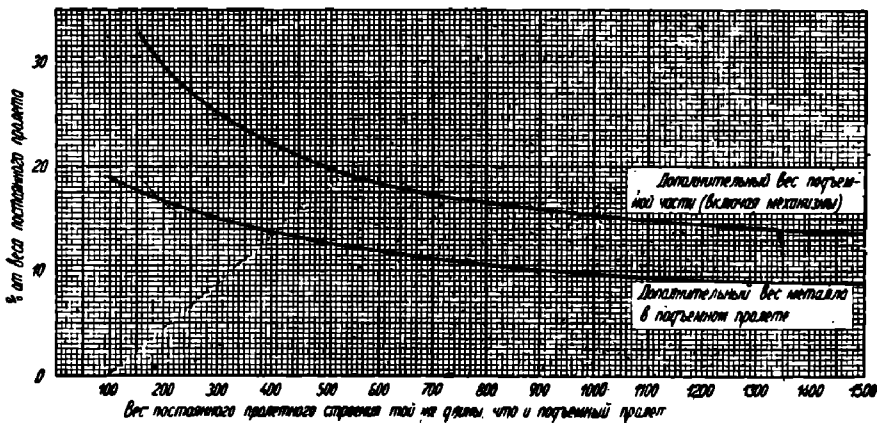
В дальнейшем изложении рассмотрен расчет усилий в канатах для вертикально подъемного моста, устроенного по типу Ростовского моста.¹

Приняты следующие обозначения:

P —вес пролетного строения или равный ему вес обоих противовесов;

i_1 —сила инерции пролетного строения или противовесов в начале движения;

i_2' —то же в конце движения;



Фиг. 467.

t —разность натяжения восходящего и нисходящего концов подвесных канатов у шкива, происходящая от трения в оси шкива и от жесткости канатов;
 k —вес всех канатов противовеса, имеющих длину, равную высоте подъема;
 c_1 —сила трения в центрирующих отливках;
 c_2 —сила трения в направляющих для пролетного строения приспособлениях;
 c_3 —сила трения в направляющих для противовеса приспособлениях.

Усилия в канатах (суммарные во всех):

T_1 —у места прикрепления к противовесам;

T_2 —у шкива со стороны противовесов;

T_3 —у шкива со стороны пролетного строения;

T_4 —у места прикрепления к пролетному строению;

X —в рабочих канатах, прикрепленных к нижним точкам башен;

Y —в рабочих канатах, прикрепленных к нижним точкам башен;

G —вес неуравновешенной части настила (от изменения влажности).

Рассмотрим 4 момента: 1) начало подъема (фиг. 468-а), 2) конец подъема (фиг. 468-б), 3) начало опускания (фиг. 468-с) и 4) конец опускания (фиг. 468-д).

В начале подъема $T_1 = P - i - c_q$, так как к противовесам приложены силы инерции, направленные вверх (противовесы начинают опускаться).

Пренебрегая весом части канатов, находящихся между противовесами в их высшем положении и шкивом, можно считать для начала подъема

$$T_2 = T_1 = P - i_1 - c_q.$$

¹ В основу приводимого ниже расчета положен расчет, сделанный для моста через р. Дон инж. Бородулиным и опубликованный инж. Янушевским в «Технике и экономике путей сообщения» за 1921 г., № 10.

Затем

$$T_3 = T_2 - t = P - i_1 - c_q - t,$$

ввиду того, что шкивы начинают вращаться в направлении от пролетного строения к противовесам и натяжение сбегающей с шкивов части канатов должно быть больше натяжения набегающей части.

Наконец

$$T_4 = T_3 - k = P - i_1 - c_q - t - k.$$

К пролетному строению в этот момент движения приложены силы

$$R = P + i_1 + c_1 + (G),$$

так как силы инерции направлены вниз и, следовательно, суммируются с весом пролетного строения. В том же направлении действуют силы трения в центрирующих отливках.

Чтобы заставить пролетное строение подниматься, необходимо приложить к нему усилия X в рабочих канатах, равные разности между силами, действующими на пролетное строение, и усилиями в подвесных канатах в месте их прикрепления к фермам.

Эта разность равна

$$X = R - T_4 = 2i_1 + c_1 + c_q + t + k + (G).$$

Усилия в другой системе рабочих канатов должны быть при этом равны нулю

$$Y = 0.$$

Путем подобных рассуждений нетрудно выяснить значения интересующих нас усилий и в другие моменты движения, что и сделано в следующей ниже таблице:

Наименования усилия	Начало подъема	Конец подъема	Начало опускания	Конец опускания
T_1	$P - i_1 - c_q$	$\frac{P + i_2 - c_q}{2}$	$P + i_1 + c$	$P - i_2 + c_q$
T_2	$P - i_1 - c_q$	$\frac{P + i_2 - c_q + k}{2}$	$P + i_1 + c_q + k$	$P - i_2 + c_q$
T_3	$P - i_1 - c_q - t$	$\frac{P + i_2 - c_q + k - t}{2}$	$P + i_1 + c_q + k + t$	$P - i_2 + c_q + t$
T_4	$\frac{P - i_1 - c_q - t - k}{2}$	$\frac{P + i_2 - c_q + k - t}{2}$	$\frac{P + i_1 + c_q + k + t}{2}$	$\frac{P - i_2 + c_q + t + k}{2}$
R	$P + i_1 + c_1 + (G)$	$P - i_2 + c_2 + (G)$	$P - i_1 - c_2 + (G)$	$P + i_2 - c_1 + (G)$
$X = R - T_4$	$2i_1 + c_1 + c_q + t + k + (G)$	$-2i_2 + c_q - k + t + c_2 + (G)$	0	$2i_2 - c_1 - c_q - t - k + (G)$
$Y = T_4 - R$	0	$2i_2 - c_q + k - t - c_2 - (G)$	$2i_1 + c_q + c_2 + k + t - (G)$	$-2i_2 + c_q + c_1 + t + k - (G)$

В пояснение к таблице необходимо заметить следующее. Вес неуравновешенной части настила G может быть равен 0, быть положительной величиной или отрицательной. Поэтому этот фактор следует вводить в негоднейшем квзждый раз предположении. Чтобы оттенить это, величина G взята в таблице в скобки.

В конце подъема и в конце опускания возможны 2 случая: 1) пролетное строение необходимо довести до своего крайнего положения, действуя на него рабочими канатами до самого конца, 2) пролетное строение приходится останавливать натяжением другой системы канатов. Какой именно случай будет иметь место, можно выяснить из приведенной таблицы. Если в конце подъема $X < 0$, $Y > 0$, то это означает, что на пролетное строение следует до самого конца движения действовать системой рабочих канатов предназначенных для подъема, и поэтому надо положить $Y = 0$. Обратное, если $X < 0$

$U > 0$, следует считать $= 0$, т. е. пролетное строение нуждается для остановки в натяжении рабочих канатов, служащих для опускания. Таюже решается вопрос об усилиях X и Y в конце опускания.

Из таблицы видно, что наибольшее усилие в подвесных канатах будет равно

$$T_{max} = P + k + i_1 + c_q + t,$$

а наибольшее усилие в рабочих канатах:

$$X_{max} = 2i_1 + c_1 + c_q + t + k + (G).$$

Теперь обратимся к определению величин i , c , t и др.

106. Сила инерции i , принимая во внимание, что движение пролетного строения и противовеса совершается поступательно, и обозначая ускорение через j , будет равна

$$i = \frac{P \cdot j}{1},$$

где g —ускорение силы тяжести.

Чтобы определить j , достаточно задать время ускорения, замедления и равномерного движения, а затем воспользоваться тем же приемом вычисления j , который был указан для поворотных и раскрывающихся мостов.

Прием этот дает следующие результаты:

$$j = \frac{v}{\tau_1}, \quad j = \frac{v}{\tau_2},$$

где

v —скорость равномерного движения.

τ_1, τ_2 —период ускорения или замедления движения,

$$v = \frac{H}{\frac{\tau_1}{2} + \tau + \frac{\tau_2}{2}} = \frac{H}{\tau_0}.$$

В этом выражении:

H —высота подъема пролетного строения;

τ —период равномерного движения;

τ_0 —так называемое «приведенное» время движения.

Массу шкивов осей можно считать в запас прочности, сосредоточенной на окружности шкивов, т. е. прибавить к массе противовесов.

Наименьшую величину силы инерции будут иметь в том случае, когда период разбега равен периоду замедления движения, при прочих равных условиях. Действительно, положив $\tau = \tau_2 = \alpha t_0$, где t_0 —полное время подъема (или опускания), имеем

$$v = \frac{H}{t_0 (1 - \alpha)},$$

$$j = \frac{H}{t_0^2 \alpha (1 - \alpha)}$$

Приравнявая нулю производную от j по α , получим:

$$\alpha = \frac{1}{2}.$$

Однако при таком режиме ($\tau_1 = \tau_2 = \frac{t_0}{2}$) скорость движения доходит до большей величины, чем при сокращенном времени ускорения и замедления. Во избежание значительных скоростей, в существующих вертикально-подъемных мостах с большой высотой подъема период разбега и замедления принимают в пределах 5—10 сек. при полном времени подъема около 1—2 мин.

107. Разность натяжения нисходящего и восходящего концов каната у шкива t зависит, как было сказано выше, от трения в оси шкива и от жесткости канатов.

Если диаметр шкива D , диаметр оси шкива d , коэффициент трения в оси f (0,15—0,17), давление на шкив Q , то

$$t = \frac{f \cdot d}{D} Q + S,$$

где S —сопротивление от жесткости канатов.

Для определения S можно пользоваться эмпирической формулой Eytllwein'a

$$S = \frac{\alpha \cdot d^2}{D} T,$$

где

d — диаметр каната в мм,

D — диаметр шкива тоже в мм,

T — усилие в канате, $\alpha = 0,01 - 0,015$ — опытный коэффициент.

По Редтенбахеру, для проволочных канатов $\alpha = 0,013$.

По Техническим условиям Общества американских инженеров, $\alpha = 0,0131$.¹

Hovey дает формулу линейной зависимости от диаметра каната:

$$S = c \frac{d}{D} T.$$

На основании опытов, произведенных в 1914 г. American Bridge Co над 44 объектами:

$$S = 0,45 \frac{d}{D} T.$$

По опытам инж. Shortridge² над канатами диаметром 57 мм

$$c = 0,20 \div 0,30.$$

Если принять $\alpha = 0,01$, то по формуле Eytllwein'a для $d = 57$ мм получим:

$$S = 0,57 \frac{d}{D} T.$$

Таким образом можно думать, что формула Eytllwein'a даже при $\alpha = 0,01$, дает преувеличенные результаты. Этот вывод подкрепляется еще тем соображением, что вышеуказанные американские опыты производились при отношениях $\frac{D}{d}$ значительно меньших тех, которые применяются в вертикально-подъемных мостах. Между тем есть основания полагать, что с увеличением $\frac{D}{d}$ коэффициент S должен уменьшаться.

108. Сила трения в центрирующих отливках C_1 появляется в начале подъема и в конце опускания.

Трение скользящее, первого рода. Имеем

$$c_1 = f_1 \cdot W,$$

где W — сумма реакции от ветровой нагрузки на пролетном строении, $f_1 \cong 0,25$ — коэффициент трения.

После выхода отливок, прикрепленных к фермам, из своих гнезд, скользящее трение заменяется трением в направляющих приспособлениях c_2 , которое равно

$$c_2 = \left(f_1 \frac{r}{R} + \frac{a}{R} \right) \cdot W.$$

В этой формуле:

r — радиус оси ролика;

R — радиус самого ролика;

f_1 — коэффициент трения в оси ролика;

a — коэффициент трения качения;

W — давление на ролики (ветровые реакции).

Аналогично определяется сила трения в направляющих для противовеса C . Если направляющие простейшего устройства, в виде вилки, то

$$c_q = f \cdot W.$$

Если же направляющие состоят из системы роликов, то c_q вычисляется по той же формуле, как и c_2 , с подстановкой в нее, конечно, других численных значений.

Точный расчет изменяет незначительно величину усилий в подвесных канатах по сравнению с приближенным расчетом, в котором учитывается только вес противовесов и пролетного строения.

¹ Proceedings of the american Society of civil engineers, March, 1913, стр. 484.

² Hovey, Movable Bridges, т. I, стр. 202.

Так, например, для моста через р. Дон в Ростове наибольшее усилие в канатах по точному расчету 870 т, вес пролетного строения или равный ему вес противовесов— 826 т. Разница около 5%. Если же принять во внимание вес канатов, то разница в величине усилий станет еще меньше, около 3%. Таким образом приведенный подробный расчет имеет значение главным образом для определения усилий в рабочих канатах и для вычисления мощности двигателей.

В соответствии с иным устройством вертикально-подъемной части, например, при системах с уравниванием веса канатов, при другой схеме механизмов движения и т. д., следует несколько изменить приведенный выше способ расчета. Однако общие принципы решения задачи остаются прежними, и не представит особых затруднений внести в них необходимые поправки.

§ 44. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРА КАНАТОВ И РАЗМЕРОВ ЗАХВАТОВ ДЛЯ НИХ

109. Кроме основных растягивающих напряжений, в канатах действуют дополнительные напряжения от их изгиба при охвате шкива.

Для определения дополнительных напряжений Reuleaux¹ вывел такую формулу:

$$\sigma = E \cdot \frac{\delta}{D},$$

где:

δ — диаметр проволок, из которых сплетен канат;

D — диаметр шкива;

E — модуль упругости материала проволок (2 200 000 кг/см²).

В действительности, под влиянием разных причин, не учтенных в формуле Reuleaux напряжения от изгиба в канатах будут меньше, так что можно считать

$$\sigma = k \cdot \frac{E \delta}{D},$$

где k — эмпирический коэффициент.

Бах дает $k = \frac{3}{8} = 0,375$, Hrabak $k = 0,785$.²

По другим германским исследованиям $k = 0,5$ для канатов, изгибаемых все время в одном направлении, и $k = 1,0$ в противном случае (Isaachsen).

Более поздние исследования Benoit и Woernle³ привели к заключению, что влияние на прочность канатов многократного их изгиба заставляет вернуться к формуле Reuleux, т. е. полагать $k = 1$.

В американской практике имеются весьма разнообразные указания на величину коэффициента k .

По Техническим условиям, составленным Lefler'ом в 1913 г., $k = 0,95$.

По Chapman'у⁴ $k = 0,875$.

В 1913 г. American Steel and Wire Company опубликовала формулу для напряжения от изгиба, в которой

$$k = 0,42.$$

Эта формула основана на опытах, указывающих, что модуль упругости проволочных канатов с пеньковой сердцевиной не превосходит 840 000 кг/см².

U. S. Bureau of standards сообщает,⁵ что модуль упругости новых проволочных канатов около 560 000 кг/см².

Waddell, известный специалист по вертикально-подъемным мостам, приводит в своих технических условиях⁶ следующую формулу для интересующих нас напряжений (обозначения прежние):

$$\sigma = \frac{E}{1,03 \frac{D}{\delta} + 15,45},$$

относя ее к канатам, составленным из 6 × 19 проволок.

¹ Reuleaux, Der Konstrukteur, 1882, стр. 793.

² Hrabak, Die Drahtseile, 1902.

³ Benoit, Die Drahtseilfrage, 1915. Woernle, Bericht bes Karlsruher Bezirksvereines d. Ing., 1914 г.

⁴ Chapman, The stress in Wire Ropes due to bending. The Ing. Review, 1908.

⁵ Technologie Paper 121, стр. 56. Pr. of the Am. Soc. of Civil Ing. 1921, стр. 660.

⁶ Waddell, Bridge Engineering, 1916, V. II, стр. 1712.

Так как $\frac{\delta}{D} \cong 0,065 \div 0,07$, а $\frac{D}{d} = 60 \div 80$, то $\frac{D}{\delta} = 800 \div 1\,200$, и влияние второго члена в знаменателе на величину σ ничтожно. Приходится удивляться, что в столь неопределенный вопрос введены совершенно ненужные дегаи.

Заметим, что все формулы американских инженеров приведены к модулю упругости материала проволок $E = 2 \cdot 10^6 \text{ к/см}^2$.

По опытам Howe¹ модуль упругости проволочных канатов зависит от их конструкции (числа прядей и числа проволок в них). Главнейшие результаты опытов Howe даны в нижеследующей таблице. В той же таблице подсчитаны коэффициенты k для формулы $\sigma = k \frac{E \cdot \delta}{D}$ в предположении $E = 2 \cdot 10^6 \text{ к/см}^2$.

С о с т а в к а н а т а	Диаметр каната	Модуль E_k упру- гости каната в целом	$k = \frac{E_k}{E}$
6 прядей по 7 проволок .	3/4"	833 000	0,42
6 » » 19 » .	3/4"	675 000	0,34
6 » » 37 » .	3/4"	713 900	0,35
8 » » 19 » .	3/4"	387 500	0,20

На основании опытов Howe и других аналогичных опытов, Hovey² считает возможным принять $E_k = 843\,700 \text{ к/см}^2$, что дает $k = 0,42$.

Формула для дополнительных напряжений, приведенная выше, справедлива, разумеется, лишь до тех пор, пока суммарные напряжения—от осевого растяжения и от изгиба—не превосходят предела пропорциональности. За пределом пропорциональности модуль упругости материала уменьшается и величина дополнительных напряжений падает. Поэтому отношение разрушающего груза для изогнутого каната к разрушающему грузу для такого же каната, но находящегося под действием лишь растягивающих сил, будет меньше, чем отношение напряжений в тех же канатах при нагрузках, при которых еще не достигнут предел пропорциональности.

Это подтверждается опытами Bureau of Standards,³ произведенными в 1923 г. В таблице даны отношения временного сопротивления для канатов, обхватывающих шкив и растягиваемых в таком положении, к временному сопротивлению тех же канатов, испытанных на разрыв обычным способом. Как видно из таблицы, влияние обхвата канатом шкива на прочность каната, даже при весьма скромных отношениях диаметра каната к диаметру шкива, не превосходит 25%.

Отношение в процентах временных сопротивлений для изогнутого каната и для испытываемого простого растяжение

Диаметр каната	Диаметр шкива		
	10"	14"	18"
3/8" новый.	80,3	91,5	92,5
3/8" старый.	83,6	82,3	80,9
7/8"	81,9	89,5	92,9
1"	79,3	87,5	92,5
1 1/8"	75,8	81,3	84,7

Waddell рекомендует следующие коэффициенты запаса прочности:

	Для подвесных канатов	Для рабочих канатов
По отношению к временному сопротивлению без учета дополнительных напряжений	6	5
По отношению к пределу упругости с учетом дополнительных напряжений	2	1 1/2

¹ I. Howe. Determination of stresses in wire ropes as applied to modern engineering problems. Trans. A. S. M. E. V. 40, 1918 г.

² Hovey, Movable bridges, V. II, стр. 199.

³ Technologie Papers, № 229.

Leifer¹ более осторожен в своих технических условиях. Он допускает в подвесных канатах всего лишь $\frac{1}{6}$ от временного сопротивления *при учете также и напряжений от изгиба*.

Новейшие технические условия на разводные мосты Канадского общества технических стандартов (1927 г.) требуют следующих коэффициентов запаса:

	Для подвесных канатов	Для рабочих канатов
По отношению к временному сопротивлению троса без учета дополнительных напряжений от изгиба	10	6
То же, но с учетом дополнительных напряжений	5	3

Те же Т. У. дают для подсчета напряжений в канате от изгиба формулу

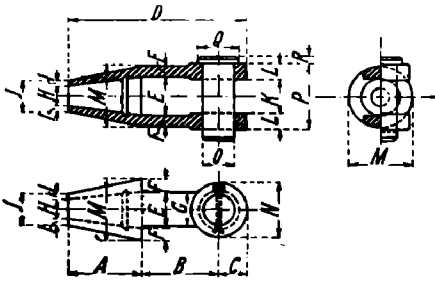
$$\sigma = \frac{E \cdot d}{D}$$

(обозначения прежние).

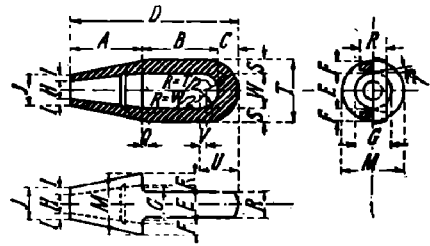
При расчете канатов моста через р. Дон в Ростове коэффициент запаса по отношению к временному сопротивлению без учета дополнительных напряжений получился равным 7,67. Полное же напряжение, включая напряжения от изгиба, составляет 28% от предела упругости, причем напряжения от изгиба вычислены, принимая

$$k = 0,4 \left(\text{в формуле } \sigma = k \frac{E \delta}{D} \right).$$

Из всего вышеизложенного совершенно ясно, что в вопросе о напряжениях в канатах вертикально-подъемных мостов нет достаточной емкости, что нужны новые, серьезно поставленные опыты.



Фиг. 469.



Фиг. 470.

Нам кажется, что на основании имеющегося материала, вероятнее всего считать $k = 0,7 \cong 0,8$ и принимать коэффициенты запаса по техническим условиям Канадского общества стандартов.

Временное сопротивление для канатов в зависимости от качества материала колеблется от 120—200 кг/мм². Предел упругости, по американским данным, составляет по отношению к временному сопротивлению от 50 до 60%.

В приложении II дана таблица, заключающая в себе различные данные о канатах по прейскурунту завода „Красный гвоздильщик“ в Ленинграде.

Для прикрепления канатов, как указывалось в соответствующих параграфах, применяются особые захваты. Американская практика выработала в зависимости от диаметра каната стандартные размеры этих захватов, указанные в таблицах А и В. Буквенные обозначения таблиц В и С относятся к фиг. 469 и 470.

§ 45. НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ ИЗ АМЕРИКАНСКОЙ ПРАКТИКИ

110. Из вышеизложенного ясно, какое серьезное значение могут иметь дополнительные напряжения в канатах от их изгиба при обхвате шкива. Чтобы по возможности уменьшить эти напряжения, а также для того, чтобы понизить сопротивления от жесткости канатов, следует употреблять более гибкие канаты, сравнительно небольших диаметров. Диаметр шкива напротив должен быть возможно больше.

¹ Pros. of the Am. Soc. of Civ. Eng. 1913, стр. 496.

Размеры захватов для канатов. Открытый тип (фиг. 469)

Таблица А

Диаметр каната	Размеры деталей в дюймах																		Размер чеки		Вес в англ. фунтах
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	Диаметр	Длина	
1/4	2	1 9/16	3/4	4 5/16	1 1/2	1/4	3/4	5/16	1/8	9/16	1 1/16	5/16	1 5/16	1 5/16	1 1/2	1 3/4	7/8	5/16	5/16	1 1/8	0.88
3/8	2 1/2	2	1 1/2	5 9/16	1 1/2	5/8	1 1/16	7/16	3/8	1 5/16	1 1/16	1 1/8	1 7/8	1 7/8	1 1/2	2 1/16	1	1 1/4	3/8	1 1/4	2.25
1/2	3	2 1/2	1 3/4	6 3/4	1 3/4	7/8	1 1/4	1 1/16	7/8	1 1/2	1 1/4	1 1/2	2 1/4	2 1/4	1 3/4	2 7/8	1 1/2	1 1/2	1/2	1 3/4	3.75
3/4	3 1/2	3	1 7/8	7 15/16	1 5/8	1 1/2	1 1/2	1 3/16	7/8	1 3/4	1 1/2	1 3/4	2 5/8	2 5/8	2 1/2	3 1/4	1 3/4	1 3/4	3/4	2	5.75
1	4	3 1/2	1 3/4	9 1/4	1 7/8	1 3/4	1 3/4	1 5/16	1 1/2	1 5/8	1 3/4	1 3/4	3 1/8	3 1/8	3 1/2	3 7/8	2	2 1/2	1 1/2	2 1/4	10. —
1 1/8	4 1/2	4	2 1/8	10 9/16	2 1/8	1 3/4	2	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4	1	4	4 1/8	2 1/2	2 1/2	1 1/2	1 1/2	2 3/4	
1 1/4	5	4 1/2	2 1/8	11 13/16	2 1/2	1 3/4	2 3/8	1 1/4	1 3/4	1 3/4	2	2 1/4	1 1/8	4	4 1/2	2 5/8	2 3/4	1 1/2	1 1/2	2 3/4	
1 1/2	5 1/2	5	2 1/8	13 3/16	2 3/4	1 3/4	2 3/4	1 1/2	1 3/4	1 3/4	2 1/4	2 1/2	1 1/8	4 5/8	4 3/4	2 5/8	2 3/4	1 1/2	1 1/2	3 1/2	
1 3/8	5 3/4	5	2 1/8	13 3/16	2 3/4	1 3/4	2 3/4	1 1/2	1 3/4	1 3/4	2 1/4	2 1/2	1 1/8	4 5/8	4 3/4	2 5/8	2 3/4	1 1/2	1 1/2	3 1/2	
1 3/4	6 1/2	6 1/2	3 1/4	16 1/4	3 1/4	1 3/4	3 1/4	1 1/2	1 3/4	1 3/4	2 3/4	3	1 5/8	5 1/2	5 3/4	3	6 5/8	1 1/2	1 1/2	4	55
1 5/8	6 3/2	6 1/2	3 1/4	16 1/4	3 1/4	1 3/4	3 1/4	1 1/2	1 3/4	1 3/4	2 3/4	3	1 5/8	5 1/2	5 3/4	3	6 5/8	1 1/2	1 1/2	4	55
1 7/8	7 1/2	7	3 3/4	18 3/4	3 3/4	1 5/8	3 7/8	1 7/8	1 3/4	1 3/4	3 1/8	3 1/2	1 9/16	6 3/8	6 1/2	3 1/2	7 5/8	1 1/2	1 1/2	4 1/2	82
2	8 1/2	9	4	21 1/2	4 3/8	1 7/8	4 1/4	2 1/8	1 3/4	1 3/4	3 1/8	3 1/2	1 9/16	6 3/8	6 1/2	3 1/2	7 5/8	1 1/2	1 1/2	4 1/2	82
2 1/8	8 1/2	9	4	21 1/2	4 3/8	1 7/8	4 1/4	2 1/8	1 3/4	1 3/4	3 1/8	3 1/2	1 9/16	6 3/8	6 1/2	3 1/2	7 5/8	1 1/2	1 1/2	4 1/2	120
2 1/4	9	10	4 1/2	23 1/2	5	1 5/8	4 3/8	2 3/8	1 3/4	1 3/4	3 3/4	4	1 11/16	7 1/4	7	3 3/4	8 3/4	1 1/2	1 1/2	4 3/4	120
2 3/8	9	10	4 1/2	23 1/2	5	1 5/8	4 3/8	2 3/8	1 3/4	1 3/4	3 3/4	4	1 11/16	7 1/4	7	3 3/4	8 3/4	1 1/2	1 1/2	4 3/4	160
																					160

Размер ызахватов для канатов. Закрытый тип (фиг. 470)

Таблица В

Диаметр каната	Размеры деталей в дюймах																		Вес в англ. фунтах
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	M	Q	R	S	T	U	V	W	
1/4	1 3/4	2	1 1/2	4 1/4	7/8	5/16	1 3/16	5/16	27/128	47/64	1 1/2	3/4	5/8	3/8	1 5/8	1 5/16	1/8	7/8	0.66
3/8	1 3/4	2	1 1/2	4 1/4	7/8	5/16	1 3/16	5/16	19/128	47/64	1 1/2	3/4	5/8	3/8	1 5/8	1 5/16	1/8	7/8	0.66
1/2	2	2 1/4	1 1/2	4 18/16	1 1/2	7/8	1	7/16	8/16	1 1/2	1 1/2	3/4	3/4	7/16	1 15/16	1 13/16	1/8	1 1/16	1.1
3/4	2 1/2	2 1/2	1 1/2	5 11/16	1 1/2	7/8	1 1/4	1 1/16	18/64	1 3/32	2 3/16	3/4	3/4	1 1/8	2 1/16	1 11/32	3/16	1 1/16	1.8
1	3	3	1 3/4	6 13/16	1 3/4	1 1/2	1 1/4	1 3/16	7/32	1 1/4	2 9/16	3/4	3/4	1 1/16	2 9/16	1 19/32	3/16	1 1/16	3.2
1 1/8	3 1/2	3 1/2	1	8	1 13/16	1 1/2	1 1/4	1 1/8	17/64	1 15/32	3	1 1/2	1 1/2	1 1/4	3 1/16	1 39/64	1/4	1 1/16	5.
1 1/4	4	4	1 1/8	9 1/8	2 1/8	1 1/2	2	1 1/8	11/16	1 3/4	3 1/2	1	1 1/2	1 1/2	3 7/8	1 37/32	1/4	2 1/8	8.
1 1/2	4 1/2	4 1/2	1 1/4	10 1/4	2 3/8	1 3/4	2 1/4	1 1/4	13/64	1 31/32	3 15/16	1 1/8	1 3/4	1 1/2	4 1/4	2 7/16	5/16	2 3/8	11 1/4
1 3/8	5	5	1 5/8	11 5/8	2 5/8	1 3/4	2 1/2	1 3/8	13/32	2 3/16	4 3/8	1 1/4	2	1	4 5/8	2 5/8	5/16	2 5/8	15 3/4
1 3/4	6	6 1/2	1 1/2	14	3 1/8	1 1/2	3	1 1/2	1/2	2 5/8	5 1/4	1 1/2	2 1/2	1 1/8	5 3/8	3 1/16	3/8	3 1/8	25 3/4
1 5/8	6 1/2	6 1/2	1 1/2	14	3 1/8	1 1/2	3	1 1/2	1/2	2 5/8	5 1/4	1 1/2	2 1/2	1 1/8	5 3/8	3 1/16	3/8	3 1/8	25 3/4
1 7/8	7 1/2	7 1/2	2 1/8	17 1/2	3 3/4	1 5/8	4	1 7/8	5/8	3 1/8	6 1/8	1 1/2	3	1 7/8	6 3/4	4	5/8	3 3/8	53
2	8 1/2	8 1/2	2 1/8	19 3/4	4 3/8	1 9/16	4 1/4	2 1/8	13/16	3 3/4	7 1/8	2 1/4	3 1/4	1 1/2	7 3/4	4 3/8	1 1/2	3 7/8	80
2 1/4	9	9 3/4	2 7/8	21 5/8	5	1 5/8	5 1/2	2 3/8	13/16	4	8 1/4	2 1/2	3 5/8	1 5/8	8 1/2	4 7/8	1 1/2	4	105

Примечание. 1 англ. фунт равен 0,454 кг.

17 Курс разводных мостов.

257

Гибкость канатов зависит от толщины проволок, из которых он сделан, и от числа прядей, входящих в его состав.

Новеу рекомендует применять канаты следующих конструкций.

Диаметр каната	Состав каната
До 38 мм включ.	6 прядей по 19 провол. с пеньковой сердцевинной
38—54 мм	6 » » 37 » » »
54—63,5 мм	6 » » 61 » » »

Применение канатов диаметром 63,5 мм может быть допущено как исключение. Вообще же предельным диаметром считается 51 мм. С другой стороны, не следует брать канаты слишком малых диаметров—меньше чем 19 мм.

Диаметр шкивов, через которые перекинута подвесная каната, должен быть не менее 60 диаметров каната. На эту цифру следует смотреть как на предельную. В существующих вертикально-подъемных мостах отношение диаметров шкива и каната ($\frac{D}{d}$) часто доходит до 80, что весьма желательно, как средство понизить напряжения в канатах от изгиба.

Для рабочих канатов можно довольствоваться $\frac{D}{d} \geq 40$, а в исключительных случаях, при запасе прочности не менее 6, — $\frac{D}{d} \geq 30$.

Новеу ставит отношение $\frac{D}{d}$ в зависимость от конструкции канатов, как это видно из таблицы.

Состав каната	Диаметр шкива	
	Подвеск. канаты	Рабочие канаты
6 прядей по 19 провол. с пеньк. сердцевинной	60	48
6 » » 37 » » »	45	35
6 » » 61 » » »	35	27

Ширина шкива определяется по числу канатов, исходя из следующих соображений. Между канавками для подвесных канатов оставляются бороздки толщиной около 3,2 мм. Расстояние от оси крайнего каната до боковой поверхности шкива следует взять равным приблизительно d (d —диаметр каната).

Таким образом, если число канатов, пропущенных через шкив n , то ширина шкива должна быть равна

$$b^{\text{мм}} = nd + (n - 1) 3,2 + 2d = (n + 2) d + 3,2 (n - 1).$$

В шкивах, через которые проходят рабочие канаты, ширину промежутков необходимо, ввиду малого числа канатов, увеличить до 6,5 мм, а расстояние от оси крайнего каната до боковой поверхности шкива—до $1\frac{1}{2} d$.

Бороздки между канатами должны возвышаться над линией, проходящей через центры сечений канатов, на 3,2—6,5 мм.

Угол наклона поверхности, ограничивающей крайнюю канавку, берется равным 15° (к вертикали) верхний край этой поверхности возвышается над линией центров на $\frac{1}{2} d$.

Для большей наглядности данные, определяющие размеры канавок, ширину шкивов и т. п., показаны на фиг. 471.

Диаметр оси шкива определяется расчетом на изгиб. Кроме того диаметр оси и длина той ее части, которая опирается на подшипник, должны быть проверены на наибольшее опорное давление, исходя из допускаемых напряжений в 100—140 кг/см² горизонтальной проекции цапфы (по американским данным).

При этом длина цапфы обычно делается на 50 мм больше ее диаметра.

Если диаметр оси превышает 200 мм, рекомендуется просверлить канал во всю длину оси, внутренний диаметр которого был бы равен $\frac{1}{4}$ диаметра оси.

Шкив закрепляется на оси не менее чем 3 шпонками, рассчитанными на сдвигающую силу в 20% от полной на шкив нагрузки.

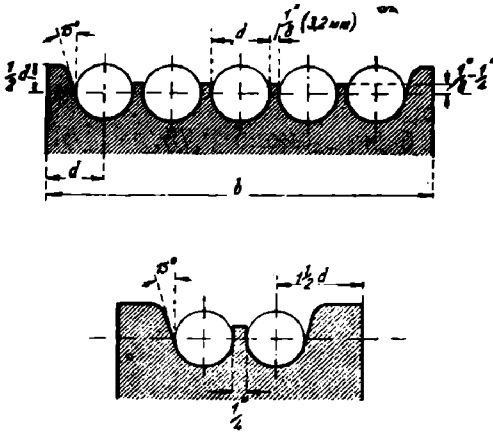
Количество спиц в шкиве должно быть не менее 8.

Барaban лебедки, на который наматываются рабочие канаты, должен иметь диаметр не меньший, чем у шкивов для рабочих канатов (не менее $40 d$, при благоприятных условиях до $30 d$).

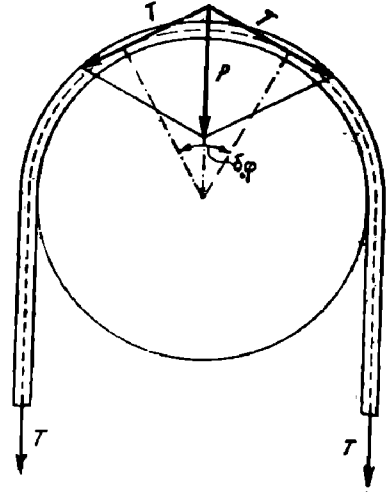
§ 46. РАСЧЕТ ШКИВОВ

111. Размеры обода и спиц шкива должны быть проверены расчетом.

Приближенно можно рассматривать обод как неразрезную балку длиной, равной развернутой длине полуокружности шкива. Опорами этой балки будут служить спицы. Балку следует считать нагруженной равномерно распределенной нагрузкой p .



Фиг. 471.



Фиг. 472.

Величина нагрузки p определяется путем следующих рассуждений. Выделим часть окружности $R \delta \varphi$ (фиг. 472). Напряжения каната T дают нормальную к поверхности шкива составляющую, равную

$$P = T \cdot 2 \cdot \sin \frac{\delta \cdot \varphi}{2}.$$

Распределяя силу P на длину $R \cdot \delta \varphi$, получим:

$$p = \frac{P}{R \cdot \delta \cdot \varphi} = \frac{T \cdot 2 \cdot \sin \frac{\delta \varphi}{2}}{R \cdot \delta \varphi}$$

или в пределе, при бесконечно-малом $\delta \varphi$

$$p = \frac{T}{R}$$

Для расчета спиц, кроме нагрузки p , можно принять во внимание силу t —разность натяжений сбегающего и набегющего концов каната. Эта сила вызывает изгиб спиц. Приближенно рассматривают спицы, как заделанные одним концом (на втулке); сила t считается распределенной поровну между числом спиц, равным $\frac{1}{2}$ или $\frac{1}{4}$ числа всех спиц.

Более точный расчет шкивов делается, рассматривая обод и спицы как статически неопределимую систему с жесткими соединениями элементов между собой, находящуюся под действием сил p —равномерно распределенных по окружности обода и силы t .

¹ Имеется пример расчета Howe, Movable bridges, т. II, стр. 284, изд. 1927 г.

§ 47. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ

112. Работа, которую необходимо затратить на подъем или опускание пролетного строения вертикально-подъемного моста, может быть найдена по величине усилий в рабочих канатах. Для этого достаточно разбить время подъема на ряд отрезков и подсчитать по способу, изложенному в § 43, усилия в рабочих канатах для каждого отрезка времени. Откладывая затем по оси абсцисс высоту подъема от начала подъема (или опускания), а по оси ординат—усилия в рабочих канатах, получим полную картину того режима, который требуется от двигателя.

Площадь полученной фигуры дает полную работу, затраченную на одну операцию.

Для более скорого определения мощности двигателей можно исходить из того усилия в рабочих канатах, которое будет в момент начала равномерного движения. Согласно таблице на стр. 251 это усилие, принимая во внимание, что силы инерции обратятся в 0, а трение в центрирующих отливках C_1 заменится трением в направляющих роликах C_2 , будет равно:

$$X = c_2 + c_q + t + K' + (G)$$

и потребная мощность двигателей

$$N = \frac{X \cdot H}{75 \tau_0 \eta^n},$$

где

H —высота подъема в метрах,

τ_0 —приведенное время подъема (см. стр. 210),

η^n —коэффициент полезного действия лебедки, около 0,75.

Полученная мощность должна быть проверена на наибольшее усилие в рабочих канатах, причем перегрузка

$$\frac{X_{max} - X_{расч}}{X_{расч}} \cdot 100\% \text{ может доходить при электромоторах до } 40\%.$$

Если эта цифра превышена, то необходимо соответственно увеличить мощность двигателей.

По мощности, числу оборотов двигателя, величине усилия в рабочих канатах, диаметру барабана и т. д. подбирается передаточное число лебедки (см. § 38, п. 91).

§ 48. ЕДИНИЧНЫЕ ЦЕНЫ НА МАШИННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, КАНАТЫ И ПР.

113. Для ориентировочного суждения о стоимости вертикально-подъемных мостов ниже приводятся данные из американской практики.

Единичные цены на тонну в са, включая стоимость сборки

Наименование моста, пролет подъема, части и высота подъема	Год, к котор. относятся цены	Металл в прол. строен.		Металл в башн. и в бетон. противов.		Машинное оборудов.		Канаты		Источник
		В долл.	В относ. цифр.	В долл.	В относ. цифр.	В долл.	В относ. цифр.	В долл.	В относ. цифр.	
		Мост Interstate через р. Колумбию $l=82,9$ м $h=41,45$ м . . .	—	67	100	95	142	243	370	
Мост через Миссури в гор. Канзасе $l=12,98$ м $h=13,7$ м . . .	1912	85,65	100	—	—	179,7	210	308,6	360	Там же стр. 602.
Мост через р. Willamette в Портланде двухрусый $l=64,3$ м $h=27,13$ м . . .	1912	79,59	100	97,40	122	228	287	343,9	431	Там же, стр. 625.
Справочные цены, указанные Waddell'om	1921	176	100	220	125	882	500	—	—	Economics of bridgeworks 1921, стр. 301.

Примечание. — указывает, что приведенная в таблице цена относится к суммарной стоимости машинного оборудования и канатов.

ПРЕДПОСЫЛКИ ВЫБОРА СИСТЕМЫ РАЗВОДНОГО МОСТА

Правильный выбор в соответствии с местными условиями системы разводного моста представляет собой довольно трудную задачу как вследствие большого количества известных и вновь предлагаемых систем, так и вследствие того, что разводной мост является не только мостом, в тесном смысле слова, но и механизмом. Нельзя поэтому ограничиться рассмотрением исключительно строительной стоимости моста с обычными амортизационными и ремонтными расходами, но приходится уделять большое внимание и условиям эксплуатации моста, как механизма, учитывая стоимость этой эксплуатации, надежности механического оборудования, степень его изнашивания—и заботясь о максимальном соблюдении интересов судоходства.

В различных местах этой книги уже была дана характеристика изучаемым системам разводных мостов и показаны их положительные и отрицательные свойства. В настоящей, заключительной, главе мы ограничимся лишь кратким подытоживанием сказанного ранее. Наиболее правильный путь выбора системы моста—составление вариантов и их технико-эксплуатационно-экономический анализ. Поэтому на изложенные ниже указания по выбору системы следует смотреть как на общие, ориентировочные предпосылки проектирования, а не как на догматические установления, делающие иные решения невозможными или освобождающие от необходимости их продумывания.

Первый вопрос, встающий перед проектировщиком,—на какой категории разводных мостов остановиться: на мосту поворотном, раскрывающемся, вертикально-подъемном, откатном и т. д.

Из всех известных категорий в настоящее время целесообразны лишь три: поворотные, раскрывающиеся и вертикально-подъемные мосты. Из них поворотные мосты, весьма распространенные в XIX в., в современной практике вытесняются раскрывающимися и подъемными.

Основные недостатки поворотных мостов:

а) затруднения, создаваемые судоходству в связи с медленностью операций по пропуску судов через разводный пролет и в связи с возможностью аварий, б) наличие толстого быка, в) затруднительность расположения разводного пролета по середине длины моста, на фарватере, г) осложнения при развитии числа путей.

Перечисленные недостатки сильно сужают сферу применения поворотных мостов. Однако, в известных случаях эта система оказывается целесообразной, а именно тогда, когда по условиям эксплуатации моста он большую часть времени остается в разведенном состоянии и лишь изредка наводится. Это имеет место в шлюзах при устройстве моста для служебного движения кранов, поездов и т. п. (разводная часть через камеру шлюза на Волховской ГЭС, для Свиурской ГЭС).

Затем поворотный мост может оказаться уместным при двухярусном расположении езды (мост через Прегель в Кенигсберге), если подъемный мост по местным условиям будет дорже или неприемлем по архитектурным соображениям, т. к. конструкция двухярусного раскрывающегося моста хотя и возможна, но сложнее.

Таким образом в большинстве случаев сравнению подлежат вертикально-подъемные и раскрывающиеся мосты. Решающим условием для выбора между ними, если отбросить соображения архитектурного порядка, является соотношение между необходимой по требованиям судоходства высотой подъема пролетного строения и величиной пролета.

Весьма существенным в известных случаях (мост под тяжелую нагрузку, под ж. д.) является также обеспечение достаточной жесткости пролетного строения, разное в различных системах. Но это обстоятельство не выдвигается нами на первый план и при сравнении раскрывающихся и подъемных мостов по той причине, что и среди раскрывающихся систем есть такие, которые не уступают по жесткости подъемным (однокрылые мосты).

Какое же влияние оказывает на выбор системы соотношение между необходимой высотой подъема и величиной пролета? Для раскрывающихся мостов высота подмостового габарита в открытом состоянии не влияет ни на стоимость сооружения моста, ни на мощность двигателей, ни на расход энергии при разводке. В подъемных мостах от высоты подъема зависит стоимость башен и канатов, мощность двигателей (предполагая время подъема одним и тем же) и расход энергии (при полном подъеме). Наоборот, увеличение пролета сильнее отражается на росте стоимости раскрывающихся

систем, чем подъемных. В особенности сильно растет сопротивление движению от ветра, а следовательно и мощность двигателей и расход энергии. Если же имеем дело с однокрылым мостом с ездой поверху и хвостовой частью прячущейся в колодец, то при увеличении пролета сильно растет и стоимость быка.

По американским данным считается, что подъемный мост выгоднее раскрывающегося до тех пор, пока высота подъема меньше пролета.

Разумеется это очень ориентировочное правило, т. к. условия проектирования весьма разнообразны. Так, например, на стоимость эксплуатации подъемного моста влияет не только наибольшая предусмотренная высота подъема, но и соотношение между количеством пропускаемых через мост судов разной высоты. Для пропуска относительно невысоких судов можно ограничиться не полным подъемом, сокращая тем самым расход энергии, между тем как в раскрывающихся мостах обычно требуется полное раскрытие независимо от высоты пропускаемого судна. Итенсивность судоходства, влияя на соотношение строительной и эксплуатационной стоимости, может отразиться и на выборе си темы моста. Стоимость строительной стали, канатов, механического оборудования, устройства опор моста, величина процента социалистического накопления—все эти и т. п. обстоятельства не могут не влиять на окончательный результат экономического сравнения.

Поэтому еще раз приходится подчеркнуть необходимость сравнения вариантов и индивидуального подхода в каждом отдельном случае.

Переходя к выбору наиболее соответствующей условиям проектирования системы разводного пролета в пределах раскрывающихся мостов, прежде всего заметим, что из всех возможных систем предпочтение должно быть отдано наиболее простой по конструкции и по механизмам. Однако стремление к упрощению не должно находиться в противоречии с общими условиями проектирования данного моста и со стоимостью моста в целом, а не только его механизмов.

При езде поверху наиболее простой системой является система с неподвижной осью вращения и жестким прикреплением противовесов, которая и должна быть испытана в первую очередь.

Необходимость уменьшить ширину быка разводного пролета по экономическим соображениям или по условиям стеснения живого сечения реки, а также экономика полной или частичной замены чугунных противовесов бетонными, может заставить обратиться к си теме с шарнирным прикреплением противовесов (Штрауса), причем при небольшой ширине полотна особенно удачной может оказаться система с расположением противовеса над полотном, если, конечно, к использованию этой системы нет препятствий с архитектурной стороны.

Си тема Шерцера, как было указано выше, имеет преимущество в том, что пролетное строение при разводке полностью уходит из пределов судоходного пролета, а это позволяет несколько уменьшить пролет в свету. Но в конструктивном отношении система Шерцера уступает системам с неподвижной осью вращения.

Си тема Ралля имеет довольно серьезный конструктивный недостаток: вследствие неизбежных зазоров между ребрами, катков и путем катания положение пролетного строения не является строго закрепленным в поперечном направлении (см. об этом стр. 189). Как известно, система эта не получила широкого распространения.

При езде понизу наиболее употребительными являются система Штрауса, коромысловая система Штрауса и система Шерцера. Из них наиболее солидной и надежной является коромысловая система Штрауса, но она требует двух опор, близко расположенных, и имеет тяжелый внешний вид. Поэтому эта система особенно уместна тогда, когда эстетические соображения отодвигаются на второй план и когда требуется перекрыть всего один судоходный пролет или же, таковой находится у берега. То же самое относится и к системе Шерцера.

Обычно раскрывающиеся мосты с ездой понизу устраиваются однокрылыми и лишь в редких случаях двукрылыми.

Выбор между однокрылым и двукрылым мостом при езде поверху делается в зависимости от назначения моста, величины пролета, архитектурной обработки. Ряд соображений по этому вопросу приведен в главе III. Заметим дополнительно, что для мостов под железную дорогу двукрылый мост может быть допущен лишь как исключение под давлением главным образом архитектурных требований. Предпочтительнее, разумеется, по условиям жесткости однокрылое решение.

Из различных систем вертикально-подъемных мостов преимущественное распространение получила система с гибкой связью между пролетным строением и противо-

весами, известная также под именем системы Вадделла, как наиболее простая и применимая при любой высоте подъема.

Наконец, из поворотных мостов—систему с центральным барабаном можно смело считать устарелой и при необходимости устроить поворотный мост следует обращаться к системам с центральной пятой. Тяжелые, крупные поворотные мосты целесообразнее проектировать с опиранием целиком на пяту, рассматривая поддерживающие колеса или тележки лишь как предохранительное от опрокидывания средство. Наоборот для легких, небольших поворотных мостов предпочтительнее система Шведлера.

Таковы общие соображения по сравнению наиболее употребительных в настоящее время систем разводных мостов. Дальнейшее углубление этого вопроса предоставляется читателю на основе изложенного в предыдущих главах материала.

НТБ
ДНУЖТ

ПРИЛОЖЕНИЕ II

Таблицы основных данных по разводным мостам

Раскрывающиеся мосты с жестко-прикрепленным

№№ по порядку	Местоположение и наименование моста	Год постройки	Назначение	Система и расположение езды	Ширина моста	Судоводное отверстие: l_0 Пролет в свету l_1	Расчетный пролет l	Длина хвостовой части a
					Расстояние между осями ферм			
1	САСШ, мост через канал Delaware Raritan между Freuton и Princeton № 3 .	1932	об. д.	однокр. п/н.	$\frac{-}{13,8}$	-	30,04	-
2	САСШ, Boosevelt Av. Bridge, Нью-Йорк .	1927	В.—ж. д. Н.—гор.	двукрыл. двухярусн.	$\frac{13+2 \times 2,75}{14,40}$	$\frac{21,4}{49,5}$	$2 \times 32,3$	14,2
3	САСШ, Чикаго Boosevelt Road (12 street) .	1928	город.	двукрыл.	$\frac{17,1+2 \times 5,2}{18,3}$	52	$2 \times 31,1$	8,15
4	САСШ, мост через канал Lake Washington в Seattle на Montlake Avenue .	1925	город.	двукрыл. п/в.	12,19	45,72	$2 \times 27,74$	-
5	САСШ, Чикаго Michig. Av. .	1912	В.—ж. д. Н.—гор.	двукрыл. двухярусн.	18,5/27	64	2×39	15,5
6	САСШ, Бостон .	1912	об. д.	однокрыл. п/в.	6	10	11	3
7	Германия, Itzehoe .	1912	ж. д.		-	22	27	8
8	СССР, Ленинград. Охтенский мост .	1912	город.	двукрыл. п/в.	23,5	42	$2 \times 24,16$	8,00
9	САСШ, Филадельфия .	1911		»	14	67	2×36	10,6
10	Бельгия, Брюссель .	1911		»	9,5	18	2×10	5,38
11	САСШ, Мичиган Сити .	1908		однокрыл. п/в.	10	28,5	30	6,7
12	Англия, Портемут .	1907		двукрыл. п/в.	7	21	$2 \times 14,5$	3,9
13	Германия, Дуисбург .	1907		однокрыл. п/н.	14	23	24	11,3
14	САСШ, Чикаго Erie-Street .	1909		двукрыл. п/н.	18	47	2×29	8,5
15	Германия, Дуисбург, Swa-nethor	1905		»	6	16	$2 \times 9,2$	4,5
16	Германия, Ренденбург .	1899		двукрыл. п/в.	7,5	12	$2 \times 7,7$	2,6
17	Германия, Кенигсберг Schmidebrücke . .	1896		»	-	22,5	$2 \times 12,59$	4,35
18	Англия, Лондон, Тоуэр-ский мост	1894		»	14,7	61	$2 \times 34,6$	15
19	САСШ, Чикаго на Lake Str	1915		двукрыл. двухярусн.	-	$\frac{59,44}{63,78}$	$2 \times 37,34$	11,89

противовесом и неподвижной осью вращения

$\frac{l}{l_0}$	$\frac{a}{l}$	Общий вес движ. масс Q	Вес противовесов Q_1	$\frac{Q_1}{Q}$	Тип и мощность двигателя	Время открытия	Источник	Примечание
—	—	—	—	—	газол. дв. 85 л. с.	—	Eng. N. R. vol. 103, 1932 г. стр. 79	Мост крмой $\alpha=66^\circ$
$\frac{—}{1,3}$	0,44	—	—	—	—	—	Eng. N. R. 1927 г.	Мост крмой $\alpha=42^\circ$
1,2	0,26	4020	2440	0,61	Эл. 2×75	—	Eng. N. R. 1928, vol. 101, № 15	
1,2	—	—	—	—	—	—	Eng. N. R. 1925, № 21	
1,22	0,40	—	—	—	—	—	—	
1,10	0,27	53	39	0,74	—	—	—	
1,23	0,30	—	—	—	—	—	—	
1,15	0,33	1095	550	0,5	116	60"	Исполн.-проект.	
1,03	0,30	654	354	0,54	—	—	Eng. R. 1908	
1,11	0,54	120	67	0,56	—	—	Genie Civil 1912	
1,05	0,22	320	149	0,47	37,5	90"	Eng. R. 1908	
1,38	0,26	—	—	—	24	15"	Engineering 1907	
1,05	0,47	382	140	0,37	83	25"	Z. f. B. V. 1907	
1,23	0,32	—	—	—	2×37	—	Hotopp Bew. Br.	
1,15	0,49	80	—	—	2×12	20"	The Engineer 1907	
1,28	0,34	—	—	—	—	—	Dietz Bew. Br.	
1,12	0,34	—	—	—	—	—	Z. f. B. V. 1896	
1,14	0,44	1247	459	0,37	360	75"	Z. V. D. I. 1894	
$\frac{1,26}{1,18}$	0,32	—	—	—	—	—	Eng. News. 1915 v. 74 стр. 876	

№№ по порядку	Наименование моста	Год постройки	Назначение	Система	Судоходное отверстие l_1	Расчетный пролет l_2	Длина крыла L	Длина хвостовой части a
		езда						
1	Через р. Cuyahoga на W. & L. E. R. R. в Clevelande	1904 понизу	ж. д. в один путь	Штрауса с противовесом на верху однокрылый	36,58	45,72	45,72	8,23
2	Через Cooper Creek на New Jersey Schort Line R. R. C.	понизу	ж. д. 2 пути	Штрауса с противовесом на верху однокрылый	19,81	24,38	25,30	3,96
3	Через Cooper Creek Canal в Camden N J	поверху	городск. 11,58 между осями ферм	Тоже	$\frac{19,29}{20,27}$	23,77	23,77	3,05
4	Через Miami & Erie Canal в Lockland на Benson Street	поверху	городск. 12,80 между осями ферм	Тоже	$\frac{12,19}{610}$ (открыв.)	15,39	15,39	2,59
5	На 10 Street в Manitowoc	(проект) поверху	городск. 7,213	Тоже двухкрылый	$\frac{24,39}{28,50}$	31,54	15,77	3,05
6	Мост Knippen в Копенгагене	понизу	городск. понизу	Тоже двухкрылый	28,3	32,3	16,53	4,12
7	Типовой проект небольших мостов на Пенсильванской ж. д.	понизу	ж. д. 2 путн.	Тоже однокрылый	—	10,36	10,36	1,52
8	Мост Lidingo в Стокгольме	19 понизу	обын. дороге 8,26 м.	Тоже однокрылый	20,00 м	28,0	28,00	5,00
9	Через Swan-Creek в Толедо	понизу		Тоже однокрылый	13,40 (косой 600)	19,20	22,10	3,66
10	Через Bodine-Creek в Richmond	1907 поверху	ж. д. 2 путн.	Тоже однокрылый	12,19	13,41	15,32	2,44
11	САСШ, Little Calumet River Illinois Central R. R.	1925 поверху	ж. д. 6 путн.	Противовес ниже полотна однокрылый	20,0	26,0	—	5,20
12	СССР, Ленинград	1917 поверху	городск.	Противовес ниже полотна двухкрылый	58,60	65,6	—	6,40
13	САСШ, Чикаго	понизу	ж. д.	однокрылый	41,45	50	—	8,80

$\frac{l_2}{l_1}$	$\frac{L}{l_2}$	$\frac{a}{L}$	Высота на опоре h_1	Высота на конце крыла h_2	$\frac{h_1}{l_2}$	$\frac{h_2}{l_2}$	Вес противовеса Q_1	Вес движения масс Q_2	$\frac{Q_1}{Q_2}$	Мощность двигателя	Время открывания	Ширина быка B	Источник	Примечание
1,25	1,00	0,180	9,14	9,14	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	—	—	—	2×35 л. с.	—	—	Каталог фирмы Штрауса	
1,23	1,04	0,157	3,53	3,05	$\frac{1}{6,93}$	$\frac{1}{8}$	—	—	—	—	—	—	Тоже	
$\frac{1,30}{1,17}$	1,00	0,129	2,74	2,14	$\frac{1}{8,65}$	$\frac{1}{11,1}$	208	408	0,51	2×50 л. с.	—	6,89		
1,26	1,00	0,169	1,83	1,83	$\frac{1}{8,35}$	$\frac{1}{8,35}$	—	—	—	25 л. с.	—	—		
$\frac{1,35}{1,11}$	1,00	0,194	3,05	1,22	$\frac{1}{5,16}$	$\frac{1}{12,9}$	—	—	—	—	—	5,79		
1,14	1,03	0,249	Сильно мен.	—	—	—	247	393	0,63	54 л. с.	—	5,5		
—	1,00	0,147	1,52	1,52	$\frac{1}{6,8}$	$\frac{1}{6,8}$	—	—	—	—	—	—		
1,40	1,00	0,185	3,80	3,80	$\frac{1}{7,36}$	$\frac{1}{7,36}$	—	—	—	2×30 kw	—	7,0		
1,43	1,15	0,166	2,40	2,00	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{9,6}$	—	—	—	25 л. с.	—	—		
1,10	1,14	0,159	1,83	1,83	$\frac{1}{7,35}$	$\frac{1}{7,35}$	—	—	—	2×11 л. с.	1 $\frac{1}{2}$ мин.	—		
1,13	—	0,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Eng. News R vol 97 1926 № 17	
1,12	—	0,20	—	—	—	—	1060	1760	0,60	—	—	11,14		
1,21	—	0,17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,0	Hotopp Bew. Brücken	

№№ по порядку	Местоположение и наименование моста	Год постройки	Назначение	Система	Ширина моста	Судоход. ответствие l_0
					Расстояние между осями ферм	Пролет в свету l_1
1	Германия, «Nohen Brücke» через Эльбу в Elbing.	1925	об. д.	двукрыл.	$5,5 \times 2 \times 2,25$	$\frac{13,0}{13,5}$
2	Канала, Мост № 4 через Велландский канал	1927			$9,15 + 2 \times 1,52$ 8,68	$\frac{61,0}{62,05}$
3	Голландия, Dortrecht	1914	гор.	однокрыл.	5,0	10
4	СССР, Ленинград	1914		двукрыл.	21,0	42
5	Голландия, Selzraite	1913		однокрыл.	8,7	26,0
6	Ирландия, Дублин	1913			17	8,5
7	Германия, Ольденбург	1911	ж. д.		$\frac{-}{2,0}$	8,0
8	Германия, Штеттин, Baumbrücke.	1910	гор.	двукрыл.	14,6	18,0
9	Германия, Штеттин, Ганзейский мост	1903			16	17,5
10	Чили R. Fille	1911			—	—
11	САСШ, Толедо.	1915			—	60
12	Швеция, Norrköping	1914			10,5	—
13	Швеция, Копенгаген, через гавань между Seeland и Amager, проект под девизом «Den lige Flugt».	1926			$12 + 2 \times (2 + 3)$	40
14	Тоже, проект под девизом «Alfa».	1926				40

Расчетный пролет h	Длина хвостовой части a	$\frac{l}{l_0}$	$\frac{2a}{l}$ (для двукрыл.)	Общий вес движения масс Qm	Вес противовесов Qm	$\frac{Q}{Q}$	Тип и мощность двигателя л. с.	Время открытия	Источники	Примечания
14,50	3,60	1,12	0,25	—	—	—	—	—	Bautechnik 1927 г. H 43	
67,20	—	1,10 1,08	—	2060	—	—	Теоретич. эл. 147 газ. 70	эл. 90" г. 180"	The Engineering Journal 1928 г.	
14,5	3,5	1,45	0,24	103	—	—	эл. 16	30"	Genie Civil 1914 г.	
49,0	5,20	1,17	0,21	—	—	—	эл. 100	60"	Исполн. проект	
30,0	7,0	1,15	0,23	248	—	—	45	50"	G. Civil 1913 г.	
13	5,5	1,50	0,42	200	—	—	2 × 25	50"	G. Civil 1913 г.	
8,5	3,5	1,06	0,42	31	20	0,65	ручн. привод.	60"	Org. f Eisenbau 1909 г.	
20,64	4,2	1,09	0,43	350	185	0,53	2 × 30	35"	Hotopp Bewegl. Brücken	
18,0	3,6	1,04	0,40	340	185	0,54	2 ×	20"	Z. V. D. J. 1905 г.	
12,0	4,0	—	0,57	60	38	0,63	—	—	Каталог ф. Gustavs- burg.	
64	4,9	1,05	0,153	387	—	—	75	60"	P. Am. Soc. C. J. 1915 г.	
18,0	3,0	—	0,33	260	120	0,46	—	—	Gustavsburg.	
43,4	7,8	1,08	0,36	—	—	—	60	—	Bautechn. 1926 г. H. 50	
43	6,5	1,07	0,30	—	—	—	—	—	Bautech. 1926 г.	

№ по порядку	Местоположение и наименование моста	Год постройки	Назначение	Система	Ширина моста l	Судоходное отверстие.	Расчетный пролет l_0
					Расстояние между осями ферм	Пролет в свету l_0	
1	Канада. Мост № 1 через Велландский канал	1928	об. д. 1 п. эл. ж. д.	однокр.	$\frac{—}{11,50}$	$\frac{24,40}{24,40}$	28,60
2	Канада. Мосты №№ 3, 7 и 19 через Велландский канал.	1928	об. д.		$\frac{6,1+1,52}{7,16}$	$\frac{24,40}{24,40}$	27,40
3	Канада. Мост № 6 через Велландский канал.	1928	ж. д. 2 п.		$\frac{—}{9,45}$	$\frac{24,40}{24,70}$	30,5
4	Латвия. Рига, через З. Двину	1914	ж. д.		19	21	29
5	Судан, Хартум	1915	гор. и ж. д.		11,8	30	34
6	Англия, Тову	1912	гор.		9,4	—	25
7	САСШ, Чикаго.	1910	ж. д. 8 п.		26	36	38
8	Египет, Cairo Bulac.	1913	гор.	двукр.	18	66	2×39
9	Германия, Danzig.	1912			12,5	22	2×11,7
10	Аргентина, Буенос-Айрес	1910			15,0	24,4	2×12,7
11	Голландия, Роттердам	1910	ж. д.	однокр.	3,9	26,8	2×14,8
12	САСШ, Чикаго	1910	ж. д. 2 п.		8,5	36	37,5
13	САСШ, Клевеланд	1909	ж. д.		6,10	64	70
14	САСШ, Newton Creek	1905	гор.	двукр.	17,0	47,75	2×26,2
15	Мост через Эмс в Weener	1926	об. д.	однокр.	—	—	28,1
16	Роттердам, Проект „Königinnensbrücke“ под девизом „Dreigelenkbogen“.	1928	гор.	двукр.	$\frac{24,6}{13,2}$	$\frac{—}{50,62}$	2×27,6
17	То же, девиз „Emma“	1928			—	$\frac{—}{50,6}$	2×27,3
18	Англия, Barrow in Furness Vissleuch docks	1908	об. и ж.-д.	однокр.	—	$\frac{—}{30,48}$	33,53

Длина хвостовой части а в м	l l_0	$\frac{2a}{l}$ (для двурыл. l)	Общий вес дви- жущих масс Q_1 т	Вес противовесов Q_2 т	$\frac{Q_1}{Q_2}$	Тип и мощ- ность двигателя л. с.	Время открытия	Источник	Примечания
6,10	$\frac{1,17}{1,00}$	0,223	770	—	—	Теоретич. эл. — 83 газол. — 26 поста- влено эл. — 2 × 70 газол. — 41	Эл. 60° газол. 120°	The Engineering Journal 1928, стр. 73—100	
6,15	$\frac{1,13}{1,00}$	0,224	530	—	—	Теоретич. эл. — 84 газ л. — 26 поста- влено эл. — 2 × 70 газол. — 41	Эл. 60° газол. 120°	Тоже	
8,7	$\frac{1,25}{1,01}$	0,285	2000	—	—	Теоретич. эл. — 196 газол. — 71	Тоже	Тоже	
10	1,37	0,35	—	—	—	Эл. 2 × 45	60°	Стрелечный «Раз- водные мосты»	
8	1,12	0,24	500	—	—	2 × 50	—	The Engineer 1915	
4,9	—	0,20	441	193	0,44	42	120°	The Eng. 1912	
—	1,05	—	4000	—	—	—	90	Eng. R. 1910	
4,5	1,18	0,115	300	—	—	—	—	The Engineer, 1915	
6,3	1,06	0,54	—	—	—	30	—	Hotopp Bewegl. Brücken	
4,03	1,05	0,32	—	—	—	50	—	Eisenbau, 1910	
4	1,05	0,28	—	—	—	—	—	Hotopp Bewegl Brücken	
14,7	1,04	0,40	910	415	0,46	—	—	Eng. N. R. 1910	
15,4	1,09	0,24	—	—	—	2 × 75	—	Eng. N. 1909	
8,5	1,12	0,33	1100	475	0,43	2 × 40	—	Eng. R. 1908	
6,0	—	0,214	420	271	0,65	313 + зап. 16,3	120°	Z. B. Bauverv, 1926, № 48	
9,1	1,09	0,33	—	—	—	—	—	Bauing, 1928, № 5	
3,5	1,08	0,13	—	—	—	—	—	Bauing, 1928, № 3	
6,55	1,10	0,195	—	—	—	—	—	Engineering, 1911 V. 91, стр. 146	

№ по порядку	Местоположение и наименование моста	Год постройки	Назначение	Расположение башен и расстояние между опорными узлами башен (l_0)	Расположение езды	Ширина моста		Пролет в свету l_1 м
						Расстояние между осями ферм		
1	Канада. Мост № 2 через Велландский канал	1928	Об. д.	Башни на опорах пролет башен $l_0 = 13,95$ м	п/н	$\frac{6,10}{7,32}$	62,00	
2	Канада. Мост № 5 через Велландский канал	1928		Башни на опорах $l_0 = 12,20$ м		$\frac{6,10}{7,32}$	61,00	
3	Канада. Мост № 10 через Велландский канал	1928	2 п. ж. д.	Башни на опорах $l_0 = 14,65$ м		$\frac{—}{9,62}$	62,00	
4	Канада. Мост № 11 через Велландский канал	1928	Об. д.	Башни на опорах		$\frac{9,15}{10,50}$	61,00	
5	Канада. Мост № 13 через Велландский канал	1928	Об. д. и 1 п. эл. ж. д.	Башни на опорах $l_0 = 21,35$ м		$\frac{9,15}{10,50}$	66,20	
6	Канада. Мост № 17 через Велландский канал	1928	1 п. ж. д.	Башни на опорах $l_0 = 18,30$ м		$\frac{—}{5,48}$	61,00	
7	Канада. Мост № 21 через Велландский канал	1928	Об. д.	Башни на опорах $l_0 = 12,20$ м		$\frac{9,15}{10,50}$	67,50	
8	Англия. Tees (Newport) Bridge	1932		Башни на опорах		$\frac{11,60}{—}$	—	
9	САСШ. Мост через р. Hackensack у Нью-Джерсей Пенсильванской ж. д.	1930	2 п. ж. д. пассаж.	Башни на соседн. пролети. строениях		$\frac{—}{10,06}$	—	
10	САСШ. Мост через р. Делавер между Борминтоном и Бристолем	1931	Об. д.	то же		—	—	
11	САСШ. Мост через р. Мн.сури у г. Бушвиль	1931				$\frac{—}{6,10}$	122	

Расчетный пролет $l, м$	$\frac{l}{l_1}$	Высота подъема пролетн. строения	Высота башни от верха опоры до центра шкива	Общий вес движущ. масс $Q, т$	Тип и мощность двигателя	Продолжительность движения	Источник	Примечание
63,60	1,03	36,0 *	—	1 200	Теоретич. эл.—200 л. с. газол. 106 л. с.	90''—эл. 180''—газ.	The Engineering Journal 1928 г. стр. 79—100	
63,60	1,04	34,6	51,0	1 200	то же	то же	то же	
65,70	1,05	35,0	55,3	2 245	Теоретич. эл.—293 л. с. газол.—157 л. с. Поставлено эл.—2×119 л. с. газол.—280 л. с.			Нагрузка E 60
63,70	1,04	32,5	—	1 750	Теоретич. эл.—290 л. с. газол.—154 л. с.			
70,60	1,07	33,6 *	53,4	—	Теоретич. эл.—273 л. с. газол.—195 л. с.			Мост косой $\alpha = 21,35$
65,60	1,07	34,4	51,6	1 160	Теоретич. эл.—150 л. с. газол.—85 л. с.			Нагрузка E 60
71,60	1,06	35,2	53,4	1 920	Теоретич. эл.—312 л. с. газол.—164 л. с.			Нагрузка 488 кг/м ² или грузовики 20 т с дивам. коэф. 1,3
82,30	—	—	51,8	—	то же		Eng. N R 1932 г. vol. 109, стр. 293	
98,5	—	30,0 *	—	—	Эл.—2×260 л. с. азол.—165 л. с.	100''—эл. 150''—газ.	Railway Age 1931 г. vol. 91, № 5	Силициевая сталь, нагрузка E 75
162,5	—	22,5	—	2 480	Эл. 2×80 л. с.	120''	Eng. N R 1931 г. vol. 106, N 20	Вспомог. газолит. двигатель разводки в 7 мин.
125,0	1,03	9,5 *	—	≈ 2 000	На каждой башне эл.—2×80 л. с.	70''	Eng. N R 1931 г. №№ 12 и 21	

* Приблизительные данные

№ по порядку	Местоположение и наименование моста	Год постройки	Назначение	Расположение башен и расстояния между опорными узлами башен (l_0)	Расположение езды	Ширина моста		Пролет в свету l_1 м
						Расстояние между осями ферм		
12	CACIII. White River Bridge, Rock Island Lines	1927	Ж. д. 1 п.	Башни на соседн. пролетн. строениях	п/я	— 5,65	53,40	
13	CACIII. Мост через р. Hackensack Jersey City	1928	Ж. д. 3 п.	то же	п/я	— 13,75	45,60 (косой м.)	
14	CACIII. Мост через р. Kennebec, Main Central R. R.	1928	Ниж.-ж.д. В - об. д.		2 яруса	6,10+2×1,53 5,65	—	
15	CACIII. Duluth, Minn.	1928	Об. д. трамв.	Башни на опорах	п/я	7,30+2×1,5 —	—	
16	CACIII. Мост через р. Willamete в Portland, Oregon-Washington R.	1912	В.—об. д. Н.—ж. д.	Башни на соседн. пролетн. строениях	2 яруса	—	—	
17	CACIII. Мост через р. Willamete на Southern Pacific Co, Salem, Ore.	1912	Ж. д. 1 п.	то же	п/я	—	—	
18	CACIII. Piscataqua R. Portsmouth	1923	Об. д.			8,55 + 2×1,8	—	
19	CACIII. Мост через залив Newark	1926	2 ж. д.		»	—	—	
20	CACIII. Мост через р. De-Plaines на Rock Island R. R.	1932	Ж. д. 2 п.		»	9,75 + 1,8 10,7	—	

НТБ
ДНУЖТ

Таблица V (продолжение)

Расчетный пролет l м	l/l_1	Высота подъема пролетн. строения	Высота башни от верха опоры до центра шкива	Общий вес движущ. масс Q т	Тип и мощность двигателя	Продолжительность движения	Источник	Примечание
55,58	1,04	16,76	30,48	722	4 × 2 × 25 л. с. т. е. на каждом углу башни один рабочий—эл. мот.; другой запасной	—	Eng. N R 1927 г. vol 99, № 18	Применена синхронизация моторов, расположенных на башнях
60,30	—	29,0	51,2	1 134	то же	75"	Railway Age 1928 г. vol 85, № 19	
71,30	—	37,8	57,0	3 000	Эл. 2 × 150 л. с. газ.—95 л. с.	—	Railway Age 1928 г. vol 84, № 10	Мост на уклоне 0,01 Канаты уравновешены
120,0	—	38,1	—	2 600	Эл. 2 × 200 л. с. газ.—240 л. с.	60"	Eng. N. R. 1928 г. vol 101, № 26	
67 0	—	Нижний 14,20 верхний 28,10 всего 42,30	54,5	4 500 *	2 × 200 † 2 × 200 л. с.	—	Howey „Movable Bridges“ 1926 г.	Подъем только нижнего яруса, или всего пролетного строения
40,0	—	15,50	30,40	350 *	то же	—	то же	
90,5	—	39,4	54,0	1 060 *	Эл. 2 × 100 л. с.	—		
91,13	—	30,43	—	2 270	Эл. 2 × 150 л. с. газол. 200 л. с.	—	Eng. News 1926 г. U. 96	В таблице указано пролетн. строение большего пролета, кроме того имеется пролет 64,24 м
92,05	—	15,24	30,40	2 470	Эл. 2 × 75 + 2 × 75 л. с.	105"	Eng. News 1932 г. v. 109, № 8, стр. 227	Применена синхронизация моторов, расположенных на башнях. Мост косой. Высота башни дана от оси нижнего пояса

Приблизительные данные.

ДАнные о канатах для подъемных мостов по преЙскуранту завода «Красный гвоздильщик»

Конструкция : 6 прядей по (1 проволоке и 1 пеньковая сердцевина (6 × 61 + 1))					Из стальной проволоки с временным сопротивлением разрыву в кг на кв. мм		
№ № каната	Диаметр в мм		Приблизит. вес погонного метра в кг	Допускаемый наименьший диаметр барабана	170	180	190
	каната	проволоки			разрывающ. усилие в кг		
					действительное каната	действительное каната	действительное каната
10306	21,0	0,75	1,44	375	21 500	23 000	24 000
10307	22,5	0,80	1,65	400	24 000	26 000	27 000
10308	25,0	0,90	2,08	450	31 000	33 000	35 000
10309	28,0	1,00	2,59	500	38 000	41 000	43 000
10310	30,5	1,10	2,97	550	46 000	49 000	52 000
10311	33,5	1,20	3,82	650	55 000	57 000	62 000
10312	36,0	1,30	4,24	750	66 000	68 000	73 000
10313	39,0	1,40	5,09	900	74 000	79 000	84 000
10314	42,0	1,50	5,94	1 000	85 000	91 000	97 000
10315	44,5	1,60	6,78	1 300	97 000	104 000	110 000
10316	47,5	1,70	7,63	1 500	109 000	116 000	124 000
10317	50,0	1,80	8,48	1 700	123 000	131 000	139 000
10318	53,0	1,90	9,33	1 900	137 000	146 000	156 000
10319	55,5	2,00	10,18	2 000	151 000	162 000	172 000
10320	58,5	2,10	11,45	2 100	167 000	178 000	—
10321	61,0	2,20	12,30	2 200	184 000	195 000	—
10322	64,0	2,30	13,57	2 300	201 000	215 000	—
10323	67,0	2,40	14,84	2 400	218 000	232 000	—

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Dietz. Bewegliche Brücken.
- Hotopp. Bewegliche Brücken.
- Howeу. Movable Bridges.
- Hool und Kinn. Long span and movable Bridges.
- Waddell. Bridge Engineering.
- Waddell. Economics of Bridgeworks.
- Стрелецкий. Разводные мосты.
- Технический отчет о постройке Охтенского моста.

НТБ
ДНУЖТ

Цена 6 руб. 50 коп.
Переплет 85 коп.

НЕЧИГДИНЕНКО

МИКЛА

ПРИД. ДИОНА



Издатель
Удмуртский фронт
издается в Глазго
Видеообъединения
СГЗ
Единичные заказы
выс. лав. напечатанным
платежом
"Книга-пачка"
Москва, 64

Сканировала Тараненко Т. В.

НТБ
ДНУЖТ