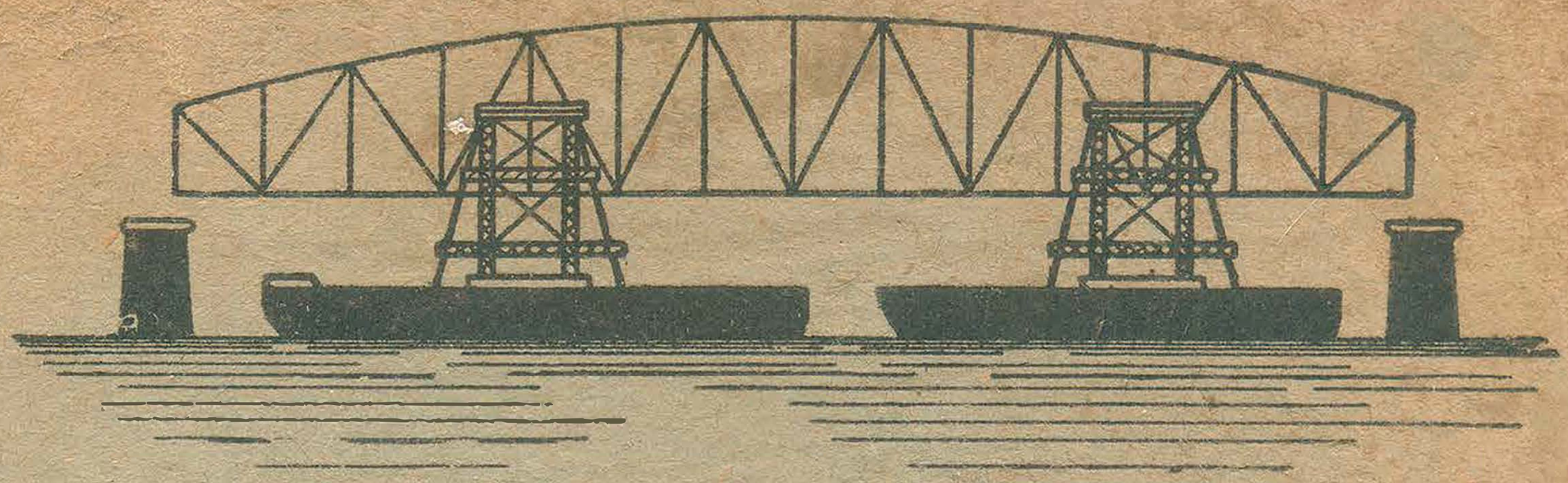


И. П. ПРОКОФЬЕВ

ОБРАБОТКА СБОРКА И УСТАНОВКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МОСТОВ

1931

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Проф. И. П. ПРОКОФЬЕВ

ОБРАБОТКА СБОРКА И УСТАНОВКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МОСТОВ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ (ГИЗА ПЕРВОЕ),
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено Наркомпросом РСФСР в качестве учебного пособия для высших технических учебных заведений

1931

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА ★ ЛЕНИНГРАД

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Отпечатано в типографии Госиздата
„КРАСНЫЙ ПРОЛЕТАРИЙ"
Москва, Краснопролетарская, 16,
в количестве 10 000 экземпл.
Главлит № А — 65729
Н 60 Гиз № 38079
Заказ № 453
24 п. л.

НБ
УДУНТ
(ДІІТ)

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ.

Настоящее издание является результатом переработки первого издания. В нем по возможности учтены современные методы обработки и производства работ и современные экономические условия. Но я не считал целесообразным совершенно отказаться от описания некоторых старых приемов как результата исторического развития методов производства работ, что позволяет читателю делать сопоставления. К сожалению недостаток материалов по отчетам о себестоимости и отсутствие достаточного опыта СССР по ряду приемов не позволили осветить экономическую сторону так, как это хотелось бы.

При переработке и внесении дополнений я пользовался современной союзной и иностранной литературой, а также материалами, любезно предоставленными мне лицами, работавшими и работающими в этих областях, за что приношу им всем свою искреннюю благодарность.

И. Прокофьев.

1929.

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ.

В русской технической литературе вопросу о сборке и установке на место пролетных строений мостов уделено весьма мало внимания. Кроме одной главы с описанием различных видов сборок в руководстве проф. Л. Ф. Николаи «Мосты», составленном по программе экзамена для техников путей сообщения, имеется несколько отдельных статей в периодических технических журналах. Гораздо большее внимание уделено этому вопросу в иностранной литературе. Однако пользование этим материалом представляется возможным только при наличии большой библиотеки, что доступно далеко не всякому и лишь в редких случаях возможно при производстве работ.

Целью настоящего издания было собрать и систематизировать материал, имеющийся в русской и иностранной технической литературе, по вопросу о сборке и установке металлических пролетных строений мостов, осветив этот вопрос как с технической, так по возможности и с экономической стороны. При разработке материала главное внимание было обращено на то, чтобы в сжатой, удобопонятной форме изложить основные принципы каждого из методов сборки и установки, поясняя их конкретными примерами. Для облегчения же читателям, желающим ознакомиться с детальными описаниями применения тех или иных методов сборок и установок, в конце книги помещен указатель литературы, систематизированный согласно основным отделам предлагаемой книги.

Вся книга разделена на две части. Первая часть заключает в себе краткое описание обработки мостового железа в мастерских и знакомит читателей с основными

НБ УДУНТ (ДІІТ)

требованиями, предъявляемыми при этой обработке. Во второй части изложены различные методы производства работ на месте установки пролетных строений; в этой части книги существенное внимание обращено на методы, наиболее распространенные в России, соответственно ее местным условиям, а именно на сборку на подмостях и установку путем надвигания.

При разработке книги предполагалось знакомство читателей со строительной механикой, теорией ферм и строительным искусством. Ввиду этого в изложениях теоретических соображений приводились только основные положения и методы расчетов, причем для частных случаев применения их указывались возможные допущения, с введением которых в значительной степени сокращается процесс теоретических вычислений, результаты же подсчетов с достаточной степенью точности удовлетворяют требованиям практики. Точно так же в описаниях конструкций отмечались только характерные особенности их без указания деталей. Так, например, в описаниях деревянных подмостей не указаны детали врубок, каковые можно найти в книге проф. Е. О. Патона «Деревянные мосты».

Полагая, что я легко мог допустить при издании настоящей книги промахи и ошибки, я прошу читателей отметить их и указать мне. Для меня же будет достаточным удовлетворением, если моя работа даст возможность читателю получить отчетливое представление о сущности предмета.

Кроме указанных в конце книги литературных источников материалом для разработки отдельных вопросов по сборкам и установкам служили указания лиц, занимавшихся и занимающихся производством работ подобного рода, за что я считаю своим приятным долгом принести искреннюю благодарность инженерам Н. И. Голиневичу, Е. К. Кнорре, М. Е. Кнорре, М. Г Кривоносову, П. И. Старженецкому-Лаппа, а также проф. Е. О. Патону за сделанные им указания и В. М. Лемке за помощь, оказанную им при издании настоящей книги.

И. Прокофьев.

Москва, 1910 г.

НБ
УДУНТ
(ДІІТ)

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Стр.

I. ОБРАБОТКА МОСТОВОГО МЕТАЛЛА.

Предисловие ко второму изданию 3
Предисловие к первому изданию . . 4
§ 1. Рабочие чертежи и заказ материалов 7
§ 2. Правка металла . . . 12
§ 3. Шаблонирование и переметка . 13
§ 4. Выгиб и высаживание . 21
§ 5. Образование отверстий 24
Пробивка отверстий (стр. 24), Сверловка отверстий (стр. 30).
§ 6. Обрезка и острожка кромок 33
Резка кромок. Строжка кромок.
§ 7. Изготовление звеньев с проушинами 41
§ 8. Заклепки и болты 44
§ 9. Очистка металла 46
§ 10. Сборка частей 48
§ 11. Рассверловка 55
§ 12. Соединение металла между собой 58
Заклепочные соединения (стр. 58), Болтовые соединения (стр. 65), Сварка. (стр.65).
§ 13. Окраска 68
§ 14. Стоимость выпуска мостов из мастерских 70
Стоимость металла (стр. 70). Стоимость обработки (стр. 71), Добавочные и накладные расходы (стр. 77).
§ 15. Мостовые мастерские и их оборудование 78
Планировка мастерских (стр. 78), Склад материала (стр. 84), Отделение разметки (стр. 87), Отделение обработки (стр. 87), Сборочные площадки (стр. 90), Склад готовых изделий (стр. 94), Крановое оборудование (стр. 94).

II. СБОРКА И УСТАНОВКА МОСТОВ.

§ 16. Виды сборки 97
§ 17. Доставка ферм в склепанном виде . 99
§ 18. Постановка пролетных строений на место 111
Установка вагами и по настилу (стр. 112), Установка при помощи клеток (стр. 113), Установка портальными рамами (стр. 114), Установка качающимися рамами (стр. 116), Установка при помощи полиспастов (стр. 117), Установка при помощи мачт и кранов (стр. 120).

А. Сборка на настиле.

§ 19. Производство сборки 121
Склад и подача материала (стр 122), Сборка пролетного строения (стр. 125), Рассверловка и выклепка (стр. 131), Снятие с клеток (стр. 135).
§ 20. Стоимость работ по сборке 136
§ 21. Сборочные краны 138
Портальные краны (стр. 138), Копровые краны (стр. 140), Журавлевые краны (стр. 142), Объемлющие краны (стр. 146), Расчетные нагрузки в кранах (стр. 151).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Стр.

B. Сборка на подмостях.

§ 22. Общие соображения . 151
§ 23. Простые сборочные подмости . . 152
§ 24. Подмости с большими отверстиями 160
§ 25. Основания для подмостей . . . . .
Лежни. Сваи (стр. 170), Ряжевые основания (стр. 173), Пловучие опоры (стр. 173).
§ 26. Стоимость подмостей 176
§ 27. Данные для расчета подмостей 183

C. Установка пролетных строений путем разного рода надвиганий.

§ 28. Характер работ и виды надвиганий 185
§ 29. Приспособления для передвижек 186
Подмости (стр. 187), Салазки (стр. 189), Катки (стр. 190), Шары (стр. 194), Тележки и ролики (стр. 195), Тяговые устройства (стр. 197).
§ 30. Поперечная надвижка 201
§ 31. Продольная надвижка по подмостям . 211
§ 32. Продольная надвижка с аванбеком . . 216
§ 33. Продольная надвижка через промежуточную опору 230
§ 34. Продольная надвижка при помощи подвижных опор 236
Остойчивость пловучей опоры (стр. 239).
§ 35. Продольная надвижка по канату 249
§ 36. Подвозка и установка пролетных строений пловучими подмостями 255
§ 37. Поворачивание пролетного строения вокруг вертикальной оси 265
§ 38. Приспособление для производства подъемок и опускания . 278
§ 39. Подъемка и опускание пролетных строений на большую высоту 280
§ 40. Установка пролетных строений на опоры 292

D. Сборка без подмостей.

§ 41. Характер навесной сборки 294
§ 42. Краны для сборки по весу 298
Журавлевые краны (стр. 298), Консольные краны (стр. 301), Канатные краны (стр. 308).
§ 43. Подвесные подмостки и платформы . . 312
§ 44. Приспособление ферм для навесной сборки 315
§ 45. Тяговые устройств 323
§ 46. Смычка пролетных строений при навесной сборке 332

E. Особые случаи сборок.

§ 47. Сборка висячих пролетных строений 339
§ 48. Сборка металлических опор 357
§ 49. Замена существующих пролетных строений новыми 363
Приложение . . . 377
Предметный указатель 381

НБ УДУНТ (ДІІТ)

I. ОБРАБОТКА МОСТОВОГО МЕТАЛЛА.

§ 1. Рабочие чертежи и заказ материалов. Чертежи и спецификация веса металлических мостов и стропил в том виде, как они поступают на завод для заготовки и обработки металла, требуют тщательного пересмотра, а иногда и пересоставления. Если даже составителем проекта в размерах, показанных на чертежах, учтено придание фермам строительного подъема, то все-таки в них не учитывается изменение размеров металла от обработки, высадок, выгибов и прочего. В несложных конструкциях рабочие чертежи часто не изготовляются, а соответствующие изменения размеров вводятся непосредственно в спецификации и учитываются при составлении шаблонов.

Предварительное изучение конструкции необходимо также в целях выявления сложных соединений в частях, обработка которых представляется крайне затруднительной, что конечно должно быть сделано до приступа к самой работе.

При изготовлении рабочих чертежей схема ферм изменяется соответственно необходимому строительному подъему, определяемому с таким расчетом, чтобы схема ферм при невыгоднейшем загружении пролетного строения соответствовала расчетной и чтобы полотно проезжей части не имело просадки. Величина строительного подъема, который необходимо придать пролетному строению при его установке на место, включает в себя величину ожидаемого прогиба его от действия собственного веса и действия временной нагрузки при невыгоднейшем загружении его. После того как в порядке расчета подобраны площади поперечных сечений и остается приступить к вычерчиванию ферм, величина строительного подъема может быть определена по формуле:

$$f=\sum\frac{N\bar{N}}{E\omega}S \tag{1}$$

где N — усилия в элементах фермы при загружении, вызывающем наибольшую величину прогиба, $\bar{N}$ — усилия от силы $=1$, приложенной в узле, в котором определяется прогиб, ω и S — соответственно площади поперечных сечений и длины элементов. Можно отметить, что обычно в фермах влияние деформаций решотки на величину прогиба невелико по сравнению с влиянием поясных элементов; поэтому их влиянием можно пренебрегать. Влияние решотки возрастает с увеличением отношения высоты фермы к пролету.

При установке на опоры пролетное строение не только прогибается от действия собственного веса, но и получает просадку от деформаций в заклепочных соединениях. Величину этой просадки следовало бы учитывать при выборе величины строительного подъема, но так как не учитываемая в расчетах жесткость угловых соединений в действительности служит к уменьшению прогибов, то этим покрывается просадка от деформации в заклепках, которую поэтому можно не включать в величину строительного подъема.

Опыт показал, что в двух опорных балочных фермах можно ограничиться приданием фермам строительного подъема в 0,001 пролета без проведения расчета по

НБ
УДУНТ
(ДІІТ)

формуле (1). В мостах со сплошной стенкой пролетом < 20 *м* строительный подъем обычно не делается, так как прогибы их незначительны.

Определенная расчетом высота строительного подъема ферм относится к середине фермы, откуда она постепенно падает к опорам, доходя у последних до нуля. Изменение высоты подъема ферм вдоль пролета принято делать по параболе, соответственно форме упругого прогиба балок от сплошной равномерной нагрузки; некоторые заводы очерчивают подъем по дуге круга. Ординатами этих кривых определяется положение центров узлов фермы при подъеме.

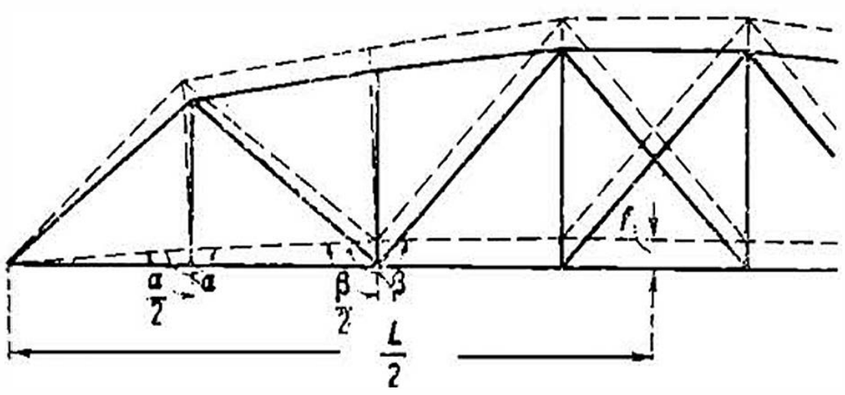


Рис. 1.

В балочных фермах очертание кривой подъема придается поясу, по которому расположена проезжая часть, каковой пояс обычно представляет горизонтальную прямую. Изменение очертания другого пояса ферм делается в зависимости от условия сохранения проектной высоты ферм. В фермах с обоими криволинейными поясами, в которых проезжая часть укрепляется помощью подвесок, определение очертания поясов ферм должно быть сделано с учетом упругой деформации подвесок.

Придание фермам подъема вызывает перекашивание основных треугольников фермы, влекущее за собой изменение длины в элементах поясов и раскосов фермы, тем большее, чем ближе они лежат к опорам, где величина этих изменений в длине доходит до нескольких сантиметров [1]). Без изменения длины можно оставлять только стойки ферм; но оси их направляются по равноделящей угол между смежными панелями пояса, чем обеспечивается вертикальность положения стоек в момент наибольшего прогиба ферм (рис. 1).

При тщательной обработке рабочих чертежей в них вводится условное обозначение заклепочных отверстий по их диаметрам, с указанием, какие из них должны быть заклепаны в заводе, какие на месте установки. Такое обозначение заклепочных отверстий, делаемое примерно по схеме рис. 2, облегчает проверку производимой работы и не затемняет чертежа излишним количеством цифр [2]).

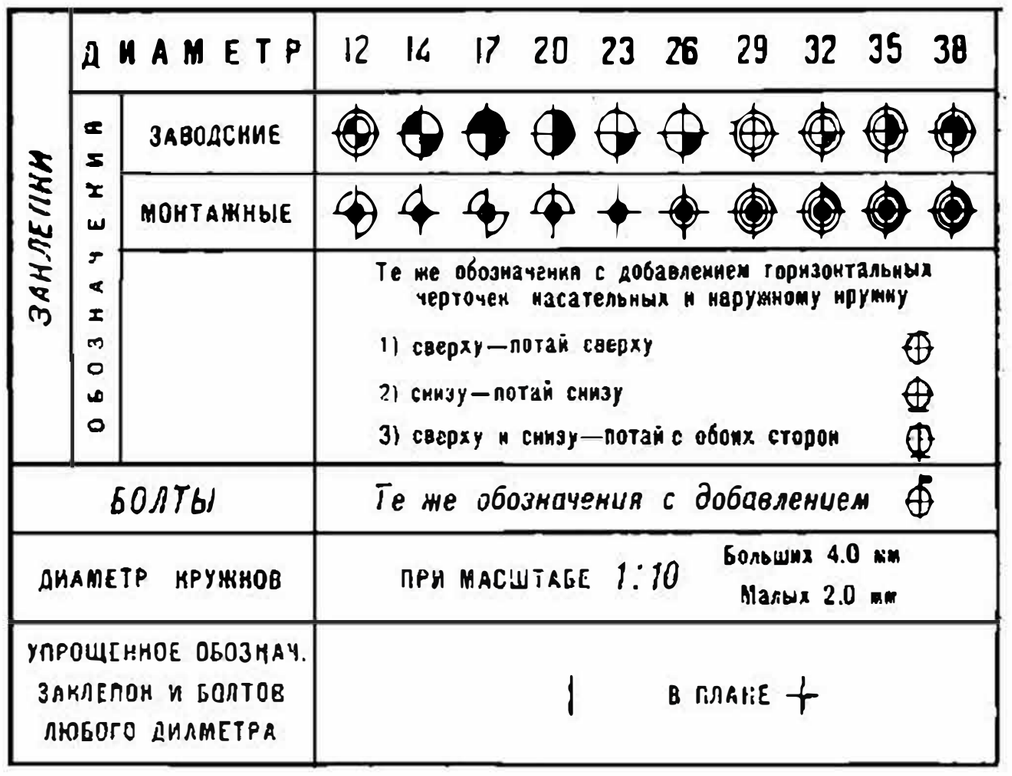


Рис. 2.

По исправленной схеме фермы пересоставляется эпюра распределения стыков материала в поясах и решотке фермы с соответственным изменением длины его; одновременно с этим и самый материал, входящий в состав сечения элементов, намечается, или, вернее, обозначается специальными марками по своему положению в элементах. Схема обозначения марками должна соответствовать последовательному положению материала и быть настолько простой и ясной, чтобы мало-мальски грамотный рабочий мог по ней производить работу. Для большей наглядности здесь приведена схема разметки, применяемая на большинстве заводов СССР (рис. 3).

---

[1]) Неучет изменения длины в средних панелях ферм по незначительности их приводит к тому, что после опускания собранных пролетных строений на опоры кривая подъема в них имеет провисание в средней части или изломы.

[2]) ТУ проектирования металлических пролетных строений НКПС. Одобрены 18/V 1929 г

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Основой этой схемы служат начальные буквы, показывающие положение элемента, к которому относится намечаемый материал на схеме фермы, а именно: для верхнего пояса — В, нижнего пояса — Н, стоек — С, раскосов — Р, а также цифры соответственно положению этих элементов относительно узлов фермы. Обозначение частей, примыкающих к двум узлам фермы, делается двумя марками по разным концам их:

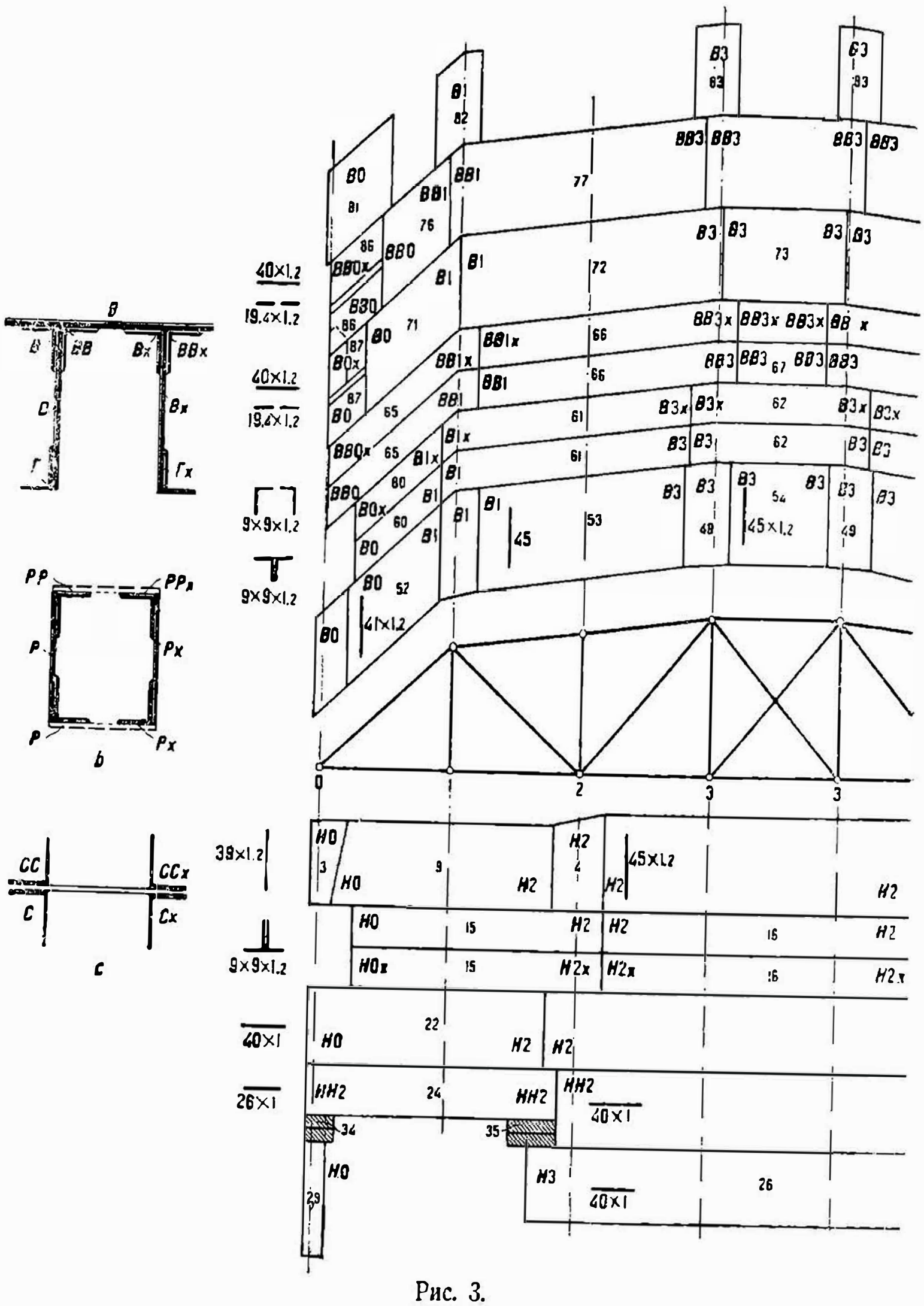


Рис. 3.

для поясов Н3 — Н4; В2 — В3;
для раскосов Р2в — Р3н;
для стоек С1в — С1н.

Присоединение в обозначении раскосов и стоек букв «в» и «н» указывает, что цифра соответствует верхнему или нижнему узлу фермы.

В фермах с двустенчатыми поясами все элементы ферм состоят из внутренних и наружных частей; разница в марках на них устанавливается введением дополнительных обозначений. Например, сохраняя прежнюю марку для наружных частей,

НБ УДУНТ (ДІІТ)

внутренние части обозначают крестом. Применение этих обозначений ясно видно из рис. 3: для поясов на черт. *a*, для стоек на черт. *b*, для раскосов на черт. *c*.

Фасонные планки и стыковые накладки обозначаются одной маркой, соответственно своему положению в узле; так например фасонная планка с маркой Н2х должна быть помещена в нижнем поясе во втором узле с внутренней стороны фермы относительно оси моста; накладка с маркой Р5в показывает, что она должна быть помещена на пятом раскосе в верхнем узле с наружной стороны фермы.

Если левая и правая фермы моста вполне симметричны, то при разметке материала и его предварительной обработке в мастерской, т. е. обрезке, строжке и пробивке дыр, совершенно безразлично, на какую ферму он пойдет, почему нет надобности вводить лишнее обозначение. Если же фермы не симметричны или есть надобность разделения материалов, идущих на ту или другую ферму моста, то к указанным ранее обозначениям добавляют в виде знаменателя дроби буквы Л и П.

Тогда марка $\frac{\text{С4вх} - \text{С4нх}}{\text{Л}}$ будет показывать, что уголок или лист принадлежит стойке № 4 левой фермы и помещается с внутренней стороны относительно оси моста. Горизонтальные и поперечные связи намечаются подобным же образом, при помощи специальных букв Д, П и т. д. и цифровой номенклатуры соответственно узлам фермы. Все эти обозначения отдельных частей наносятся на схему фермы, как это указано на рис. 3, который и служит рабочим чертежом для первоначальной пригонки элементов между собой.

Параллельно с составлением эпюры распределения материала составляется спецификация его для заказа, или, как его называют, «штучный лист». Пример подобного рода штучного листа приведен ниже.

Штучный лист для пролетного строения 60 м моста на р. Неве.

№№ по пор.	Наименование части (марка)	Колич.	Размеры в *мм*			Вес в килограммах			Примечания
			Ширина	Толщина	Длина	Пог. *м*	Штуки	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Раскос № 2.								
1023	Лист Р2н—Р3в .	8	270	10	4250	21,06	89,29	714,32	
1024	Р2н × —Р3в × .	8	270	10	4250	21,06	89,29	714,32	
1025	Р2н—Р3в . .	16	130×85	12	4520	19,24	86,96	1391,36	Выгибается
1026	Р2н × —Р3в × .	16	130×85	12	4510	19,24	86,77	1388,32	

В первой графе штучного листа помещается порядковый номер заказа. Для того чтобы одни и те же номера не повторялись для материала различных мостовых ферм, они продолжаются без перерыва в течение известного периода времени, например года, так что металл для мостов будет иметь номера в порядке их заказа; например для ферм 60 *м* моста от 1—650 номера, для 30 *м* моста от 650—1 124 номера и т. д.

В четвертой и пятой рубриках даются основные размеры заказываемой части. В шестой графе вписываются длины отдельных частей материала, которые могут отличаться от проектных и показываются согласно требованиям обработки, с учетом

НБ УДУНТ (ДІІТ)

необходимого удлинения материала на обрезку кромок, образование высадок, выгибов и пр. Это удлинение размеров делается:

для обрезки и строжки кромок . . . на 5 *мм*
для высадок при толщине части $<$ 10 *мм* . на 5 *мм*
» » » » » $>$ 10 *мм* . на 8 *мм*

Десятая графа служит для внесения указания об особой обработке частей, например высадка, выгиб и пр.

Кроме штучного листа заготовляется также заклепочный лист, т. е. лист, служащий для заказа заклепок, потребных для того или другого моста. На этом же листе обозначается заказ на болты, шурупы и прочие подобные части для того же моста. Примером подобного заклепочного листа может служить следующая схема:

Заклепочный лист для пролетного строения моста.

№№ по порядку	Наименование склепываемой части	Длина заклеп. *мм*		Количест. по диаметрам				Общая длина				Вес пог. *м* в килогр.	Общий вес в килограммах			
		по склепке	по стержню	19 *мм*	22 *мм*	25 *мм*	28 *мм*	19 *мм*	22 *мм*	25 *мм*	28 *мм*		19 *мм*	22 *мм*	25 *мм*	28 *мм*
	Раскос № 2															
181	а) стык. план.	32	95	—	—	24	—	—	—	2,280	—	3,853	—	—	8,746	—
	б) по длине															
182	раск.	22	70	72	—	—	—	5,040	—	—	—	2,226	11,219	—	—	—
183	в) решотка	18	66	31	—	—	—	2,046	—	—	—	2,226	4,554	—	—	—
184		20	76	—	14	—	—	—	1,064	—	—	2,984	—	3,174	—	—

В этом листе показывается часть, которая предназначается к склепке, например 1 верхний пояс: а) горизонтальные листы; б) горизонтальные листы с поясными уголками; в) стыки вертикальных листов и так далее. Для каждой из этих склепываемых частей по чертежу определяется толщина склепки в миллиметрах, каковая и заносится в первую графу рубрики длины; во вторую графу вносится уже длина стержня заклепки, с добавлением его на образование головок заклепки и на посадку заклепки в дыру при клепке. Прибавка на длину стержня для образования головки заклепки делается в зависимости от диаметра заклепки d и принимается равной 1,2 d. Прибавка стержня на посадку делается в зависимости от толщины склепки примерно на 0,1 ее.

В остальных рубриках заклепочного листа помещаются требуемые данные, распределяемые по рубрикам соответственно числу применяемых к мосту диаметров заклепок и болтов, что облегчает общий итог. Диаметр заклепочного железа берется несколько меньше диаметра заклепочных отверстий, показанных на чертежах; это уменьшение диаметра стержня необходимо для того, чтобы заклепка в нагретом виде проходила в приготовленную дыру. На посадку этого неполного диаметра заклепки рассчитывается длина стержня заклепки при их заказе. Ниже приведено стандартизированное соотношение между диаметрами заклепок и дыр:

Диаметр дыр . .	12	14	17	20	23	26	29 *мм*.
Диаметр заклепок	11,5	13,5	16,5	19	22	25	28 »

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При выдаче заказа на заклепочный металл общее количество каждого сорта его увеличивают на $7-10\%$, что необходимо для покрытия происходящей во время производства работы утери заклепок вследствие пережигания их во время нагрева, неудовлетворительности клепки и прочего.

§ 2. Правка металла. Металл, поступающий из прокатных в мостовые мастерские, хотя и подвергается правке в горячем состоянии после прокатки, однако вследствие неравномерного остывания в больших массах получает ряд различных искривлений в виде пузырей, выгибов и пр., препятствующих плотному прилеганию отдельных листов и уголков между собой.

Искривления в листовом металле исправляются при помощи валковых прессов Эти прессы имеют различное устройство и состоят из 5 или 7 валков, расположенных в два ряда, один над другим. Такой пресс показан на рис. 4. Нижний ряд валков приводится в движение и протаскивает листы, верхние валки вращаются при проволакивании листа и могут быть приподняты или опущены, в зависимости от толщины его. Выправляемый лист несколько раз пропускается взад и вперед между валками и при плотном нажимании верхних валков выправляется по своей ширине. Листы тоньше шести миллиметров для своего выправления пропускаются совместно с толстым листом, помощью которого и выравниваются между валками.

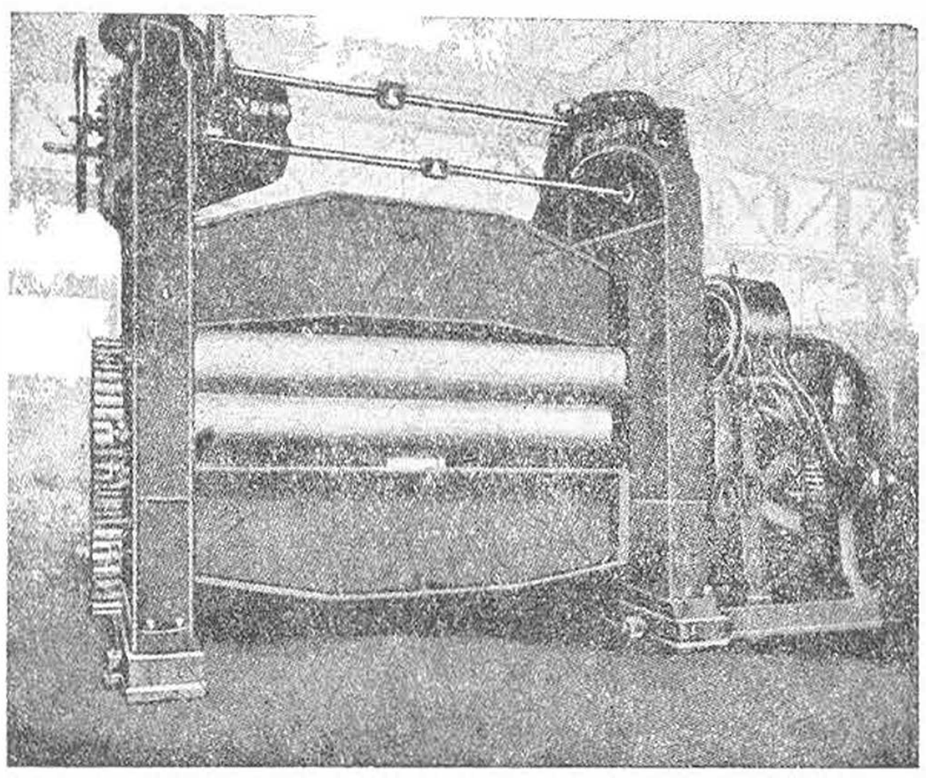


Рис. 4. Валки для правки листового металла.

Более трудную задачу для выправления представляет изгиб полосового железа вдоль кромки, когда вся полоса представляется в виде изогнутой по дуге кривой. Такое искривление полос появляется от неравномерного остывания на складе в прокатных, когда один бок полосы успевает остынуть, а другой остается еще в нагретом состоянии; такое же искривление полос замечается и при исправлении их от пузырей во время прокатки в валках. Если искривление листов не превосходит $2-3$ *мм* на погонный метр, то исправление их может быть сделано помощью нажимных винтовых или гидравлических прессов.

Если же искривление листа в плане превосходит указанный предел, то такие искривления в холодном состоянии выправить нельзя. Их следует или обрезать, или если обрезка невозможна, допускать выправку только в нагретом докрасна состоянии.

Нередко можно встретить, что исправление неглубоких искривлений в кромках достигается отбивкой листов на особых стальных плитах, размерами $1 \times 1^1/_2\ м^2$ или $1^1/_2 \times 2\ м^2$, установленных на прочных фундаментах. Листы укладываются на плиты, поверяются по шнуру, и путем последовательных ударов кувалдами весом $4\ кг$ вогнутые кромки оттягиваются в прямую линию. Следует иметь в виду, что эти удары кувалдами оставляют значительные следы, особенно на мягкой стали (сталь 3), и вызывают местные утонения листов. Кроме того от сильных и частых ударов кувалдами, что необходимо для оттягивания кромок, в металле происходит изменение структуры. Если такая правка неизбежна, то ее следует производить с прокладкой под удары кувалды.

Выправление больших искривлений в фасонных профилях производится при помощи специальных станков. На рис. 5 показан один из прессов такого типа, служащий для выправки и также гнутья фасонных профилей. В таких прессах валки, производящие давления, устанавливаются вертикально, нередко их снабжают вырезами для перепуска полок фасонных профилей.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Для выправления местных выгибов углового и фасонного металлов служат штемпельные машины, которые приводятся в движение помощью винтов, привода или гидравлического давления. Штемпель своей сферической нижней поверх-

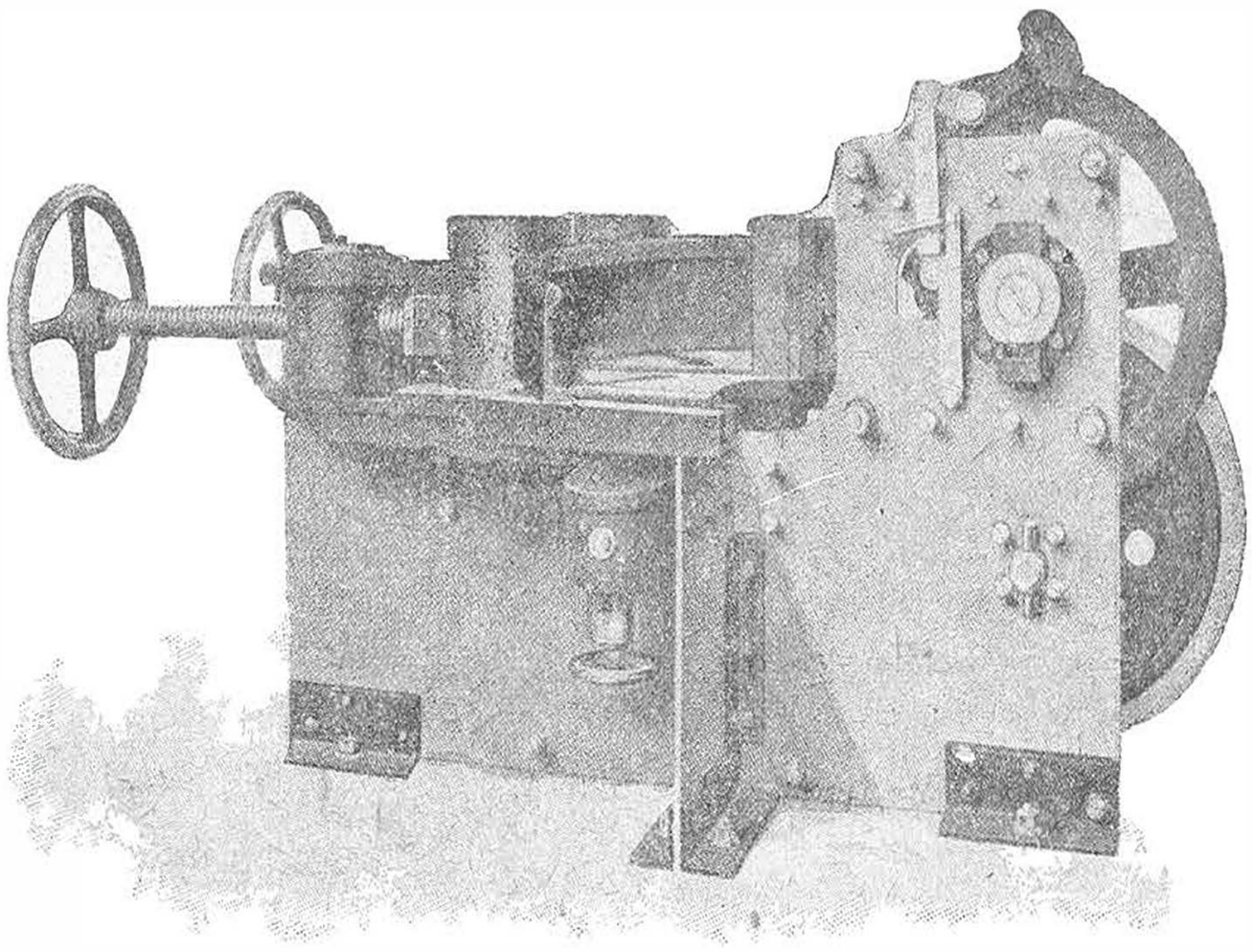


Рис. 5. Станок для правки фасонного металла.

ностью нажимает на металл, уложенный на две подставки (рис. 6). Величина выгиба регулируется клинообразными прокладками *a*. Тот же результат достигается нажимом помощью винтовых прессов.

Винтообразные выгибы полок уголков исправляют помощью специальных щипцов, захватывающих полку уголка (рис. 7) и снабженных длинной рукояткой, помощью которой полка уголка выворачивается, в то время как другая полка уголка прочно укрепляется в зажимах.

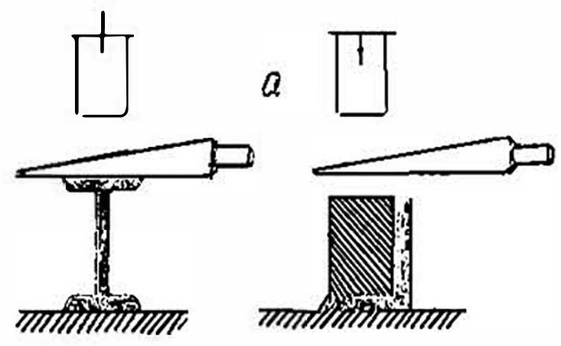


Рис. 6.

Рис. 7.

§ 3. Шаблонирование и переметка. Приемы изготовления шаблонов и переметки материала зависят от способов обработки, принятой на заводе, и от его оборудования.

1. Если обработка всего материала производится на простых дыропробивных прессах с последующей рассверловкой его, то на таких заводах обычно изготовляются шаблоны для всех сортов листов и уголков, входящих в конструкцию, и по этим шаблонам производится переметка всего материала.

2. Если завод обрабатывает материал путем только сверления дыр, то шаблоны, как и в первом случае, изготовляются для всех сортов листов и уголков, но переметка часто заменяется сверлением пачками по шаблонам.

3. При оборудовании заводов многоштемпельными дыропробивными станками шаблоны изготовляются только для узловых планок, для проколки же дыр в полосовом и угловом материале изготовляются деревянные рейки, по которым настраиваются штемпеля в прессе.

Шаблоны изготовляются из металла, дерева и картона.

Металлические шаблоны обычно изготовляются из тех же листов и уголков, из которых изготовляется мост. Такие шаблоны отличаются большим весом, что затрудняет работу с ними. При изготовлении типовых мостов, повторяющихся периодически, имеет смысл изготовление металлических шаблонов из специального тонкого

НБ УДУНТ (ДІІТ)

листового металла толщиной 4—5 *мм*, что значительно облегчает работу с шаблоном, как более легким; затрата же на материал шаблона окупится путем раскладки на целый ряд последовательно изготовляемых мостов.

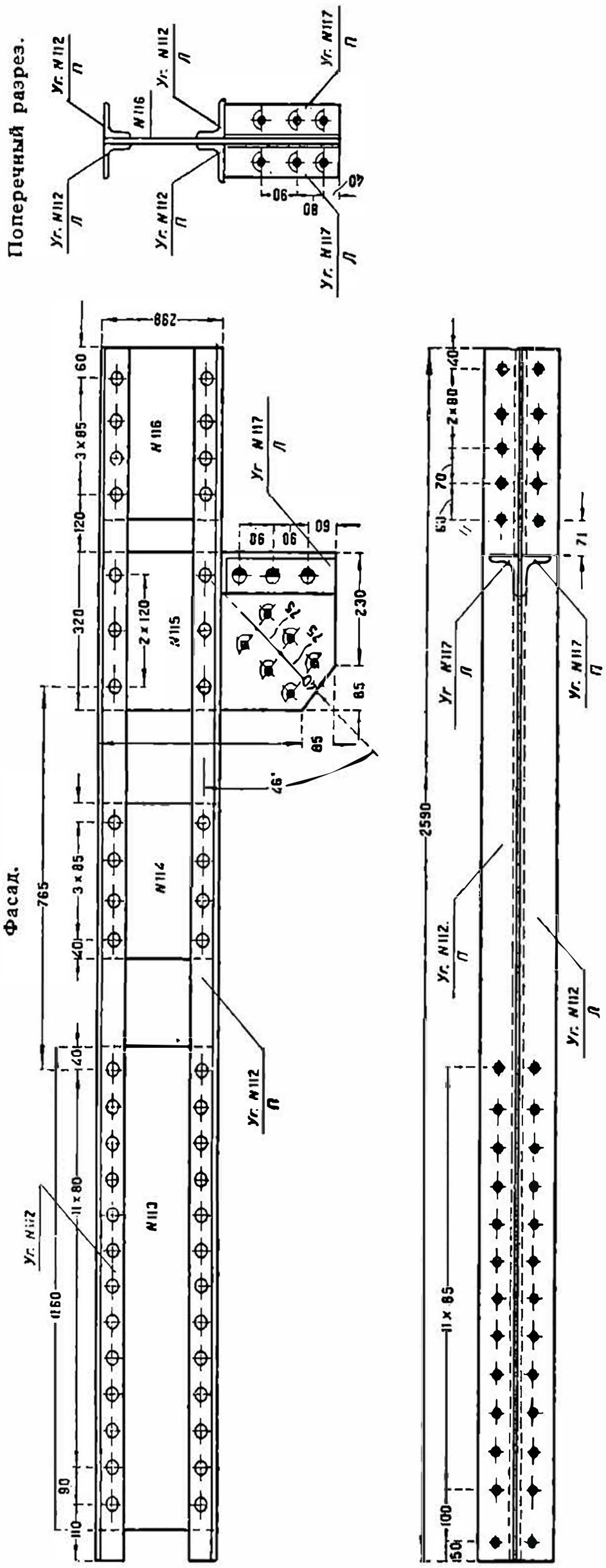


Рис. 8.

В целях облегчения веса шаблонов применяются дерево и картон. Применение дерева в шаблонах надо допускать с большой осторожностью и только после хорошей просушки его.

В настоящее время деревянные шаблоны употребляются исключительно в виде деревянных реек, шириною до 15 *см*, в которых усушка поперек волокна не имеет значения для точности переметки, как это будет показано ниже. Во всяком случае деревянные шаблоны должны храниться в крытых помещениях, сохраняющих равномерную температуру в течение всего года в пределах 10—15°

В Америке для изготовления шаблонов узловых планок широко применяется картон, толщиной $1^1/_2$—3 *мм*, весом 1,7—3,5 *кг* в 1 $м^2$; в нем после разметки пробиваются дыры, и он служит для последующей переметки. На некоторых заводах у нас в СССР применяют для предварительной разметки шаблона пергамент, на котором вычерчивают карандашами в натуральную величину узловые планки, затем, сделав по нему перевод на первый лист металла, далее уже используют этот лист для переметки всего материала. Недостатком бумажных шаблонов являются большая чувствительность их к влажности воздуха и быстрая изнашиваемость.

В настоящее время применяется почти исключительно разметка по расчету, состоящая в том, что все размеры длин и углов между элементами ферм определяются по расчету: первые с точностью до полумиллиметра, вторые — до полуминуты. Вычисленные путем расчета положения центров узлов на узловых планках, длины стержней, расстояния стыков и пр. наносятся на схематических чертежах «кроки», составляемых для каждого элемента фермы, узловых планок ее и так далее, с указанием на этих кроки расположения заклепочных дыр, их диаметров, а также маркировки, веса и числа штук изготовления. На рис. 8 показан тип такого кроки. По этим кроки изготовляются шаблоны, а иногда даже производится непосредственная разметка материала.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Изготовление шаблонов для разметки железа на основании теоретических вычислений отличается безусловной точностью, но имеет своим недостатком сложность теоретических вычислений. При производстве их всегда может вкрасться случайная ошибка, незаметная на-глаз при разметке шаблона, но могущая повлечь за собой большую порчу материала; поэтому применение этого метода разметки требует наличия хорошообученных и внимательных разметчиков.

Иногда метод теоретических вычислений заменяется методом графических построений, производящихся следующим образом:

В масштабе, достаточном для вычерчивания шаблонов узловых планок в натуральную их величину, откладывают отрезок A (рис. 9), на котором строится основное очертание фермы; в точках $(a, b, c, ...)$, расстояния коих от одного из концов отрезка A пропорциональны расстояниям узлов фермы от опорного узла, восставляются перпендикуляры, образующие ряд треугольников, подобных треугольникам схемы фермы. Вокруг полученных узловых точек строят в натуральную величину чертежи всех узлов. При этом шаблон одного узла заходит за шаблон других, но при вычерчивании различными красками они ясно отделяются один от другого. С вычерченных шаблонов снимается ряд копий на восковую бумагу, по которой и производится разметка всего железа.

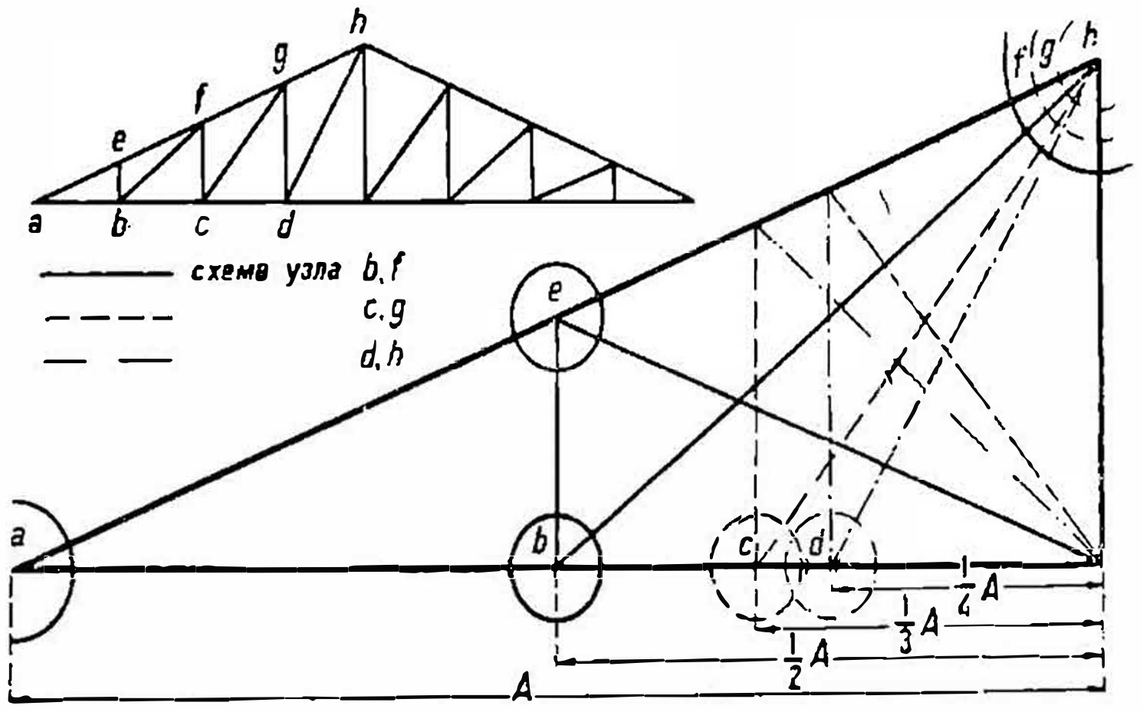


Рис. 9.

Промежуточные стержни системы размечаются на основании рассчитываемой длины их и по месту примыкания их к шаблонам узловых планок.

В конструкциях с небольшими по площади узловыми планками, как например стропильные фермы, этот метод разметки, устраняющий сложные теоретические процессы и дающий возможность легко контролировать правильность шаблонов, сгруппированных в одном месте и отнесенных к одним и тем же основным осям, имеет несомненные преимущества перед расчетным методом разметки. Как на недостаток этого метода, можно указать на способность бумаги видоизменяться от действия влаги, воздуха, но, принимая во внимание то обстоятельство, что основной чертеж шаблонов всегда может храниться в крытом сухом помещении, и что с него всегда может быть снята повторная копия, указанный недостаток надо признать несущественным.

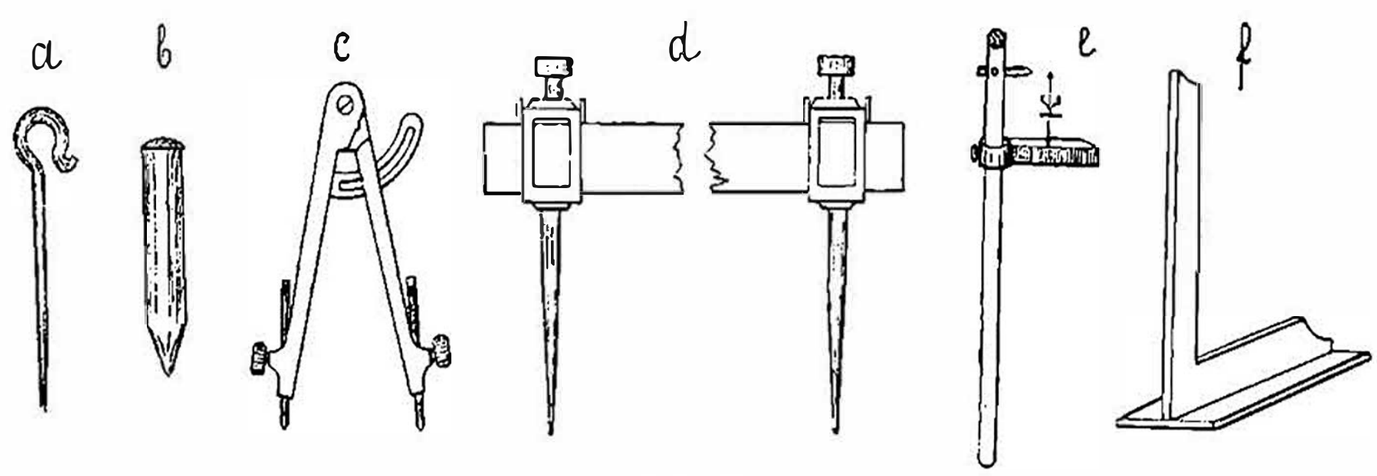


Рис. 10.

Для вычерчивания шаблона дерево и металл покрываются белой краской, составляемой из раствора 1 части столярного клея и 10 частей мела с соответствующим количеством воды. По высыхании закрашенная поверхность принимает весьма удобный для черчения вид. Вычерчивание производится помощью стальных инструментов (рис. 10), a — ризки для вычерчивания линий, b — керна для наметки

НБ УДУНТ (ДІІТ)

точек, *c* — циркули и *d* — штангенциркули для вычерчивания дуг, *e* — рейсмус для нанесения параллельной краю линии, *f* — краевого угольника, стальных линеек и карандашей. Так как от точности построения шаблонов зависит правильность разметки всего моста, то при разметке шаблонов все вычерчивания, как то: проведение параллельных линий, построение прямых углов и пр., производятся исключительно путем точных геометрических построений; точно так же откладывание размеров производится исключительно сверенными между собой стальными рулетками, а самый отсчет деления делается с обоих концов размечаемых частей.

Расстояния осей заклепок *k* в угловых шаблонах или положение их от края листа намечается согласно установленных норм (рис. 11).

b — ширина полки уголка	50	60	65	75	80	90	100	120	130	140	150	160	*мм*
k — расстояние при одном ряде заклепок .	30	35	35	45	45	55	65	70	—	—	—	—	
k_1 — » » шахматном расположении заклепок								55	60	65	70	70	
k_2 — расстояние при шахматном расположении заклепок								85	95	100	110	115	

Отступление от этих размеров делается лишь в том случае, если это оговорено в чертежах.

По окончании разметки шаблона на нем наносятся контрольные круговые керна вокруг заклепочных отверстий, расстояния *k* линий центров заклепочных отверстий от краев уголков и листов; выписываются марки соответственно положению шаблона в ферме (схема рис. 3) и отмечается число штук железа, подлежащего разметке по этому шаблону.

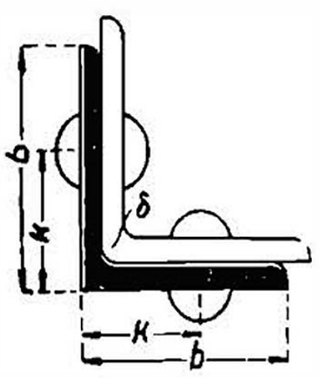


Рис. 11.

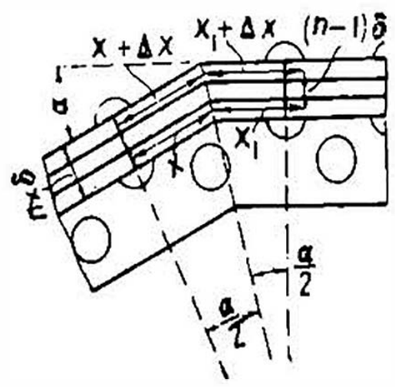
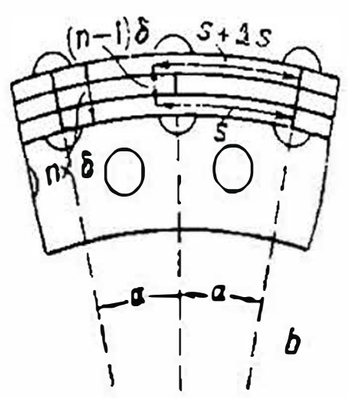


Рис. 12.



При изготовлении шаблонов используется симметричность конструкции как в продольном, так и в поперечном направлениях, что позволяет сократить число изготовляемых шаблонов, пользуясь для переметки симметричных элементов поворотом шаблонов на 180° и слева направо.

Для обработки высадок, выгибов, часто встречающихся в металлических конструкциях, изготовляются специальные шаблоны, деревянные или из толстого кровельного железа, своей формой соответствующие форме выгиба или глубине и ширине высадки.

При разметке шаблонов в изогнутых и криволинейных частях конструкций учитывается влияние изогнутости на длину отдельных элементов в сечении, на расстояние между заклепками и т. д. Изменения в длине и расстояниях учитываются по средней линии толщин, а не по краям, чем компенсируется разбежка в дырах между смежными толщинами.

Возрастание расстояний *s* (рис. 12), пропорциональное углу наклона стержней — α и числу толщин δ — склепки, учитывается по формулам:

1) для изогнутых поверхностей

$$\Delta x = (n-1)\,\delta \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2};$$

2) для криволинейных поверхностей

$$\Delta s = (n-1)\,\delta\frac{S}{R},$$

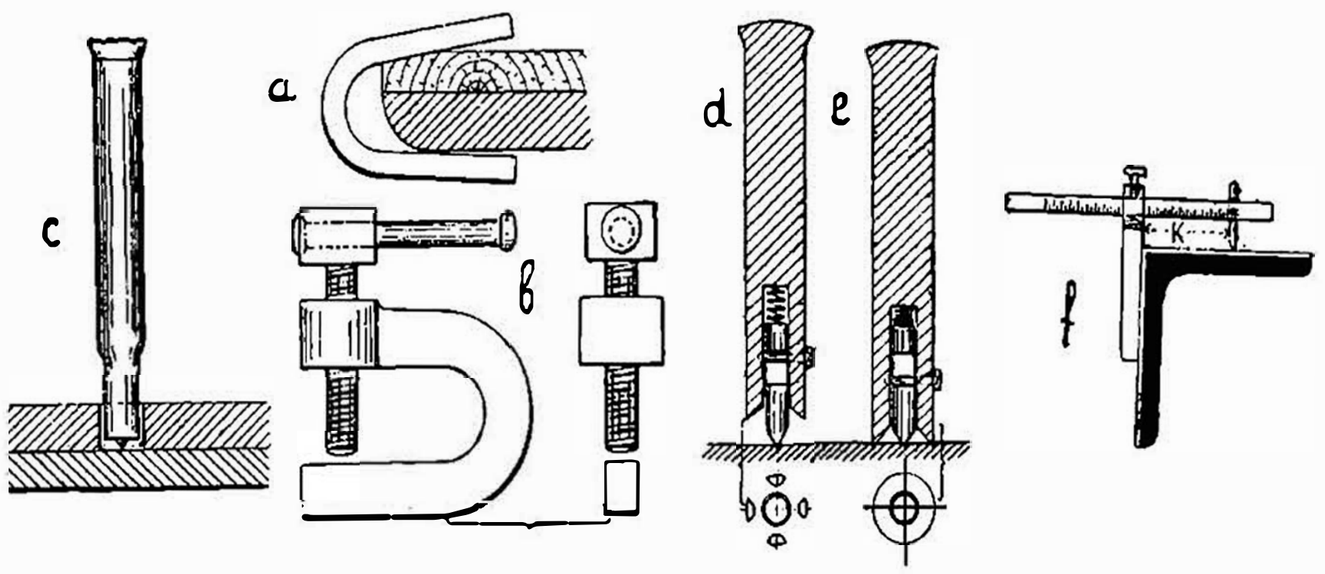
где *n* — число склепываемых толщин, *R* — радиус кривизны.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Уже при изменении толщины склепки на 10 *мм* и угле наклона стержней $\alpha = 45°$, изменение в расстоянии между дырами в смежных толщинах будет:

$$2\Delta x = 2(n-1)\delta \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = 2 \times 1 \times 10 \times 0{,}41 = 8{,}2 \text{ мм}.$$

При переметке листов вполне обработанные и проверенные шаблоны накладываются на размечаемый лист и скрепляются с ним помощью упругих кламеров или струбцинами (рис. 13 *a* и *b*). Контур листа очерчивается ризкой (рис. 10*a*); дыры же переводятся на лист помощью центрового керна (рис. 13*c*). При очерчивании шаблона линия ризки не ложится вполне точно по краю его; получаемый при этом излишек в $^1/_2$—1 *мм* приносит некоторую пользу при сборке, так как во время пригонки частей между собой он мало-по-малу срубается и служит для достижения вполне плотного соприкасания стыков. Диаметр центровых керн для перевода дыр делается на $^1/_2$ *мм* менее диаметра дыр в шаблоне; при большей разнице диаметров образуется большая игра керна в дырах шаблона, отчего центры намечаемых дыр сильно уклоняются от своего правильного положения. По снятии шаблона с размечаемого листа намеченные линии очертаний набиваются кернами, а места положения заклепок — контрольными центровыми кернами крестообразной или круглой формы (рис. 13*d* и *e*), что служит для контроля правильности последующей обработки. На листе же намечается марка соответственно его положению на схеме фермы (рис. 3).



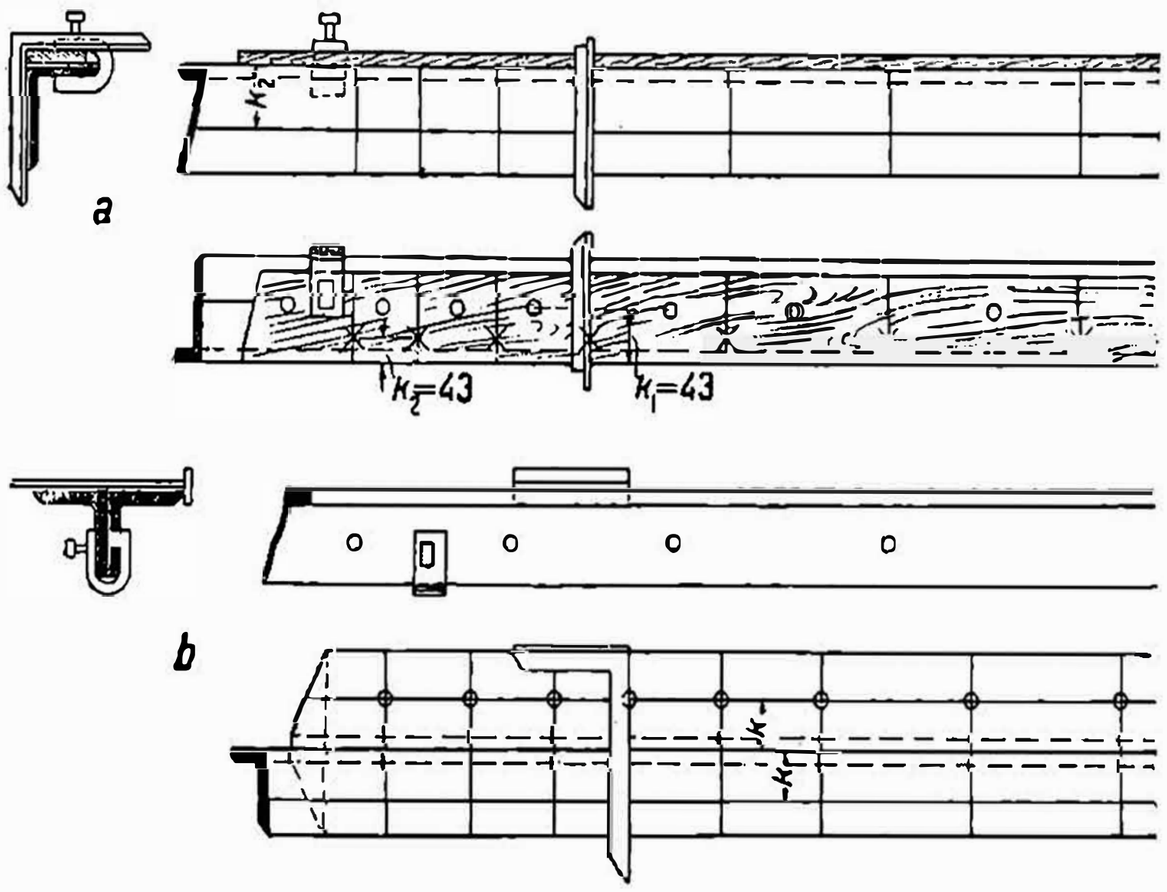


Рис. 14.

Наметка угловых профилей несколько сложнее и видоизменяется в зависимости от того, изготовлены ли для этой цели деревянные шаблоны или металлические. В первом случае эта разметка безусловно должна производиться в крытых помещениях, в предохранение как металла, так и шаблонов от действия солнца, так как кроме возможности усыхания шаблона разница в коэфициентах линейного расширения металла $\frac{1}{826}$ и дерева $\frac{1}{2\,841}$ может вызвать несоответствие в расположении центров заклепочных отверстий. При наметке же по металлическим шаблонам это требование не необходимо, так как влияние температуры на шаблоны и на размечаемый металл почти одинаково.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

В обоих случаях наметка угловых профилей производится на наружной поверхности уголка, предварительно покрываемой белой клеевой краской; на ней наносятся линии центров заклепочных отверстий по данным, указанным на шаблоне (рис. 14). Прочерчивание делается по ребру уголка, которое выходит из прокатки достаточно ровным, тогда как края уголков имеют волнистую форму.

При применении плоских шаблонов в виде деревянных линеек последние накладываются на одну из полок уголка, скрепляются с ней кламерами или струбцинами и служат для перевода дыр на эту полку уголка (рис. 14*a*).

Другая полка уголка намечается при помощи краевого угольника, которым положение дыр, намеченное на шаблоне, переносится в виде линий на вертикальную полку уголка; точки пересечения этих линий с линией центров определяют положение центра заклепки. По снятии шаблона центра заклепок на горизонтальной полке уголка поверяют по линии центров этой полки, после чего на всем уголке наносятся контрольные керна и выставляются соответствующие марки.

Металлические угловые шаблоны изготовляются из того же сорта уголков, как и размечаемые. Для переметки такой шаблон прикладывается одной из полок к полке размечаемого уголка (рис. 14*b*) и на последнюю наносятся помощью ризок линии обрезов и помощью центровых керн центры заклепочных дыр. Разметка другой полки того же уголка производится путем сноса на нее при помощи краевого угольника линий, перпендикулярных к краю уголка, своим положением соответствующих расположению заклепок. По снятии шаблона положение центров заклепок поверяется относительно линии центров, и на уголке выставляются контрольные керны и марки. Недостаток этого способа заключается в том, что при снесении линий с одного уголка на другой приходится пользоваться краем уголка, который имеет волнистые очертания.

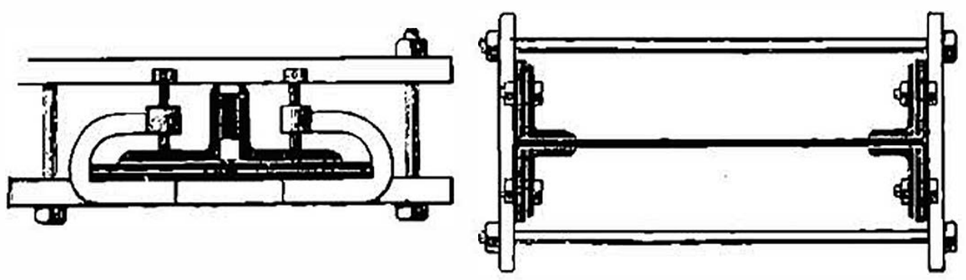


Рис. 15.

Выгода применения плоских деревянных шаблонов заключается в возможности наметки ими уголков при расположении вертикальной полки уголка как вправо, так и влево, что имеет существенное значение в симметричных конструкциях, так как при этом отпадает необходимость изготовления парных шаблонов. При применении же уголковых шаблонов для различных положений вертикальной полки уголка требуется изготовление особого шаблона. Ввиду того, что изготовление двойных шаблонов требует большей затраты времени, многие заводы предпочитают первый способ наметки, т. е. линейками.

Наметка швеллерных профилей производится так же, как и уголковых. Наметка двутавровых профилей производится исключительно плоскими шаблонами или путем непосредственной разметки их.

Если на заводе обработка металла производится только сверлением, то переметка материала может быть значительно сокращена применением сверления пачками, что делается следующим образом. Например листы одной марки складываются в числе нескольких штук в одну пачку с шаблоном, плотно свертываются с ним струбцинами (рис. 13*b*), и затем в них просверливаются дыры непосредственно по шаблону; по мере просверловки дыр в часть из них вставляются болты, и пачка стягивается ими. Вместо пачек однородных листов могут соединяться в пачку отдельные элементы (рис. 15); для скрепления их употребляются струбцины и особые скобы.

На заводах в Америке, где имеются многоштемпельные дыропробивные станки с автоматическими столами, изготовление шаблонов для длинных листов и уголков заменяется изготовлением особых шаблонов из деревянных реек, на которых металлическими шпильками намечаются только расстояния между поперечными рядами заклепок на листе или уголке; эти рейки служат для регулирования движения стола, на котором помещается обрабатываемый лист (рис. 29). Разметка же дыр

НБ УДУНТ (ДІІТ)

в поперечных рядах при применении этих станков заменяется перестановкой штемпелей в них. Такой прием производства работ почти устраняет переметку материала, которая сохраняется только для обводки контура линии обреза, если таковой нужен, и обеспечивает снижение стоимости обработки, но требует наличия хорошо квалифицированных рабочих при станках.

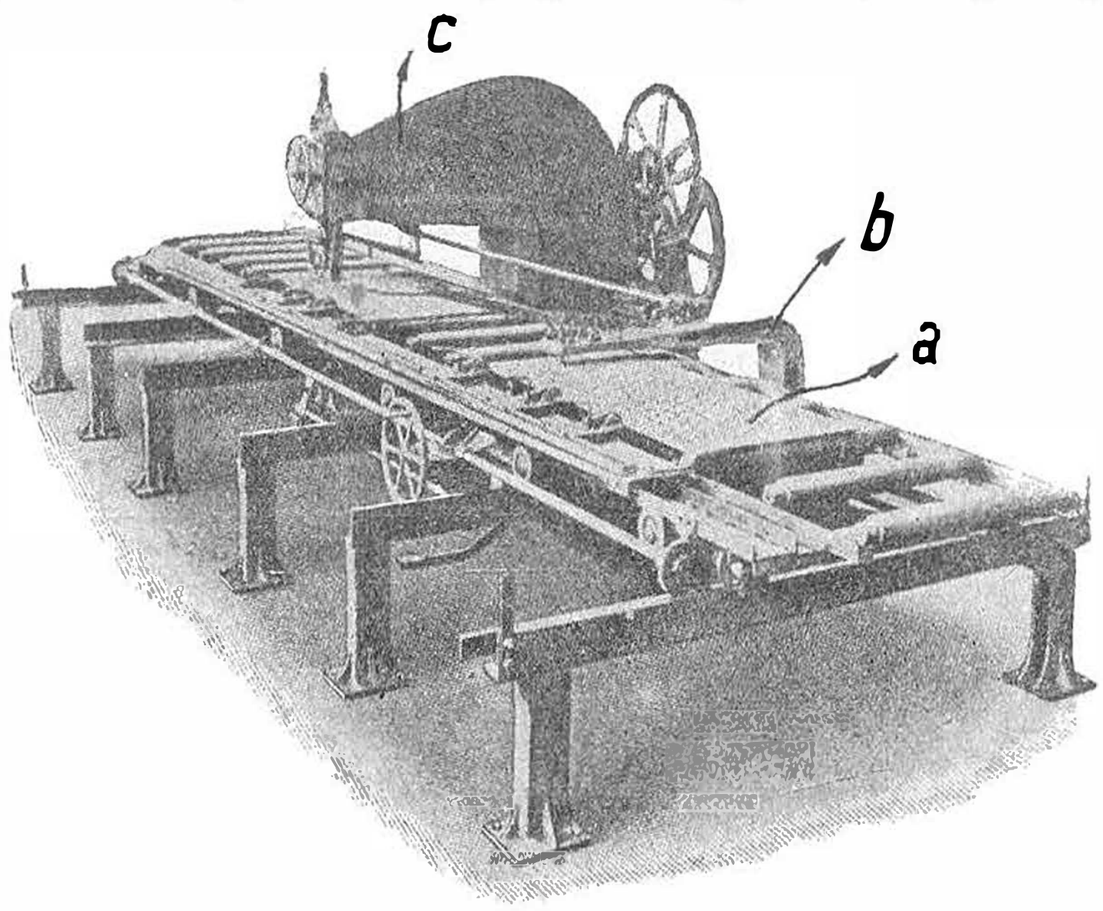


Рис. 16. Дупликатор.

Для удешевления стоимости переметки небольших листов, планок и пр. в Америке применяется особый прибор «Дупликатор» (рис. 16); скоба *b* этого прибора своим штифтом устанавливается в дыру готового шаблона *a* и при помощи системы рычагов производит такую же установку пробойника в прессе *c*, которым затем пробивается дыра в обрабатываемой части.

Изготовление шаблонов должно отличаться большой точностью и требует напряженного внимания со стороны разметчиков. В целях обеспечения спокойной работы рекомендуется изолировать помещение разметной от мастерских завода, делать их светлыми и теплыми, снабжать их приспособлениями для быстрой и спокойной подачи и уборки материала.

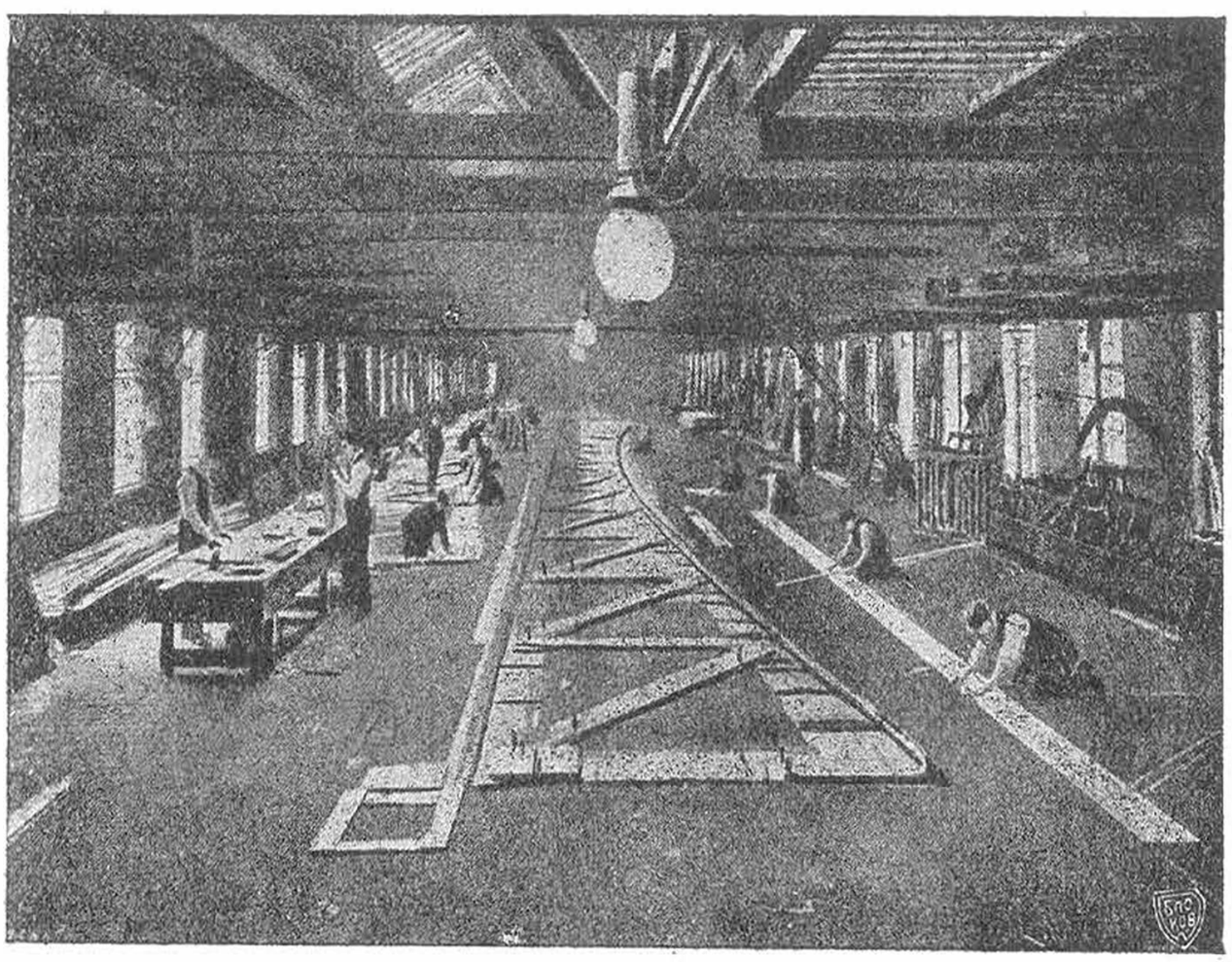


Рис. 17. Шаблонная мастерская на заводе Вил. Ароля.

Так как от правильности изготовления шаблонов зависит правильность всей обработки, то некоторые заводы считают полезным не выпускать шаблонов из разметной, не проверив их путем сложения в натуральную величину всей фермы (рис. 17). Во всяком случае всякий выпуск предварительного кроки, служащего для изготовления шаблона, и самый выпуск шаблона может быть сделан лишь после того, как один из старших разметчиков проконтролирует правильность разметки.

Что касается вопроса о производительности в разметной шаблонов и переметной, то здесь можно говорить только о некоторых средних данных, характеризующих среднюю годовую производительность, так как в действительности такая работа, как разметка шаблонов, в значительной степени зависит от сложности конструктивной разработки чертежа, густоты расположения заклепок, размеров отдель-

НБ УДУНТ (ДІТ)

ных листов и уголков и ряда других причин; то же можно сказать и о работе по переметке. Для того чтобы охарактеризовать, как зависит производительность разметчика и переметчика от указанных факторов, ниже приведены данные о нормах выработки при 8-часовом рабочем дне, которые установлены на одном из заводов нашего Союза.

1. Норма производительности одного разметчика с подручным по изготовлению металлических шаблонов для уголков из профилей размерами до 10×10×1 см.

Число заклепочных дыр в уголке	Норма выработки при длине уголка					
	50 *см*		200 *см*		250 *см*	
	Число уголков	Колич. метров	Число уголков	Колич. метров	Число уголков	Колич. метров
4	85	42,5	55	110	35	122,5
8	65	32,5	40	80	30	105
12	50	25	35	70	25	87,5
18	—	—	30	60	20	70

2. Норма производительности одного переметчика с подручным по переметке уголков по готовому шаблону для профилей размерами до 7,5×7,5×1 см.

Число заклепочных дыр в уголке	Норма выработки при длине уголка					
	250 *см*			500 *см*		
	Число уголков	Колич. метров	Число дыр	Число уголков	Колич. метров	Число дыр
5	133	332,5	665	75	375	375
10	99	247,5	990	58	290	580
20	80	200	1 600	44	220	880
40	53	147,5	2 012	33	165	1 320
60	44	110	2 640	27	135	1 620
80	37	92,5	2 960	23	115	1 840
100	30	75	3 000	19	85	1 900

Приведенные данные показывают, что повседневная работа по разметке шаблонов и переметке по ним не представляется характерной для общих выводов; поэтому при составлении общих соображений о штатах в разметных приходится исходить из средних цифр.

По опыту заводов нашего Союза, на которых производится изготовление шаблонов для всех листов и уголков, число разметчиков при 8-часовом рабочем дне исчис-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

лялось в среднем по одному на каждую 1 000 *m* выпускаемого в год мостового металла.

При оборудовании заводов многоштемпельными станками с автоматической переметкой число изготовляемых шаблонов значительно сокращается, и сами они упрощаются; поэтому расчетное число разметчиков должно понизиться. По проекту расширения мостового цеха на заводе имени Петровского при указанном оборудовании и при 8-часовом рабочем дне число разметчиков было исчислено из расчета: один разметчик на 2 800 *m* выпускаемого в год мостового металла. По данным Dencer [1]) на заводах Америки, с годовой производительностью 120 000 *m*, штат разметчиков исчисляется в 25 человек при 9-часовом рабочем дне.

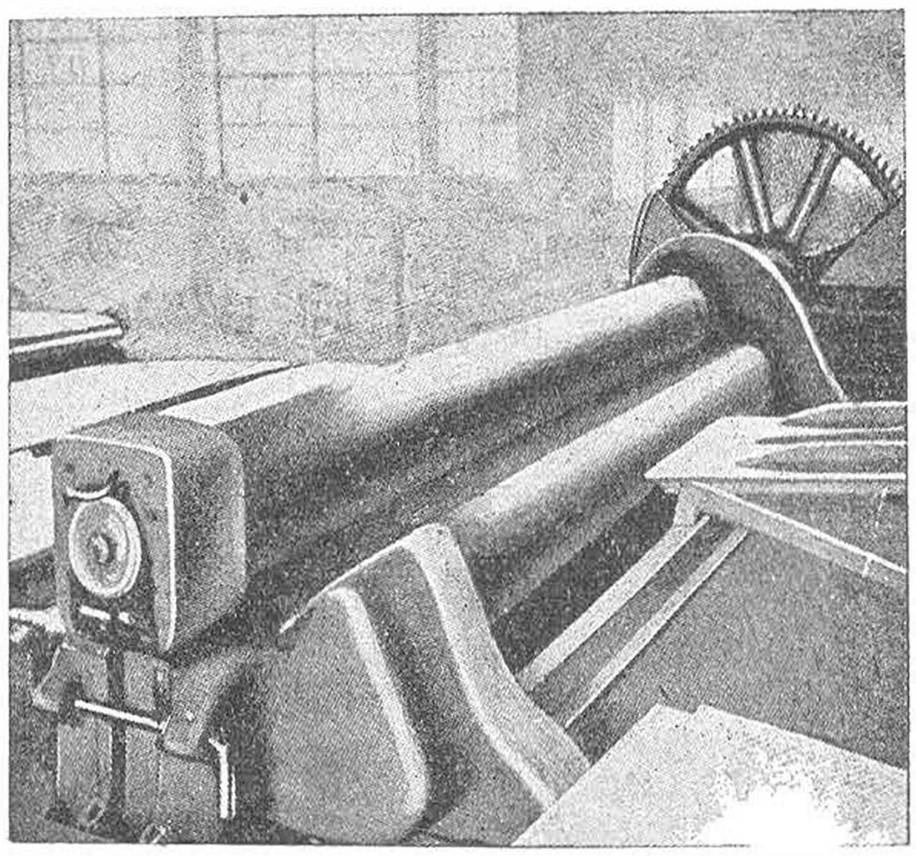


Рис. 18. Валки для выгибания листов.

Что касается переметки материала по шаблонам, то необходимый штат переметчиков при 8-часовом рабочем дне исчислялся из расчета один переметчик на 550 *m* выпускаемого в год мостового металла. Если принять, что при современных конструкциях мостов число дыр, приходящихся на одну тонну металла, равно примерно 720, то указанное выше исходное число для расчета числа разметчиков даст повседневную производительность одного переметчика при 280 рабочих днях в среднем 1 400 намечаемых дыр (для листового — 1 600 дыр, для углового — 1 200 дыр в рабочий день).

§ 4. Выгиб и высаживание. Придание материалу криволинейных форм и высадок вызывает в обрабатываемой части местные удлинения или укорочения, незаметные при общей длине ее, так как характеризуются изменениями в миллиметрах, но отзывающиеся на взаимном расположении заклепочных отверстий; поэтому эта работа производится до общей переметки частей по специальным шаблонам, которые изготовляются сейчас же, как только станут известны основные размеры сооружений.

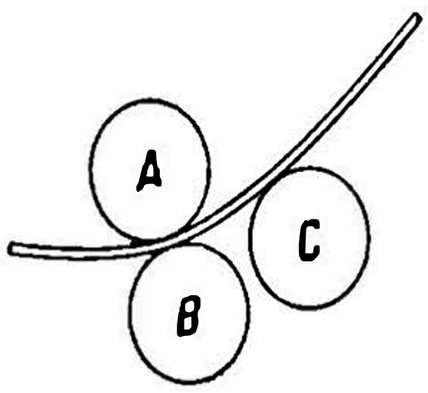


Рис. 19.

Только очень незначительные выгибы листов металла, как мало влияющие на внутреннее строение его, производятся в холодном состоянии; все же крупные выгибы, высадки и пр. обрабатываются в нагретом состоянии на специальных шаблонных наковальнях вручную или машинными молотками. Первый способ производства работы не требует больших затрат на оборудование и более распространен особенно у нас, в Союзе, но он отличается медленностью обработки по сравнению с машинным производством. Благодаря медленности работы при ручном способе окончание обработки выгибов и высадок зачастую производится при температуре ниже краснокалильной, что отзывается на строении материала. Особое внимание должно обращаться на то, чтобы обрабатываемые в горячем состоянии части подвергались медленному охлаждению; даже вынос их на холодный воздух может так повлиять на материал, что он будет лопаться при последующей обработке [2]).

---

[1]) «Detailing and Fabricating structural steel», стр. 275, изд. 1924 г.

[2]) При постройке Аму-дарьинского моста во время приклепывания краевых угольников, на консольных листах поперечных балок в местах выгибов этих угольников настолько часто появлялись трещины, что пришлось сменить до 50%.

Подобное же явление зачастую замечается в местах образования высадок в угловых профилях.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Придание листовому металлу криволинейного очертания производится в холодном состоянии помощью специальных валков наподобие применяемых для правки железа и отличающихся от них числом и расположением валов.

На рис. 18 показан общий вид таких валков, а на рис. 19 — схема расположения на них валов. Валки *A* и *B* расставляются на толщину выгибаемого листа и служат для протаскивания листа. Вал *C* не соединен с приводом и служит для придания листу требуемой кривизны. Этот вал может быть поднят или опущен, чем достигается придание листу желаемой кривизны.

Рис. 20. Станок для сгибания листов.

Придание кривизны фасонному материалу делается также в холодном состоянии на специальных станках с валками, расположение которых показано на рис. 5.

Изгиб под большим углом листов толщиною до 6 *мм* производится непосредственно на месте пригонки. При большей толщине листов изгиб их под углом следует делать на специальном приспособлении с предварительным нагревом их. На рис. 20 показана схема такого приспособления; существенное значение в этом приспособлении имеет зажим листов между солидными линейками *a* и *b*, плотно охватывающими лист с обеих сторон и не позволяющими ему выпучиваться во время изгиба.

Рис. 21.

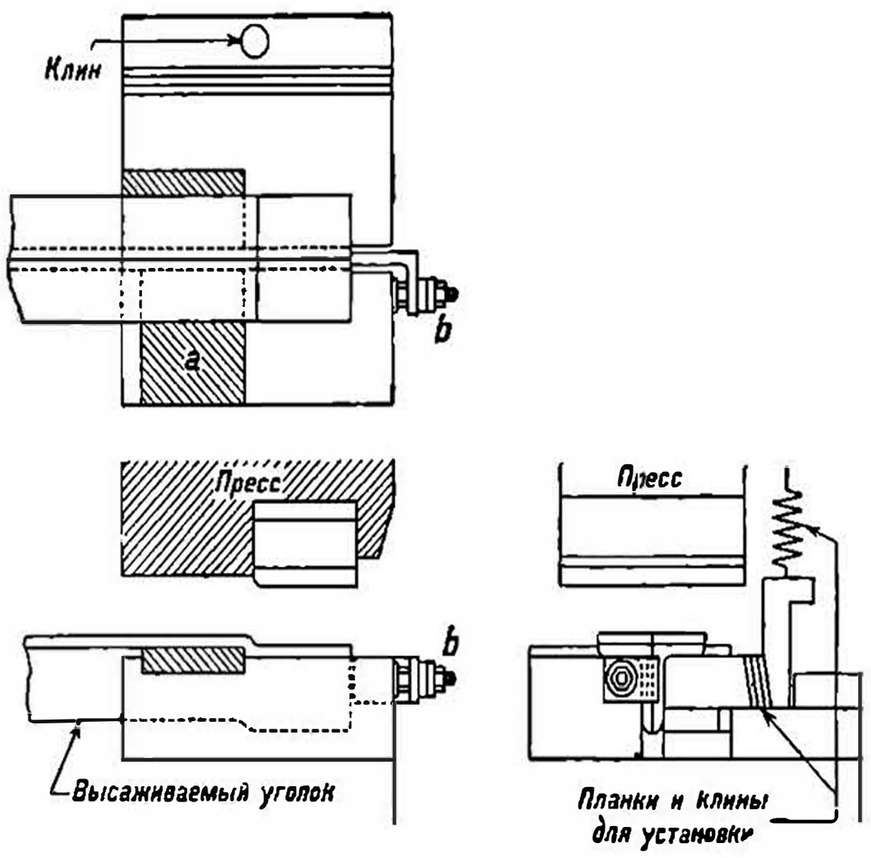


Рис. 22. Пресс для высадок.

Выгибание фасонных профилей — углового, таврового и прочего — делается в нагретом состоянии помощью шаблонных наковален. При ручной обработке для этой цели употребляются плиты с рядом отверстий (рис. 21), в которых укрепляется форма, соответствующая требуемому очертанию изгиба. Во время изгиба полки профилей, лежащие в плоскостях радиуса изгиба, сжимаются и образуют складки. Последние при большей величине радиуса или при тупом угле выгиба легко разглаживаются гладилками; при остром угле они становятся настолько большими, что иногда их обрубают и сваривают. Однако для рабочих частей мостовых конструкций не следует допускать подобную сварку, а сглаживать их последовательным расплющиванием, поступаясь увеличением ширины и толщины полок.

Нередко в металлических конструкциях встречается высадка угловых профилей, которая производится исключительно в горячем состоянии на специальных наковальнях (рис. 22). Особенность этих наковален заключается, во-первых, в специальном уступе,

НБ УДУНТ (ДІІТ)

в виде особого вкладыша *a* переменной толщины, на котором производится высаживание, и во-вторых в борозде, в которой зажимается высаживаемая полка уголка; винтом *b* регулируется глубина высадки.

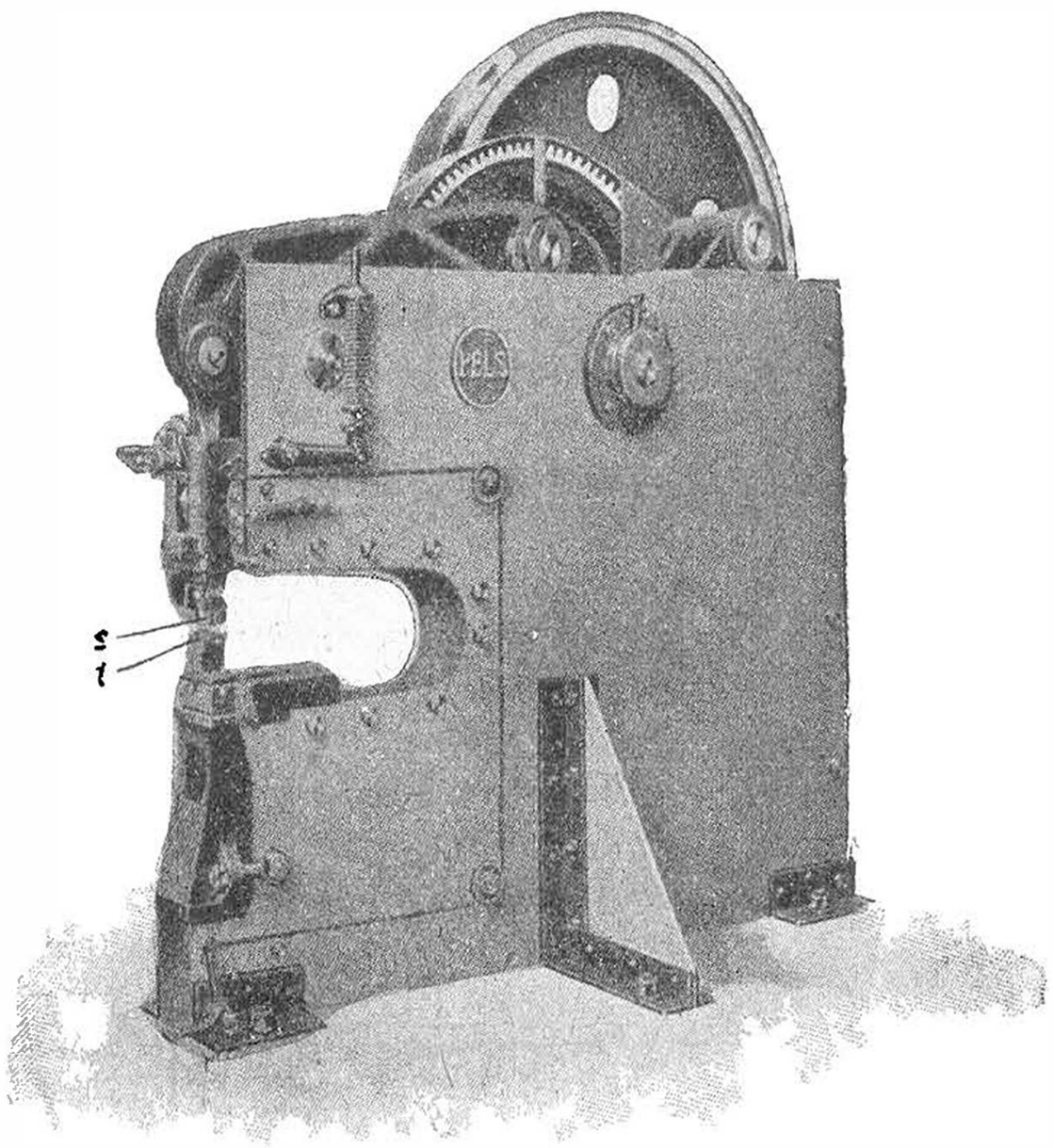


Рис. 23. Дыропробивной пресс. *s* — штемпель, *t* — матрица.

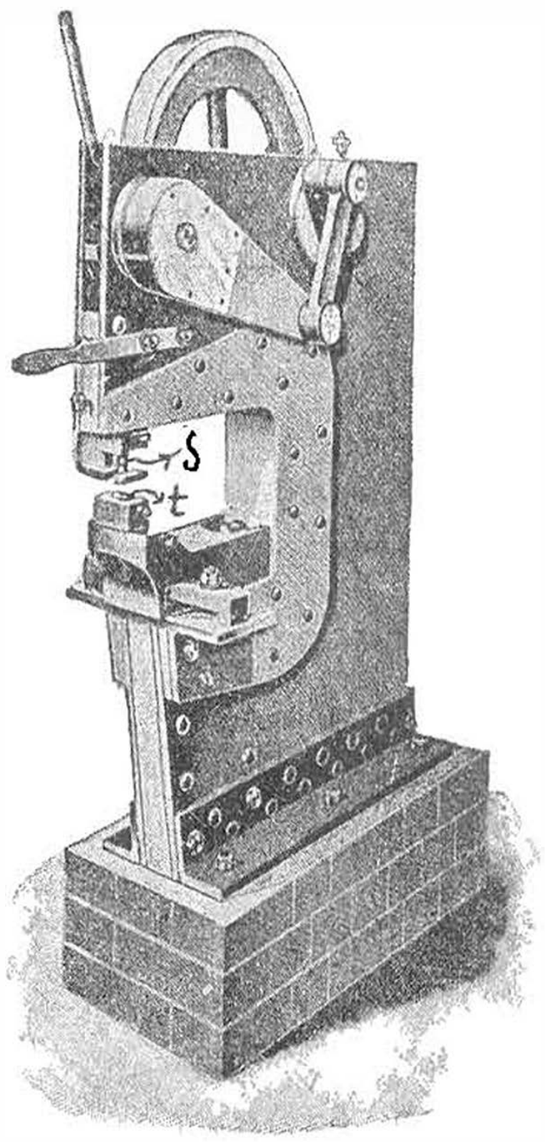


Рис. 24. Ручной дыропробивной пресс. *s* — штемпель, *t* — матрица.

Во время выбивания высадки часть материала у места высадки стремится разорваться, вследствие чего в этом месте часто замечается утонение высаженной

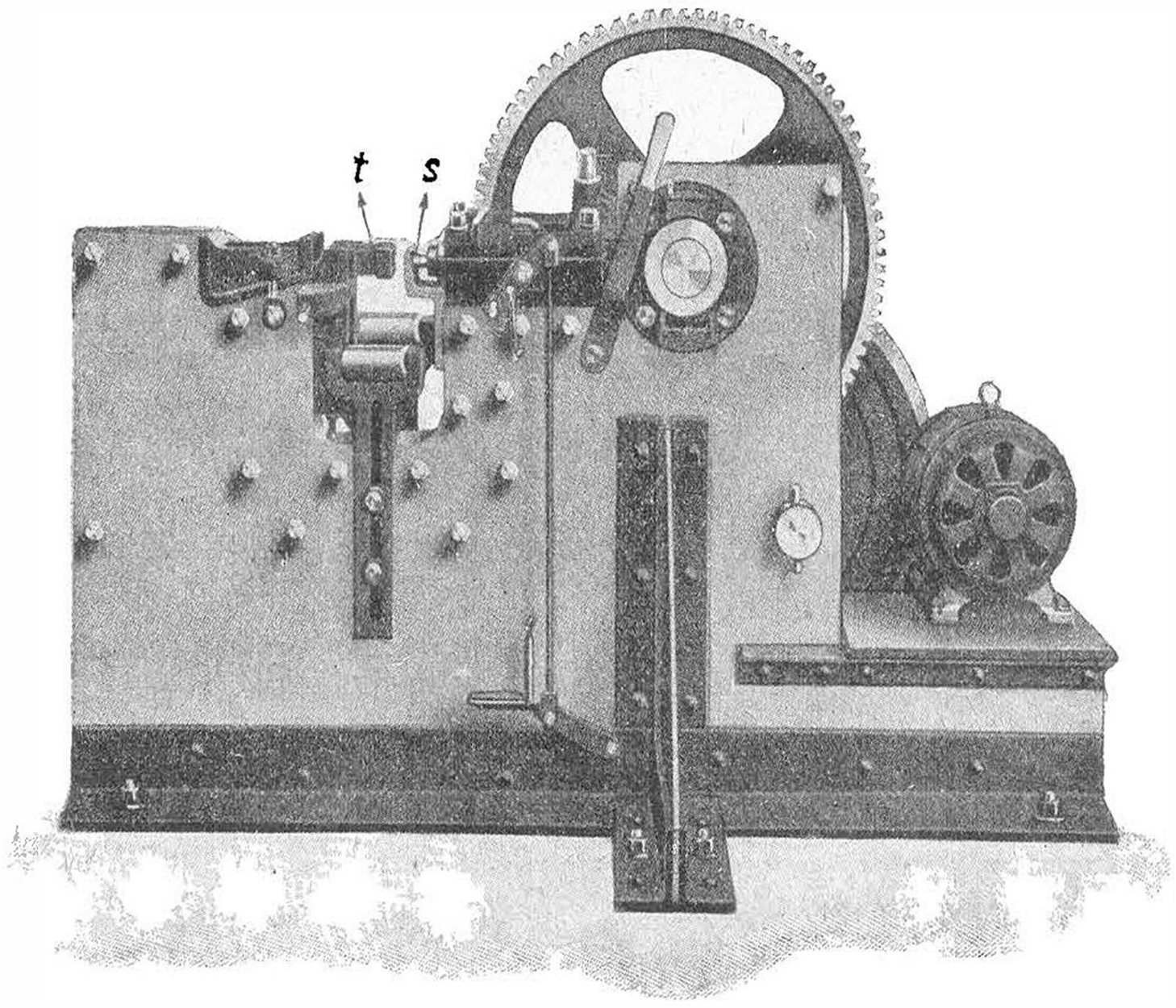
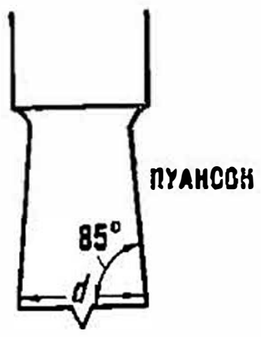


Рис. 25. Пресс для пробивки горизонтальных дыр. *s* — штемпель, — матрица.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

полки, влекущее за собой ослабление всего сечения; при машинной обработке высадок подобное утонение встречается реже, и высадка получается чище.

Как во время выгибания, так и во время высаживания происходит незаметное искривление полок, препятствующее плотному соприкасанию их между собой. Правильность положения их после подобных обработок поверяется наложением линеек и угольников, и сами полки фасонного железа соответствующим образом выправляются.



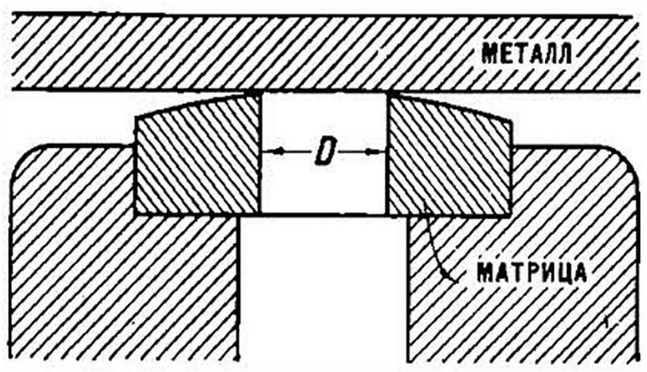


Рис. 26.

Кузнечная работа по образованию выгибов и высадок является одной из наиболее дорогих в обработке металла, и вместе с тем все эти места являются наиболее сомнительными по своей прочности. Отсюда вполне понятно стремление к возможному уменьшению числа их в проектируемой конструкции и замене их прокладками.

§ 5. Образование отверстий. Заклепочные отверстия образуются двумя способами: путем пробивки и путем сверления. Оба способа имеют свои за и против, обусловливаемые производством работы и влиянием ее на самый металл.

Пробивка отверстий производится на ручных или приводных станках (рис. 23, 24, 25), весьма разнообразной конструкции, характеризующихся подвижными подушками, в которые вставляется штемпель или пробойник *s*, тогда как матрица *t* укрепляется неподвижно на нижней части станины. Во время производства работы металл кладется на матрицу, и пробойник (пуансон) путем нажима выдавливает в нем соответствующую часть материала (рис. 26).

Процесс пробивки отверстия сопровождается следующими явлениями, установленными опытами Тольмера, Фремонта и др.[1]). Первоначально часть материала под давлением пробойника сминается, часть его вытекает, и наконец материал разрывается по очертанию пробойника. Этот процесс характеризуется кривыми работы [2]), полученными при различных соотношениях диаметров штемпеля—*d* и матрицы—*D*, показанными на рис. 27.

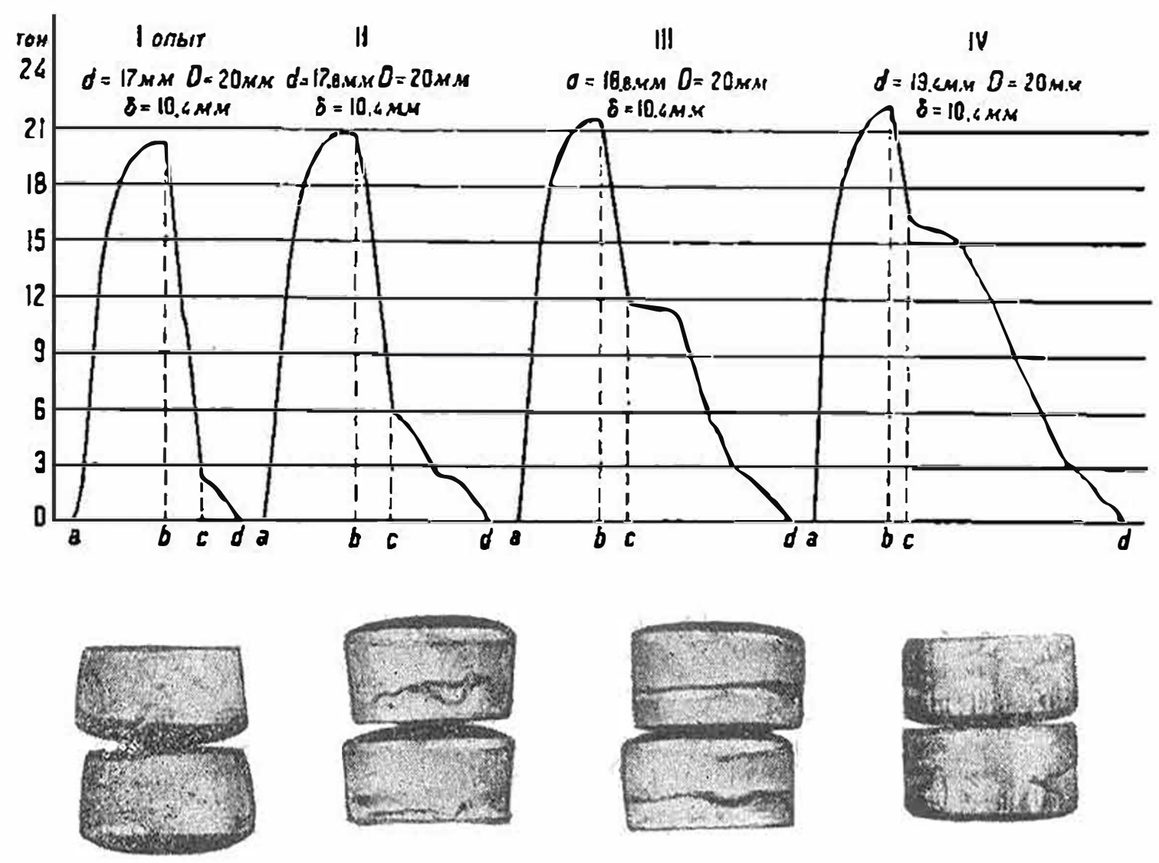


Рис. 27.

Каждая из них состоит из трех основных частей:

1. Части *a*—*b*, обращенной вогнутостью кверху, показывающей возрастание усилий, нажимающих на пробойник, и его перемещения при вдавливании до момента разрыва.

2. Части *b*—*c*, указывающей быстрое падение давления, следующего за моментом разрыва.

3. Части *c*—*d*, показывающей усилия, потребные на выталкивание уже отделенного куска металла.

---

[1]) Тольмер, «Rev. gener. d. chem. de fer», 1894 г. Фремонт, «Comptes rendus des ceances de l'Académie de sciences», 1894 et 1895.

[2]) Опыты были произведены автором в лаборатории Института инженеров транспорта.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Получающиеся при этом выдавки материала различаются между собой боковыми очертаниями, а именно:

1. При штемпеле $d = 17$ *мм* выдавки имеют вид усеченного конуса с гладкой матовой поверхностью.

2. При штемпеле $d = 17{,}8$ и $d = 18{,}8$ *мм* выдавки имеют вид двойного усеченного конуса, нижние края конусов имеют по окружности блестящую каемку.

3. При штемпеле $d = 19{,}4$ *мм* выдавки имеют почти цилиндрическую поверхность, местами сплошь блестящую.

Отсюда вытекает, что требование цилиндричности поверхности заклепочного отверстия наиболее удовлетворяется при равенстве диаметров матрицы и штемпеля, но при таком соотношении диаметров в нижней части дыры возникает сильное боковое сдавливание, служащее причиной выпучивания и даже надрывов в металле, и, вместе с тем сильно возрастает количество работы, затрачиваемой на выталкивание выдавки. Это количество работы уменьшается с увеличением разницы между диаметрами штемпеля и матрицы и становится тем меньше, чем ближе наклон граней конуса к углу естественного среза стали, принимаемого приблизительно от 7 до 8°; последнему усилию близко удовлетворяют данные первого опыта:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{D-d}{2\times 10{,}4} = \frac{20-17}{2\times 10{,}4} = 0{,}14423;$$

отсюда $\alpha = 8^\circ\ 10$

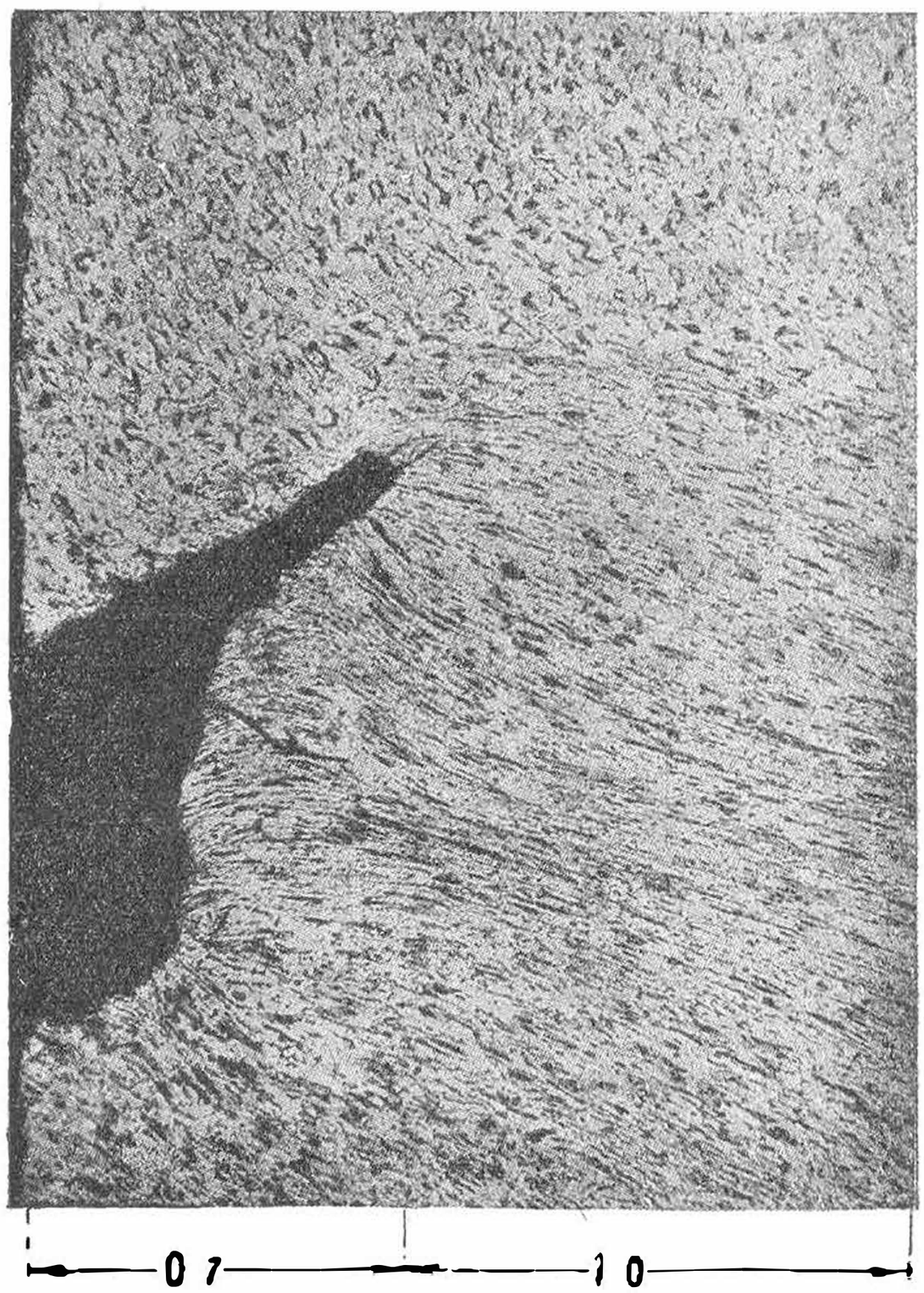


Рис. 28. Микроструктура у края пробитой дыры.

Получение дыры с большим уклоном граней для целей практики не признается рациональным, так как при склепке нескольких листов нельзя будет получить полного заполнения всей дыры; поэтому для пробивки дыр принимается некоторое среднее соотношение диаметра матрицы и штемпеля:

$$D = d + 0{,}15\delta$$

в зависимости от толщины материала δ. При таких условиях, подходящих к данным второго и третьего опытов, дыры характеризуются следующим:

1) отверстие дыры имеет вид конуса, уширяющегося книзу;

2) поверхность дыры внутри неровна и имеет острые края.

Из рассмотрения части кривой $a - b$ видно, что длина ее по оси абсцисс постепенно убывает от первого до четвертого опытов; вместе с тем кривая давления в нижней части получает все меньшую и меньшую вогнутость книзу. Причина этих явлений заключается в изгибе материала под давлением штемпеля в первый момент

НБ УДУНТ (ДІІТ)

опыта; изгиб материала увеличивается при возрастании разницы диаметра матрицы и штемпеля, а также при возрастании отношения $\frac{d}{\delta}$.

Вследствие этого пробитые дыры отличаются еще:

3. Выпуклостью нижней поверхности материала, прилегающего к дыре.

Это выпучивание весьма заметно в тонких листах и особенно при пробивке дыр в узких полосах, которые получают при этом как продольное, так и поперечное искривление. В связи с этим пробиваемый материал удлиняется. Это удлинение зависит от качества материала, его толщины, числа дыр, их диаметра. Вопрос этот не изучен; однако это удлинение достигает $0{,}05\%$ и в длинных частях может отозваться на несовпадении дыр.

Кроме этого пробивка оказывает влияние также на внутреннее строение материала, вызывая в нем пластические деформации. На рис. 28 показана микрофотография у места прокола дыры, увеличенная в 50 раз. На ней видны сдвиги в материале, распространяющиеся в глубину более чем на 1,7 *мм*. Особенно резко выделяются эти сдвиги у мест надрывов поверхности. Испытание на твердость при помощи прибора Роквелла и Герберта показывает увеличение ее у краев дыр на $10 — 15\%$. Вполне очевидно, что такое изменение в структуре материала должно отзываться на его прочности.

О величине влияния, оказываемого пробивкой на прочность стали, можно судить по опытам, произведенным над литым железом в лаборатории Института инженеров путей сообщения.[1]). Опыты дали следующие результаты:

A. Планка толщиной $\delta = 12{,}5$ *мм*.

1) Просверлено отверстие 22 *мм*, временное сопротивление разрыву $R = 41{,}0$ *кг/мм*^{2}, удлинение $i = 7{,}7\%$.
2) Пробито отверстие 12,7 *мм* и рассверлено до 22 *мм*, временное сопротивление разрыву $R = 41{,}0$ *кг/мм*^{2}, удлинение $i = 6{,}6\%$.
3) Пробито отверстие 19 *мм* и рассверлено до 22 *мм*, временное сопротивление разрыву $R = 39{,}5$ *кг/мм*^{2}, удлинение $i = 5{,}9\%$.
4) Пробито отверстие 22 *мм* и временное сопротивление разрыву $R = 37{,}8$ *кг/мм*^{2}, удлинение $i = 4{,}1\%$.

B. Планка толщиной $\delta = 10{,}3$ *мм*.

1) Просверлено отверстие 19 *мм*, временное сопротивление разрыву $R = 42$ *кг/мм*^{2}, удлинение $i = 7{,}3\%$.
2) Пробито отверстие 10 *мм*, рассверлено до 20,3 *мм*, временное сопротивление разрыву $R = 42{,}5$ *кг/мм*^{2}, удлинение $i = 7{,}3\%$.
3) Пробито отверстие 20,8 *мм*, временное сопротивление разрыву $R = 37$ *кг/мм*^{2}, удлинение $i = 4{,}9\%$.

Такие же опыты, проведенные на заводе имени Петровского с кремнистой сталью, показали следующее изменение временного сопротивления:

врем. сопрот. до опытов	54 *кг/мм*^{2}
после пробивки отверстия	50 »
после пробивки и рассверлловки на 2 *мм*	57
после пробивки и рассверлловки на 4 »	58 »
после сверления	59 »

Из этих опытов видно, что сопротивление стали падает при пробивке в нем отверстий; с уменьшением диаметра пробиваемого отверстия и обработки краев последнего сверлением сопротивляемость стали постепенно восстанавливается. Эти результаты послужили основанием для технических условий на изготовление мостового металла, по которым пробитые отверстия должны рассверливаться до диаметра, большего диаметра пробитого отверстия на 4 *мм*.

---

[1]) Проф. Н. А. Белелюбский (XII Съезд инж. служ. пути).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

У нас, в Союзе, чистая пробивка дыр без последующей рассверловки допускается только во второстепенных частях: в связевых решетках, прокладках и пр. и в неответственных сооружениях.

В Америке, по данным Dencer[1]), дыры пробиваются на $^3/_{16}''$ (4,7 *мм*) меньше требуемого диаметра заклепки и развертываются до диаметра на $^1/_{16}''$ (1,6 *мм*) больше требуемого диаметра заклепки. Таким образом развертка дыр доводится до 6 *мм*.

Чтобы обеспечить возможность стягивания отдельных элементов при сборке не очень тонкими болтами, в Америке ограничивают наименьший диаметр заклепок 19 *мм*, что позволяет сохранить следующие соотношения диаметров при пробивке и рассверловке.

Диаметр заклепок	Диаметр пробиваемого отверстия	Диаметр рассверливаемой дыры
19 *мм*	17,5 *мм*	20,6 *мм*
22	17,5	23,8
25,4 »	20,6	27,0

В Западной Европе и у нас, в Союзе, для пробивки дыр применяются почти исключительно одноштемпельные пресса. Среди них можно встретить пресса с горизонтально поставленным штемпелем (рис. 25), что облегчает пробивку гнутых фасонных профилей.

Современные пресса делаются такой мощности, что могут пробивать дыры диаметром 4 *см* в металле толщиной 3 *см*. Для чисто мостовых работ такие мощные пресса не требуются.

Производительность дыропробивных прессов зависит от числа делаемых ими ходов в минуту, которое в обычно применяемых прессах равно 20—22 ходам, и от удобства управления нажимом штемпеля, которое считается лучшим при передаче нажима педалью от ноги. Количество же пробиваемых дыр изменяется в зависимости от толщины пробиваемого материала, веса пробиваемых частей, густоты расположения дыр, постоянства диаметра и т. д. Для характеристики изменения производительности ниже приведены данные о нормах выработки при пробивке дыр на двух заводах.

А. Нормы (1927 г.) выработки на одном из заводов «Гомзы» при пробивке дыр на приводных прессах с 20 ударами в минуту, при обслуживании их прессовщиком и подручным.

	Число ударов, пробиваемых в 8-часовой рабочий день				
	В стали № 3 толщиной	При помощи листов			
		0,5 $м^2$	1,0 $м^2$	3 $м^2$	6 $м^2$
При большом числе дыр одинакового диаметра	0,5—1 *см*	4 000	3 690	2 824	2 000
Обеспеч. работу на 2 часа .	1—1,5	3 400	3 200	2 280	1 600
При редком расположении дыр двух различных диаметров	0,5—1	3 400	3 000	2 280	1 670
Обеспеч. работу на 1 час . .	1—1,5	2 820	2 550	1 850	1 300

[1]) Dencer, «Detailing a. Fabricating structural steel», 1924 г., стр. 300.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

В. Нормы (1926/27 г.) выработки на работах Машинотреста по пробивке дыр на приводных прессах с числом ударов 20—22 в минуту при обслуживании пресса одним прессовщиком и одним подручным.

	В стали № 3 толщиной	Число пробиваемых дыр в течение 8-часового рабочего дня				
		При расстоянии между дырами				
		38 *мм*	50 *мм*	75 *мм*	100 *мм*	150 *мм*
Независимо от размера листа, но при одинаковом диаметре дыр	6— 8 *мм*	3 275	3 130	2 880	—	—
	8—13	2 880	2 665	2 480	1 945	1 560
	13—16	—	2 180	2 000	1 715	1 380
При тех же условиях, но при наличии дыр двух различных диаметров	6— 8 »	2 450	2 350	2 160	—	—
	8—13	2 160	2 000	1 860	1 460	1 170
	13—16 »	—	1 635	1 545	1 283	1 035

Примерно так же изменяются нормы выработки при пробивке углового железа. При составлении проектных и сметных соображений можно принимать среднюю

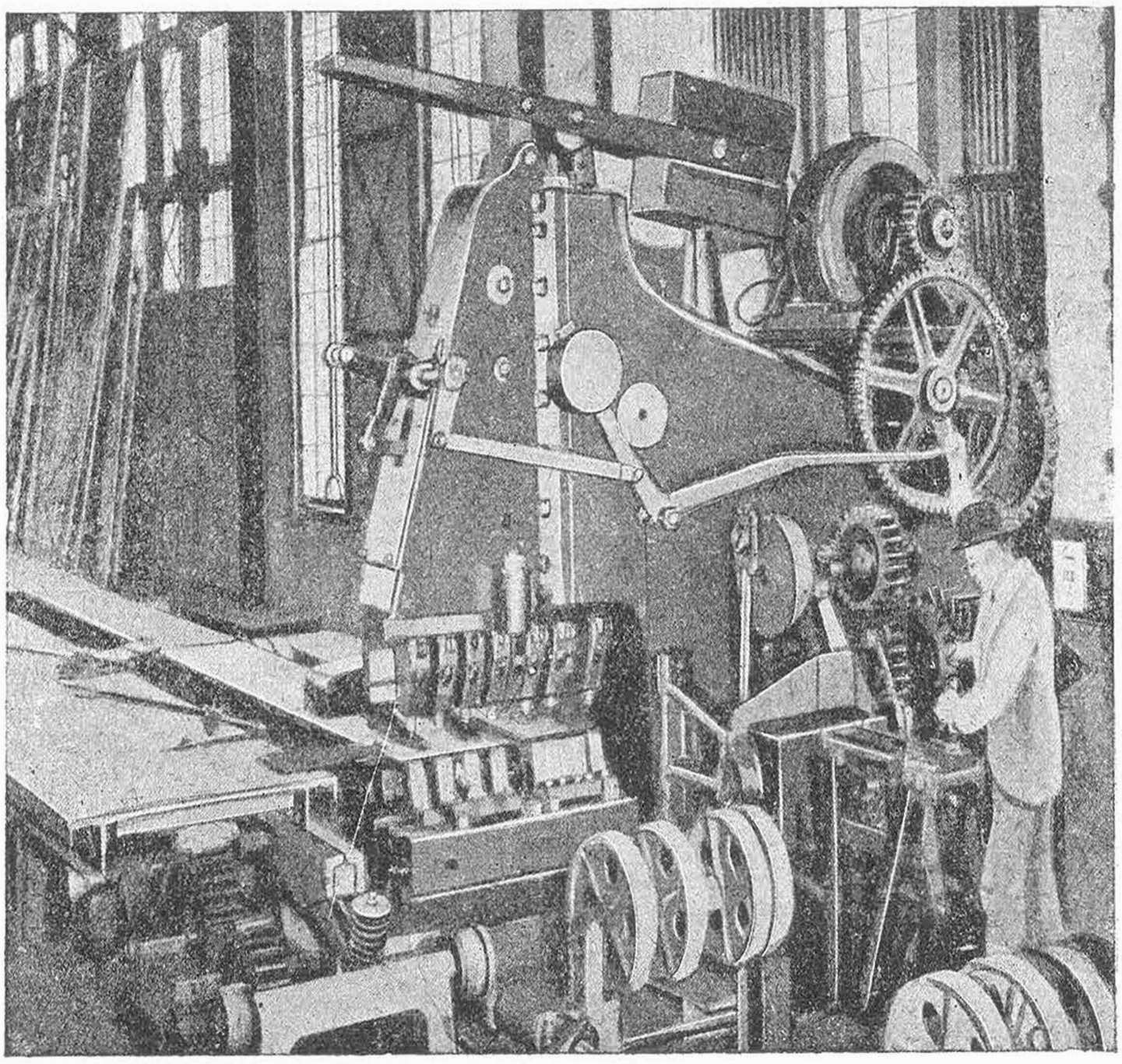


Рис. 29. Шестиштемпельный дыропробивной пресс с автоматическим столом.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

производительность одноштемпельных прессов в 2 300—2 400 дыр в 7-часовой рабочий день.

В Америке на заводах с большой производительностью (более 100 000 *m* в год) широко применяются многоштемпельные дыропробивные пресса с автоматическими двигательными столами. На рис. 29 показан такой пресс с семью штемпелями, но часто число штемпелей в поперечном ряду доводится до десяти. В этих прессах каждый штемпель вводится в работу при помощи особых шкворней, что позволяет изменять число работающих одновременно штемпелей сообразно числу дыр, требуемых по проекту. Из этого устройства следует, что пробивка на таких прессах становится целесообразной лишь при том условии, что заклепки имеют рядовое расположение в долевом и поперечном направлениях (рис. 30*a*) не меньше известных границ; при скошенных рядах (рис. 30*b*) пробивка переходит на одноштемпельные станки. Само собой понятно, что известная стандартизация расположения дыр в поперечном ряду послужит к значительному повышению производительности такого пресса.

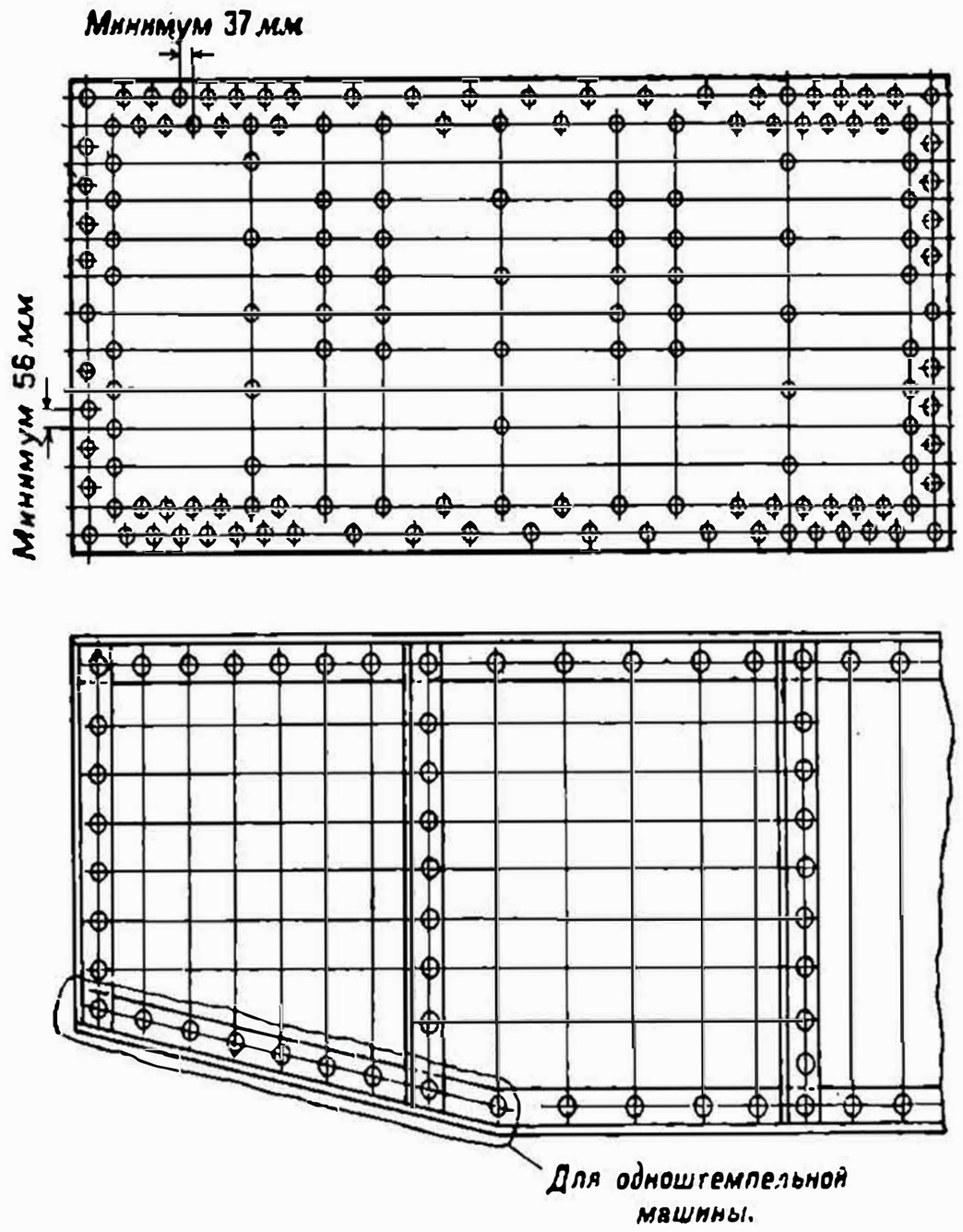


Рис. 30.

Работа на многоштемпельных прессах связывается с введением автоматических делительных столов при них. Сущность работы этих столов заключается в следующем.

В разметной изготовляются особые шаблоны из деревянных реек, на которых намечается положение поперечных рядов заклепочных дыр по длине листа или уголка; эти ряды фиксируются на шаблонах особыми металлическими шпильками. Этот шаблон, будучи неподвижно закреплен на подвижном столе, на котором помещаются прокалываемые лист и уголок, служит для регулировки движения стола: когда происходит контакт с очередной шпильной рейки, стол автоматически останавливается и производится пробивка дыр. Если число дыр в поперечном ряду остается одинаковым, то работа по пробивке идет автоматически. Если же число дыр в поперечных рядах меняется, то мастер должен перед пробивкой перестроить штемпеля, согласно имеющегося у него чертежа.

Из приведенного описания работы на этих прессах видно, что работа на них значительно механизирована; применение этих прессов дает сокращение работы по изготовлению шаблонов, сокращает расход на переметку материала и сокращает время, расходуемое в одноштемпельных прессах на подводку и установку под штемпель места дыры; но зато работа на этих прессах требует большого внимания со стороны управляющего или прессовщика, который должен обладать высокой квалификацией.

Производительность этих прессов принимается в среднем при 7-часовом рабочем дне в 10 000 дыр при пробивке широкосортного листового материала и в 8 000 дыр при пробивке универсального листового материала и уголков.

Для того чтобы охарактеризовать экономическую сторону применения обработки мостового металла на одноштемпельных и многоштемпельных прессах,

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ниже сопоставлены сметные соображения о стоимости обработки, сделанные в 1928 г. при разработке проекта расширения мостового цеха завода имени Петровского. По данным этого проекта стоимость рабочей силы по обработке одной тонны мостового металла была исчислена:

a) При применении одноштемпельных прессов, с предшествующей ей полной шаблонировкой и переметкой всего материала в . . . . . 8 р. 96 к. за тонну.

b) При применении многоштемпельных прессов с предшествующей необходимой шаблонировкой и автоматической переметкой 6 р. 20 к. за тонну.

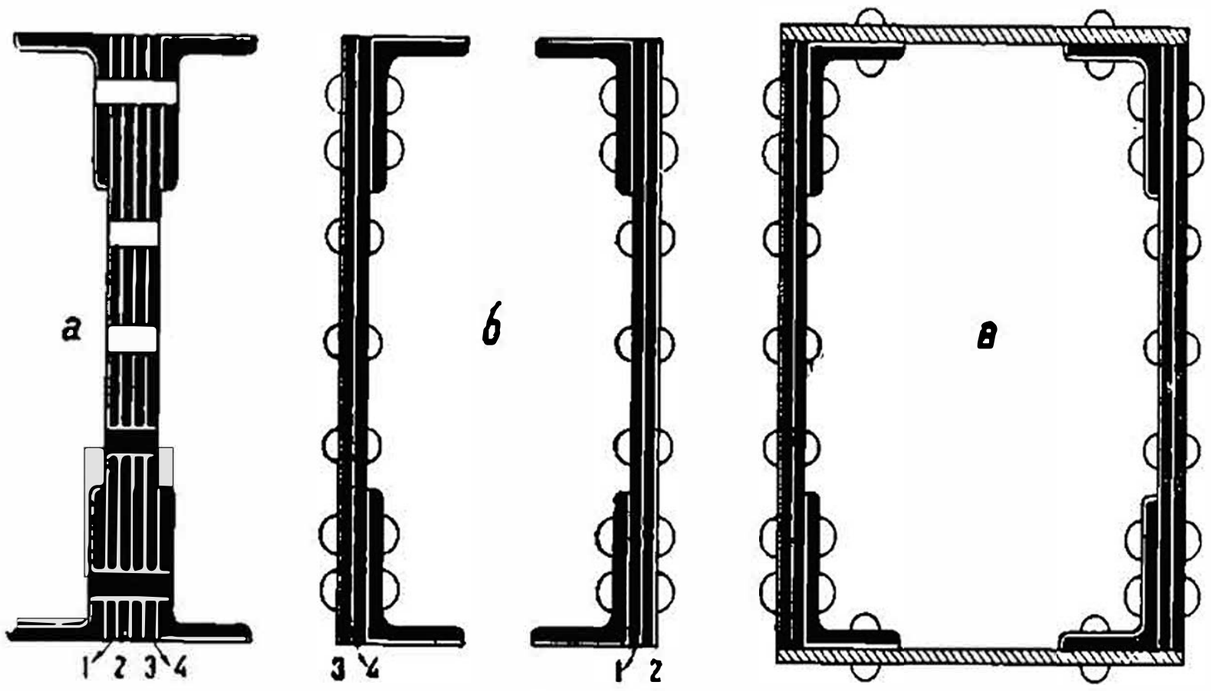


Рис. 31.

Несмотря на широкое применение в Америке пробивки дыр, применение ее не допускается: при толщинах металла более 28 *мм* в литой стали и в стали высокого сопротивления. В виде исключения допускается проколка дыр в никелевой стали с содержанием никеля не менее 3% и в силициевой стали с содержанием углерода менее 0,4% при толщинах не более 20 *мм*.

Сверловка отверстий. На очень многих заводах Западной Европы предварительная пробивка дыр заменена просверливанием; этот прием применялся прежде на Коломенском заводе. Преимущество этого приема по сравнению с пробивкой заключается в технологическом процессе, так как сверление дыры не вызывает внутренних деформаций в металле, которые имеют место при пробивке. В соответствии с этим казалось бы возможным сверлить дыры полного диаметра, однако это не допускается из тех соображений, что все-таки сверло имеет некоторую игру в шпинделе, в котором оно укрепляется, не всегда точно оно идет по центру дыры и т. д. Все эти факторы, вместе взятые, вызывают разбежку дыр по стержню заклепки, что заставляет производить после сборки райберовку дыр; поэтому, как правило, первоначальное сверление дыр производится до диаметра не менее как на 1 *мм* меньшего требуемого по проекту.

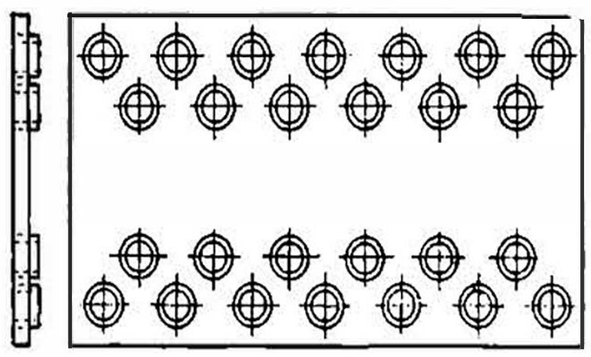


Рис. 32. Шаблон для рассверливания.

Отказаться от последующей райберовки можно только в том случае, если сборка производится отдельными элементами и если все листы и уголки, образующие элемент, сверлятся в одной пачке. На схеме рис. 31 показан порядок такой обработки. Под литерой *а* показана пачка в том виде, как поступает в сверление; под литерами *б* и *в* — порядок последующего приведения пачки в проектный элемент.

Сверление такой пачки производится по заранее выверенному шаблону, который привертывается к пачке струбцинами и после просверловки нескольких дыр в разных местах свертывается с пачкой точеными болтами, препятствующими сдвигу отдельных листов и уголков с шаблона. Целесообразно шаблоны, служащие для такой сверловки, снабжать дополнительными втулками (рис. 32) высотой от 2 до 2,5 *см*, служащими для направления сверла.

Качественное преимущество предварительной сверловки дыр заключается также в том, что если после сборки выявится такая разбежка дыр, при которой часть

НБ УДУНТ (ДІІТ)

поверхности в дырах окажется не подвергнувшейся райберовке, то это не внушает каких-либо опасений, так как материал по окружности просверленной дыры не представляется видоизмененным, что не имеет места в пробитых дырах, в которых материал по периферии дыры должен быть непременно устранен при окончательной рассверловке.

Сама по себе сверловка отдельных дыр обходится дороже, чем пробивка, о чем можно судить по нормам выработки, приведенным ниже.

Нормы (1927 г.) выработки на одном из заводов «Гомзы» в 8-часовой рабочий день по сверлению дыр на приводном станке при одном сверловщике.

Диаметр сверла	Число дыр, просверливаемых в теле толщиной				
	6 *мм*	9 *мм*	12 *мм*	15 *мм*	19 *мм*
5/8″—15,8 *мм* .	824	672	500	425	382
3/4″—19	725	600	450	398	350
7/8″—22,2 .	630	510	400	350	318
1″—25,4	515	430	340	300	286

Из сопоставления этих норм с нормами пробивки на том же заводе, указанными на стр. 28, видно, что количество дыр, получаемое при сверлении, примерно в 4,5 — 5 раз меньше, чем при пробивке, но так как сверлильный станок обслуживается одним сверловщиком, а дыропробивной пресс — прессовщиком и подручным, то можно считать, что сверление дыр обходится примерно в $2^1/_2$ — 3 раза дороже, чем пробивка [1]). Однако это превышение стоимости получения дыр сверловкой может быть снижено применением современных быстроходных станков, производительность которых, как показывает опыт на наших заводах, достигает 1 000 дыр в 7-часовой рабочий день.

Кроме того снижение общей стоимости обработки при сверлении легко достигается применением сверления пакетами, т. е. одновременным сверлением по готовому шаблону пачки толщиной в 4 — 6 листов или даже целых частей конструкций (рис. 31 и 15).

При небольшой толщине листов (< 10 *мм*) шаблоны снабжаются дополнительными втулками (рис. 32) высотой до 2,5 *мм*, служащими для направления хода сверла.

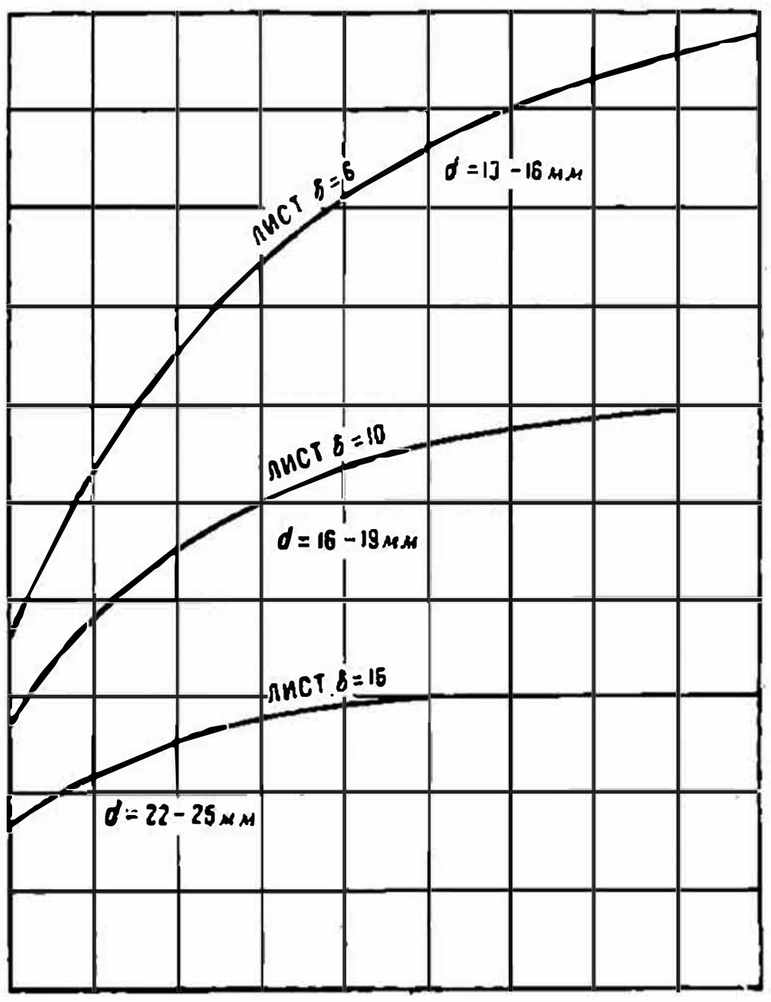


Рис. 33.

---

[1]) При средней производительности дыропробивного пресса в 2 400 дыр и стоимости обслуживания его прессовщиком (VI разряд — 3 р. 52 к.) и подручным (IV разряд — 2 р. 61 к.) стоимость пробивки одной сотни дыр $= \frac{3\text{ р. }52\text{ к.} + 2\text{ р. }61\text{ к.}}{2\,400 : 100} = 25{,}5$ к.

При средней производительности сверлильного станка 550 дыр и обслуживании его одним сверловщиком (VII разряд — 4 р.) стоимость сверловки одной сотни $= \frac{4\text{ р. }00\text{ к.}}{5{,}5} = 74$ коп.

НБ УДУНТ (ДІПТ)

При таком производстве сверления значительно снижаются расходы по переметке материала и повышается производительность самих станков.

Например число тело-дыр, получавшихся при сверлении пачками в течение 8-часового рабочего дня, при разных толщинах пакетов, но при одном и том же диаметре сверла, характеризовался следующими данными:

Число толщин в пакете .	1×12	2×12	3×12	4×12	*мм*
Число тело-дыр d=22 *мм* .	400	544	572	588	шт.
» » » d=25 »	340	460	495	508	»

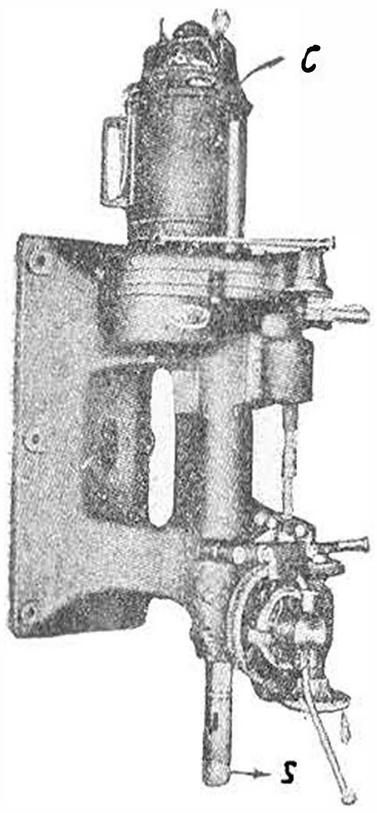


Рис. 34. Стенной сверлильный станок. *s*—шпиндель, *c*—мотор.

Из сопоставления этих данных вытекает, что сверление пачками толщиной более 5 толщин уже не является рентабельным.

Это подтверждается и графиком, показанным на рис. 33, из которого видно, что при некоторой толщине пачки число просверливаемых листо-дыр становится постоянным; следовательно производительность станка не повышается, манипуляция же с тяжелой пачкой затруднительнее, а потому стоимость работы должна уже повышаться.

Дальнейшее снижение себестоимости при этом способе обработки получается при окончательной рассверловке дыр после сборки, которая при предварительной сверловке дыр делается на толщину 1—2 *мм*, а при предварительной пробивке дыр — на толщину 4 *мм*.

Ниже приведены сметные соображения по этим двум видам обработки, сделанные при составлении в 1928 г. проекта расширения мостового цеха завода имени Петровского.

Стоимость работы на 1 *т* металла

	Пробивка	Сверление	Рассверл.	Всего
1) При предварительной пробивке с последующей рассверловкой на 4 *мм* . .	1 р. 24 к.	0 р. 44 к.	1 р. 12 к.	2 р. 80 к.
2) При предварительной сверловке с разверткой на 2 *мм* . .	—	2 р. 00 к.	0 р. 92 к.	2 р. 93 к.

из чего следует, что разница в смысле производства работ сводится к незначительной величине. Стоимость сверления еще несколько повысится за счет стоимости самого инструмента, т. е. стоимости сверл по сравнению со стоимостью штемпелей, но и это повышение стоимости не будет значительно.

Из всего изложенного следует сделать вывод, что если даже переход на обработку сверлением дыр вызовет некоторое повышение стоимости обработки, все-таки ему следует отдать предпочтение как обеспечивающему лучшую продукцию, что особенно важно при условии применения в мостах стали повышенного сопротивления.

К числу недостатков работы по сверлению дыр надо отнести образование заусениц с нижней стороны просверливаемой дыры в каждом листе и уголке, которые мешают плотному прилеганию элементов, а потому по окончании сверловки дыры следует очищать от заусениц.

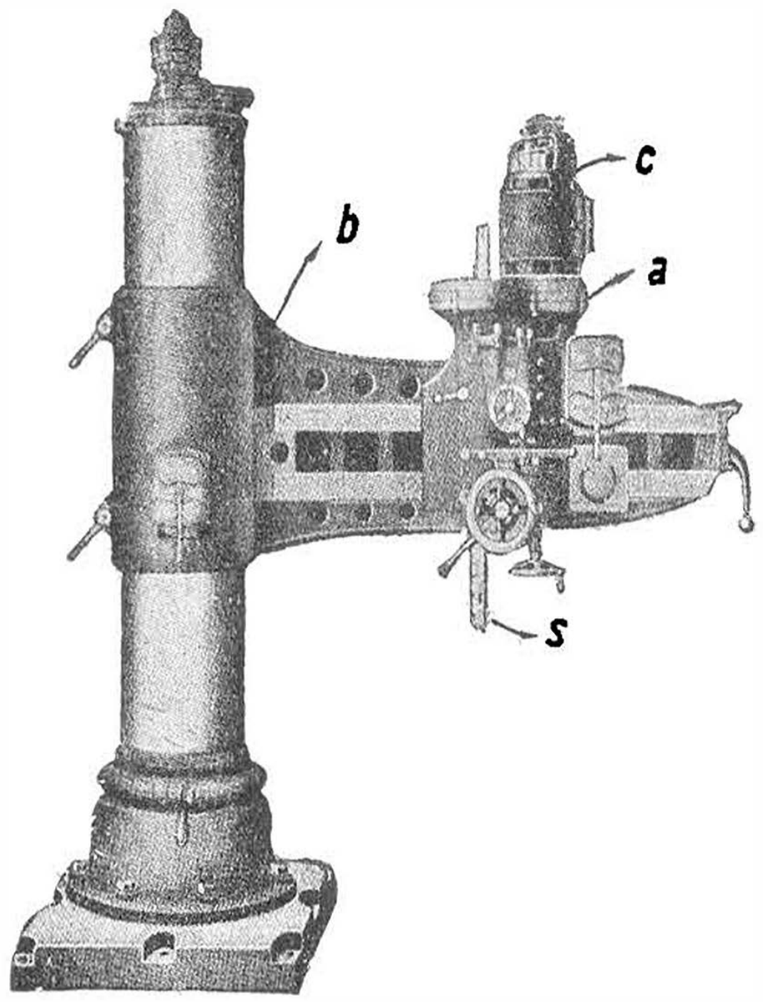


Рис. 35. Радиальный сверлильный станок. *b* — вращающаяся станина, *a* — станок, передвигающийся в ней, *c* — мотор, *s* — шпиндель для сверла

НБ УДУНТ (ДІІТ)

На рис. 34, 35 и 36 показаны современные типы сверлильных одношпиндельных станков. На рис. 37 показана схема четырехшпиндельного копировального сверлильного станка; на нем имеются четыре рабочих сверла и одно холостое; при производстве работы они устанавливаются неподвижно одно относительного другого, вследствие чего перестановка холостого шпинделя вызывает такое же точное перемещение остальных рабочих шпинделей; холостой шпиндель устанавливается по дырам шаблона; установленные же по нему рабочие шпинделя производят сверловку дыр в металле, уложенном под ними и передвигающемся на каретках, связанных с кареткой, на которой двигается шаблон.

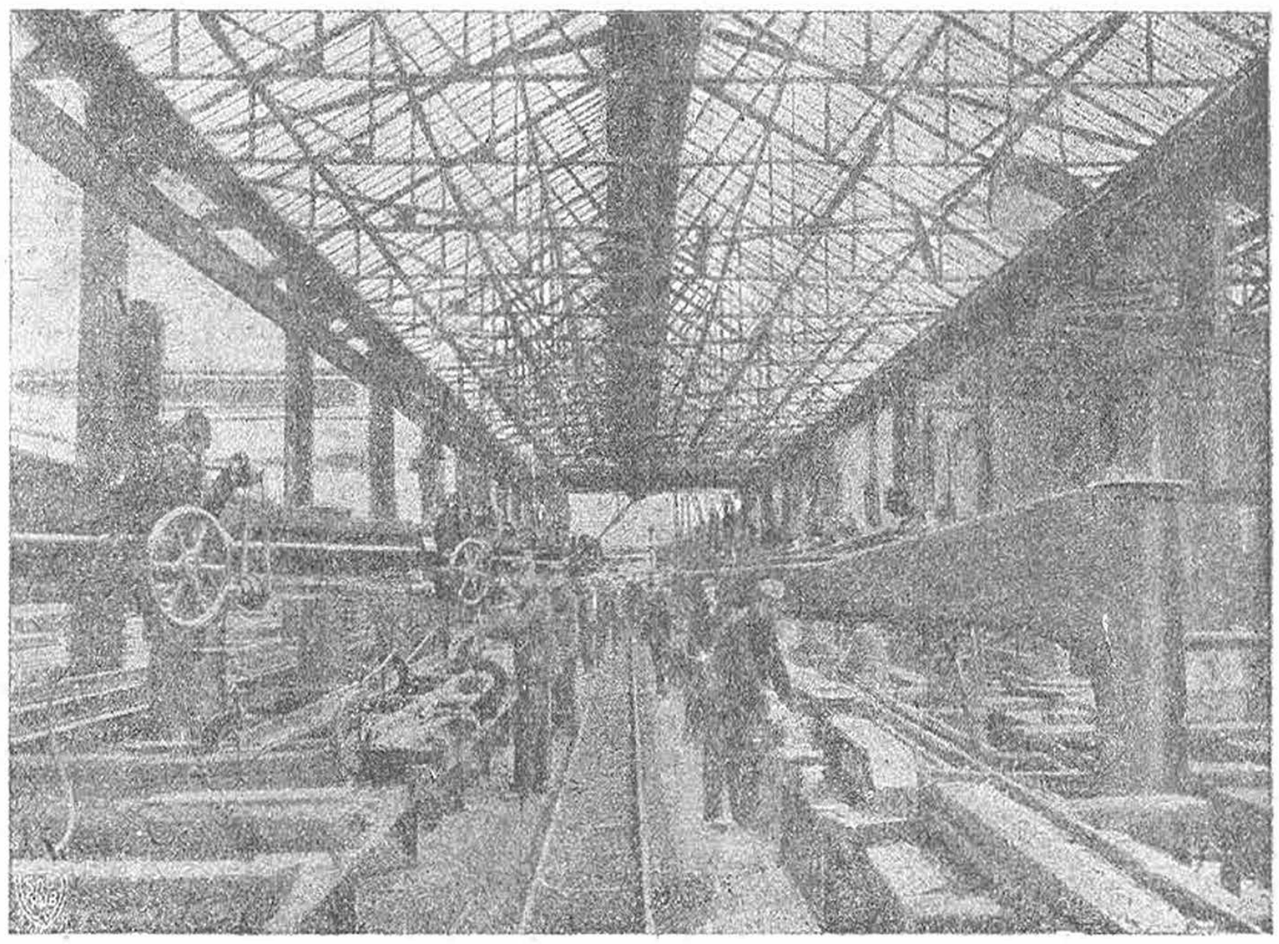


Рис. 36. Отделение сверлильных станков на заводе Вил. Ароля.

При необходимости образования дыр с диаметром, большим 70 *мм*, что имеет место в болтовых узлах конструкции и опорных закреплениях, приходится пользоваться или резцами, обрезающими дыру по ее периметру, или автогенной и электрической резками. Последний способ быстрее и удобопримените́льнее по своей портативности, но при применении его надо делать дыру не менее как на 6 *мм* меньше в диаметре, что необходимо для устранения путем последующей рассверловки части материала, поврежденного выжиганием.

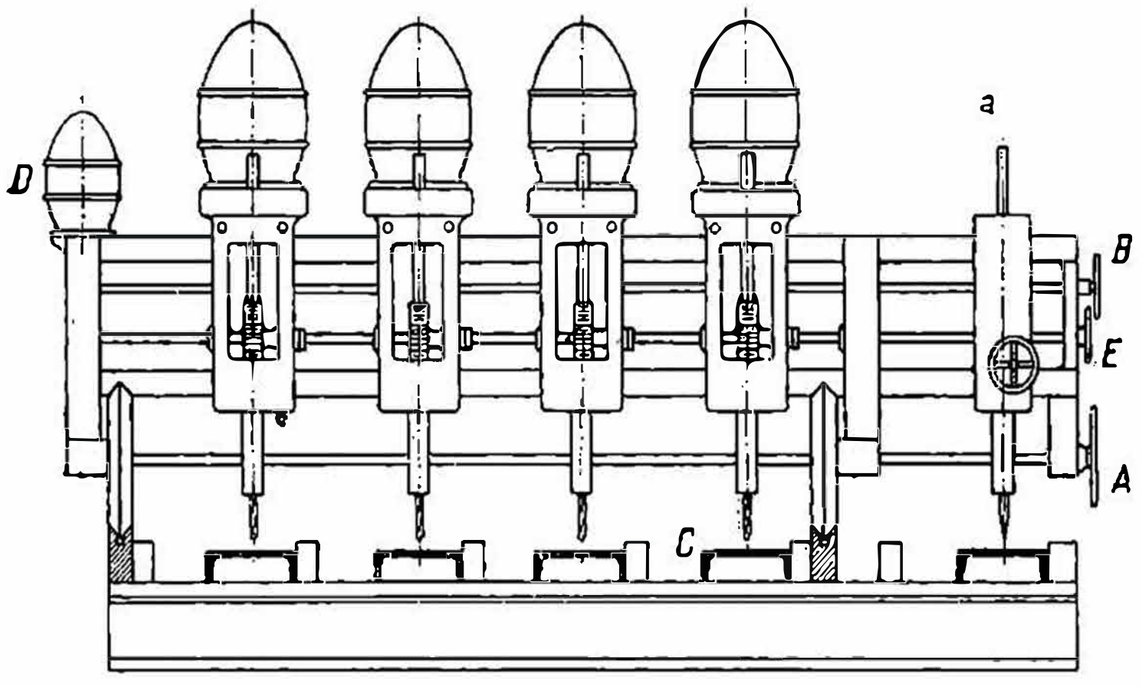
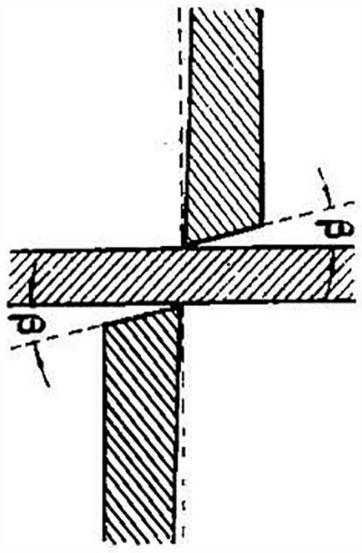


Рис. 37. Копировально-сверлильный станок.

§ 6. Обрезка и строжка кромок. Придание металлу, идущему на изготовление мостов и конструкций, определенных размеров и очертания, достигается двойным путем: или путем резки, т. е. отделения сразу больших кусков, или путем строжки, т. е. отделения мелких стружек.

Р е з к а. До последнего времени наибольшее распространение имела резка металла ножами. Процесс резки



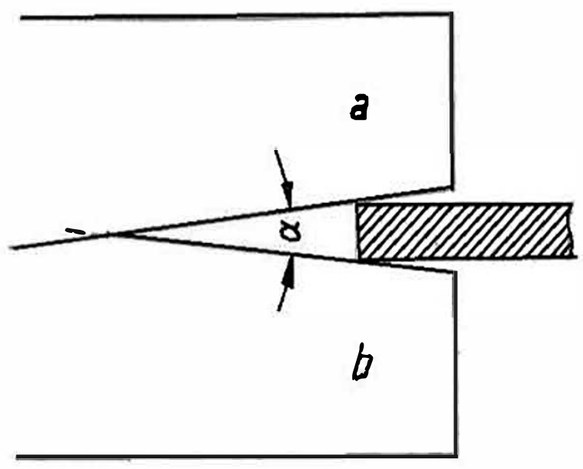


Рис. 38

НБ УДУНТ (ДІІТ)

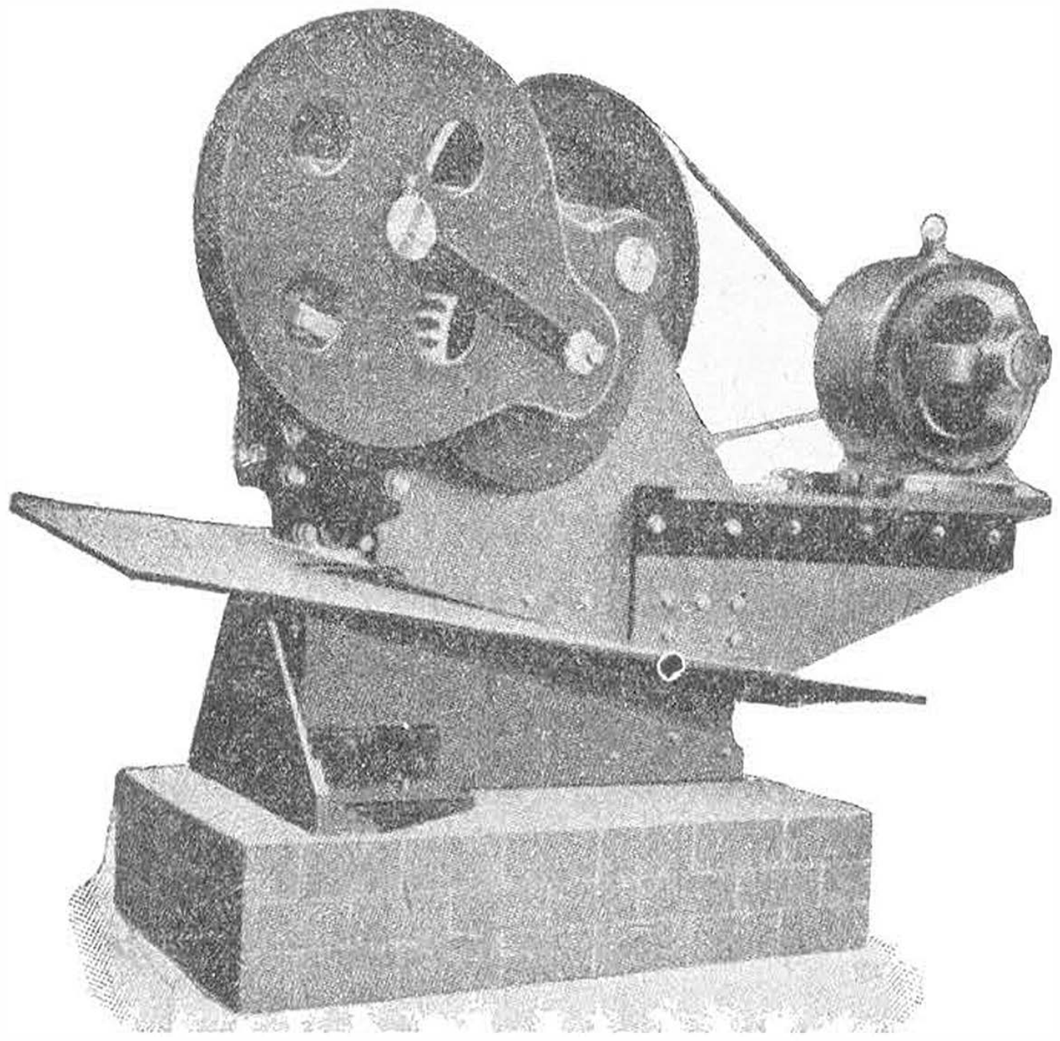


Рис. 39. Ножницы для резки листового металла (твердость по Роквелу).

заключается в том, что перерезаемая часть кладется между двумя пластинками *a* и *b* из твердой стали, направленными перпендикулярно к перерезаемой части (рис. 38); нижняя пластинка обычно закреплена неподвижно в станине машины, верхняя имеет движение, скользя одной своей плоскостью по плоскости нижней неподвижной пластинки. Верхняя пластинка ножа нажимает на подложенный под нее металл и отделяет одну часть его от другой. Толщина и форма режущих пластинок изменяются в зависимости от толщины и формы перерезываемого металла. Обычно угол створа ножей α делается $10-12^{\circ}$, угол заострения ножей β — около $5-8^{\circ}$ зазор между плоскостями ножей — не более 0,5 *мм*. Резка происходит правильно только при достаточно быстром ходе ножей, который должен быть не менее 0,025 *м* в секунду.

На рис. 39 показан тип пресса-ножа, допускающего резку листового материала любой ширины и длины. Средняя производительность такого ножа 100 — 120 *м* в час.

Современная конструкция ножей, применяемая для резки металла, настолько разработана, что допускает не только резку листового железа по прямым линиям, но и резку фасонного материала любых профилей (рис. 40). На рис. 41, как пример, показаны схемы ножей для резки зетового и таврового профиля. На рис. 42 показана схема ножей для резки листового материала по кривым очертаниям. Этот тип ножа состоит из двух наклонных вращающихся дисков, из которых верхний имеет также поступательное движение относительно нажима и этим производит обрезку листа, который передвигается между дисками так, чтобы верхний диск катился по требуемому контуру.

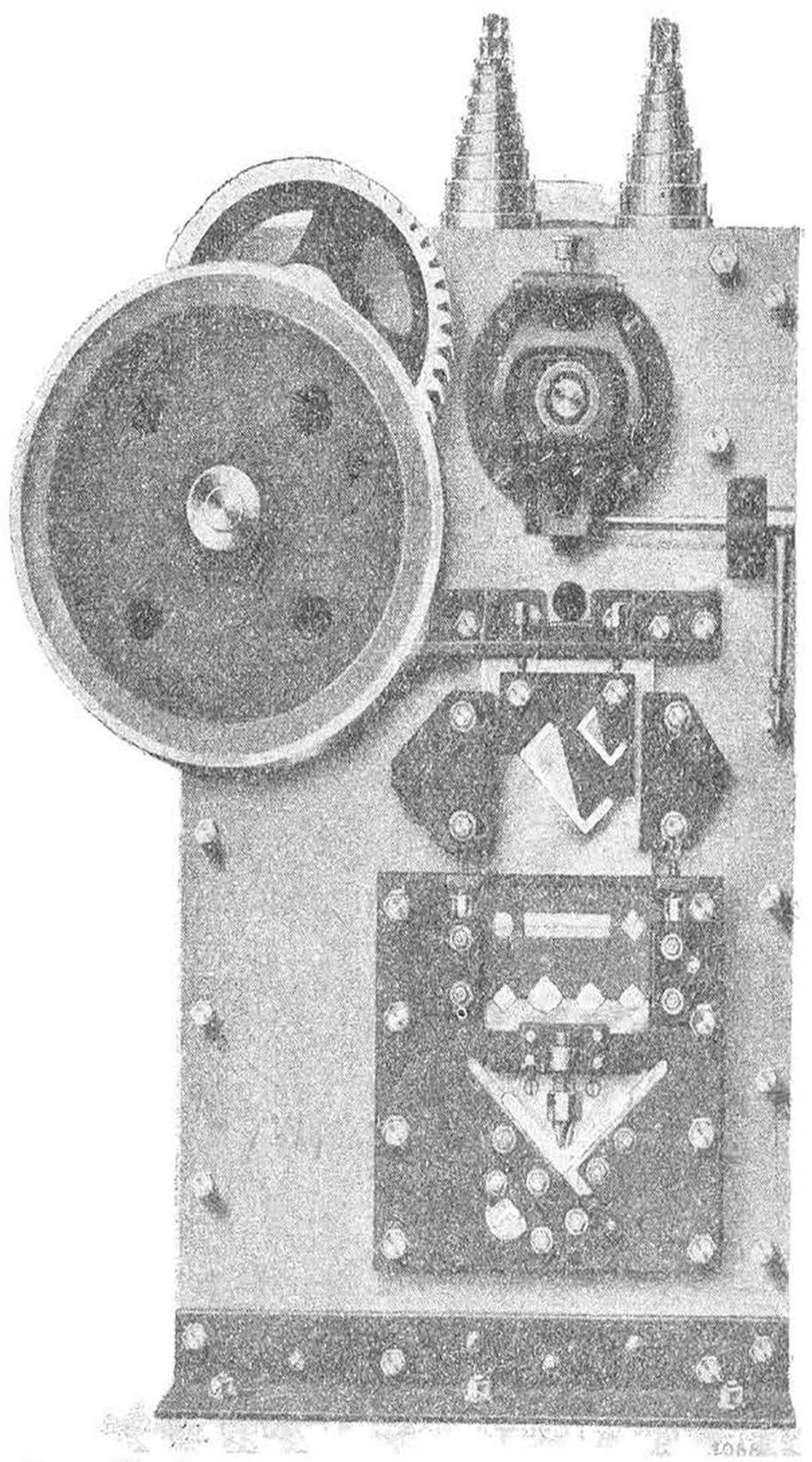


Рис. 40. Станок с ножницами для резки фасонного металла разных профилей.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Для получения более сложных вырезов, особенно в фасонных профилях, нажимные ножи заменяются ударными, которые рядом последовательных ударов производят требуемые высечки (рис. 43 и 44).

Обрезка металла ножами вызывает в нем те же явления, как и пробивка дыр. Металл с поверхности, у места разреза, сначала сминается под давлением ножей, а потом в нем происходят сдвиги, которые вызывают пластические деформации прилегающего материала,

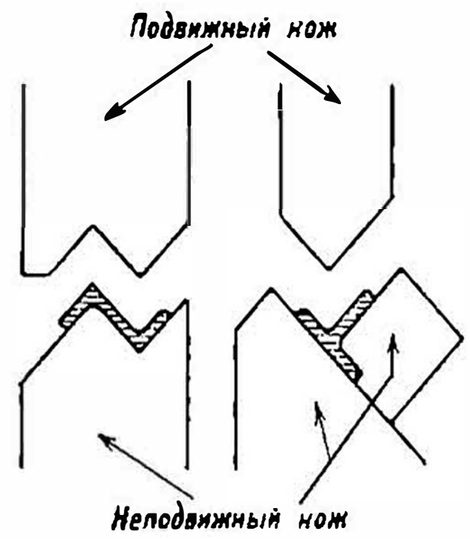


Рис. 41.

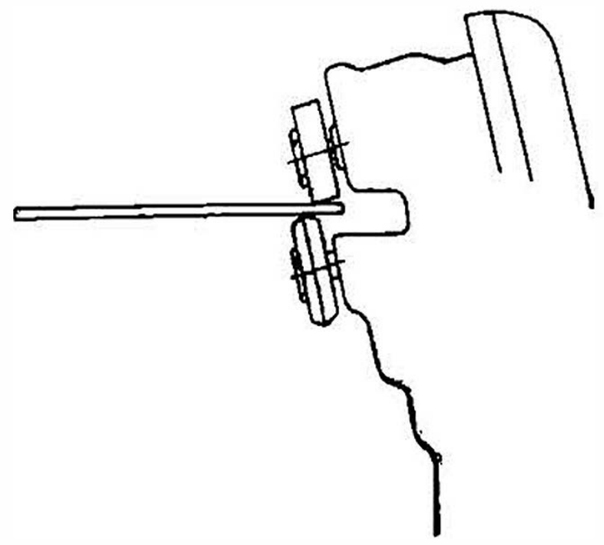


Рис. 42.

На рис. 45 показана микрофотография части металла (сталь 3) у места обреза ее ножом, где ясно видны сдвиги кристаллов, распространяющиеся на глубину до 0,5 *мм*. Распространение этих деформаций в толщу материала увеличивается с увеличением толщины перерезаемого материала. Этот поврежденный материал, расположенный вдоль линии обреза, должен быть устранен или путем сострогивания его, или обрубкой зубилом на глубину не менее 1 *мм*. Так как после сострогивания кромок ширина и длина отдельных частей не должна быть менее проектной, то при обрезке кромок наблюдают за тем, чтобы между резкой разметки и линией резки имелся надлежащий запас на производство требуемой строжки.

Иногда для резки фасонных профилей, особенно таких, как двутавровые балки, швеллера и пр., применяются пилы (рис. 46), производящие это перерезывание в холодном состоянии

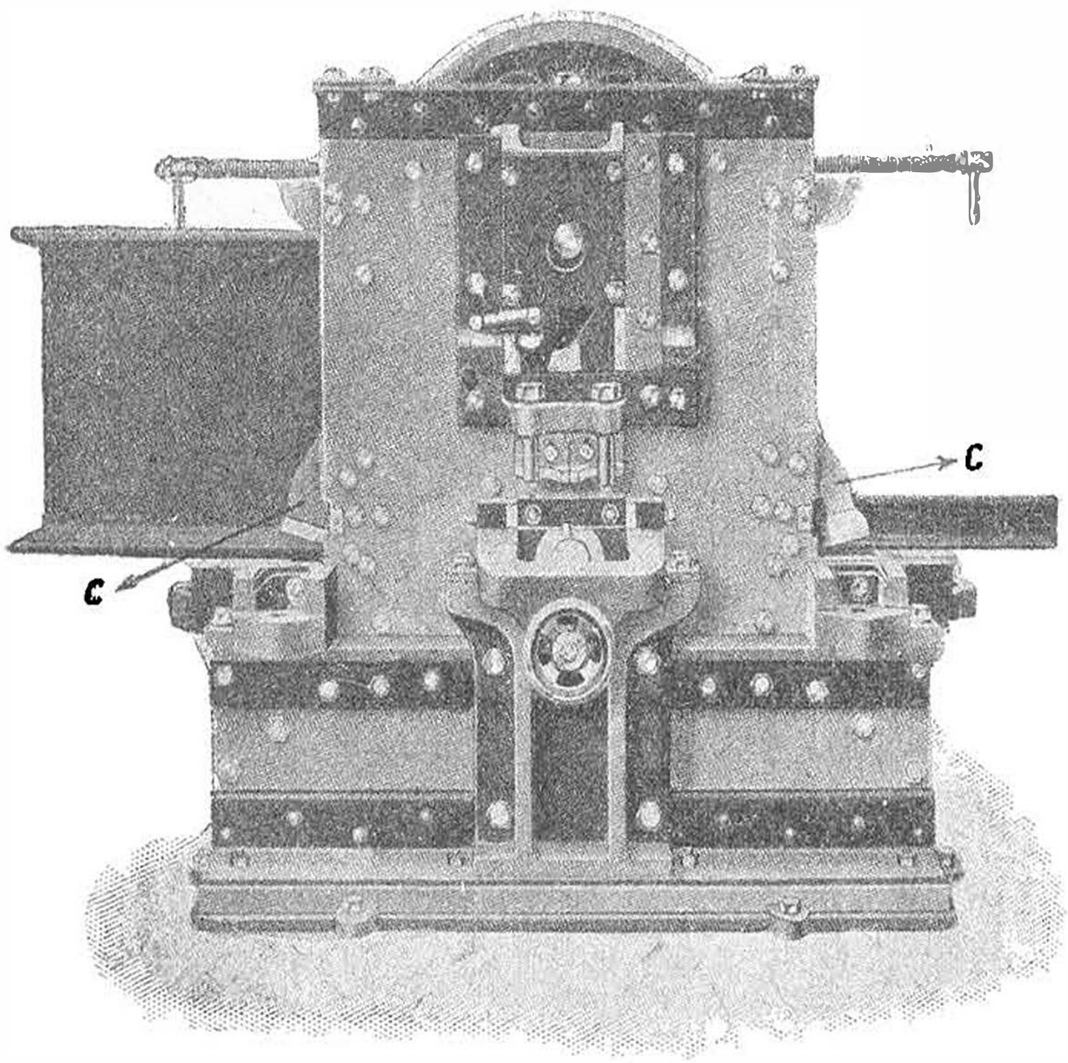


Рис. 43. Вырубовой станок.

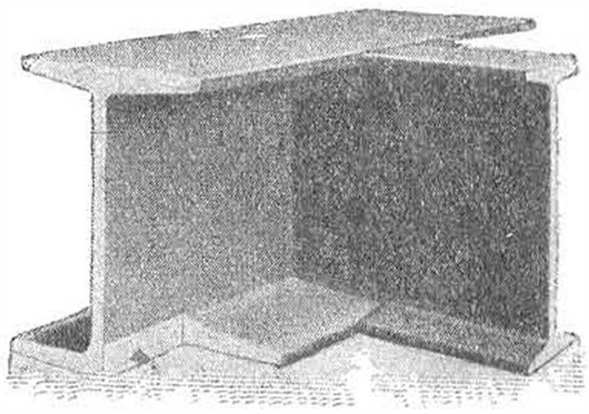


Рис. 44.

Хотя работой пил, как отделяющих стружку, не нарушается структура прилегающего материала, что позволяет не производить последующую строжку кромок, но работа пилами значительно медленнее резки ножами; скорость резки ими зависит от диаметра пилы и скорости ее вращения.

За границей пилы иногда заменяются быстровращающимися дисками, скорость вращения которых доводится до 2 500 оборотов в минуту. Эти диски делаются диаметром от 1 до 1,5 *м*, толщиной в 6 — 9 *мм* и перерезывают двутавровую балку № 38 в течение 9 минут.

Как диски, так и пилы требуют более тщательного ухода и дороже в изготовлении,

НБ УДУНТ (ДІІТ)

чем ножи; поэтому вполне естественно, что заменяются фасонными и вырубовыми ножами.

В настоящее время не только резку пилой, но и резку ножами начинают заменять резкой автогеном.

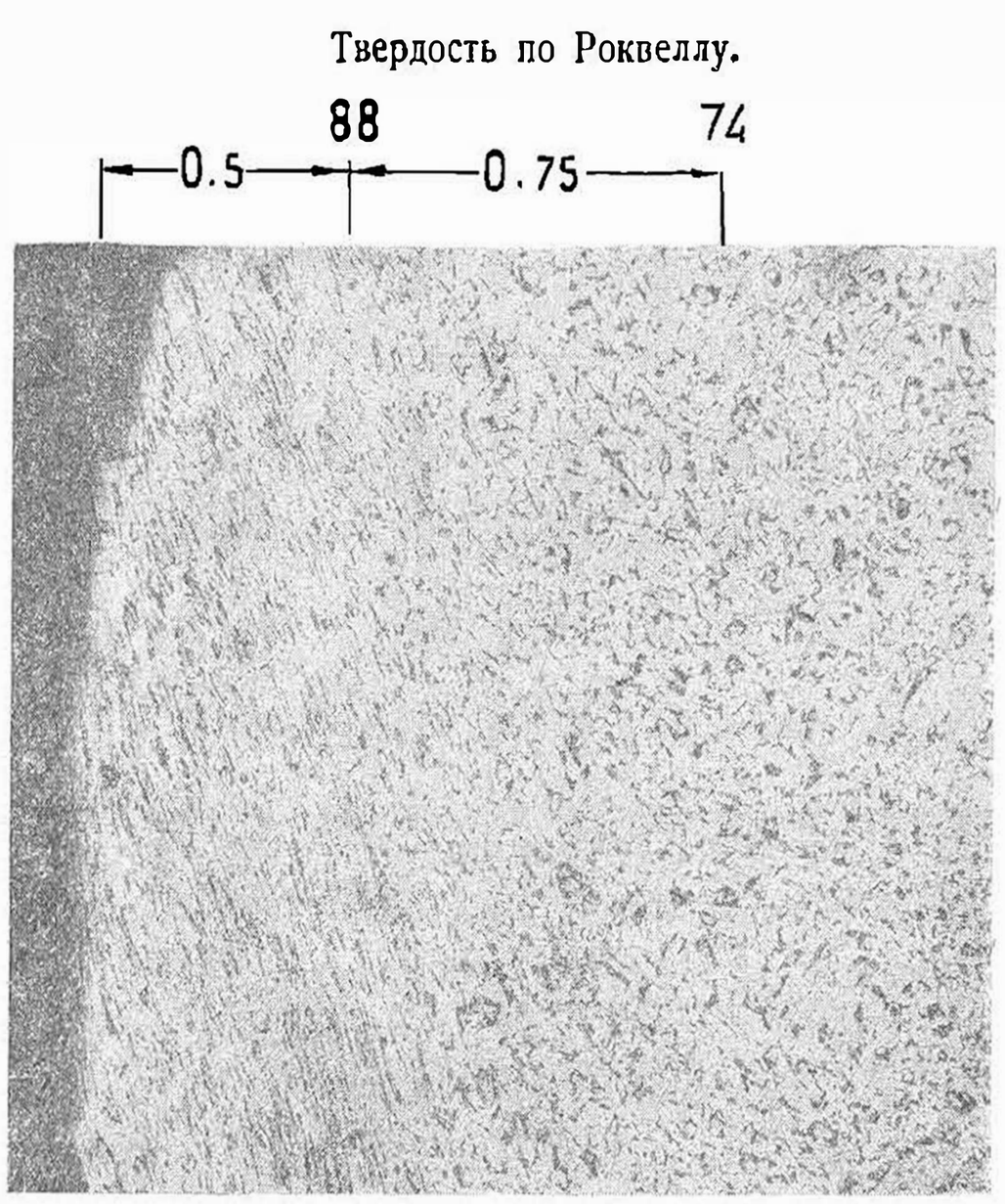


Рис. 45. Микроструктура около обрезанной кромки лица.

Этот способ заключается в разрезке стали пламенем горящей в особой горелке смеси ацетилена и кислорода. Температура пламени, получаемая при сгорании ацетилена, достигает 2 400° и регулируется введением большего или меньшего количества кислорода. Кислород вводится под давлением в среднем около 3,5 атмосфер; при этом давлении пламя имеет фиолетовый цвет. Введение избыточного количества кислорода вызывает усиленное окисление металла, характеризующееся отбрасыванием звездочек и сопровождающееся пережогом ближайшего к месту резки металла.

На рис. 47 показана микрофотография стали 3 у места разреза ее автогеном; на этой фотографии резко видны 3 слоя: ближайший к месту резки, распространяющийся на глубину примерно 0,3 — 0,4 *мм*, слой со смешанной структурой сплава, далее крупнокристаллическая структура, распространяющаяся на глубину — 1,4 — 1,6 *мм*, и наконец нормальная мелкозернистая структура.

Развитие толщины второго слоя зависит от толщины пережигаемого материала: в более толстом материале этот слой получает большую толщину. Нужно отметить, что при правильном комбинировании количества ацетилена и кислорода этот слой уменьшается.

Исследование твердости металла у места резки показывает, что она чувствительно изменяется примерно на глубину 2—2,5 *мм*.

Вся эта поврежденная часть материала устраняется последующей острожкой или обрубкой зубилом на глубину не менее 3 *мм*.

При резке автогеном полоса, выжигаемая в металле толщиной от 10 до 20 *мм*, имеет ширину 5—6 *мм*, так что происходящая при этом потеря материала невелика.

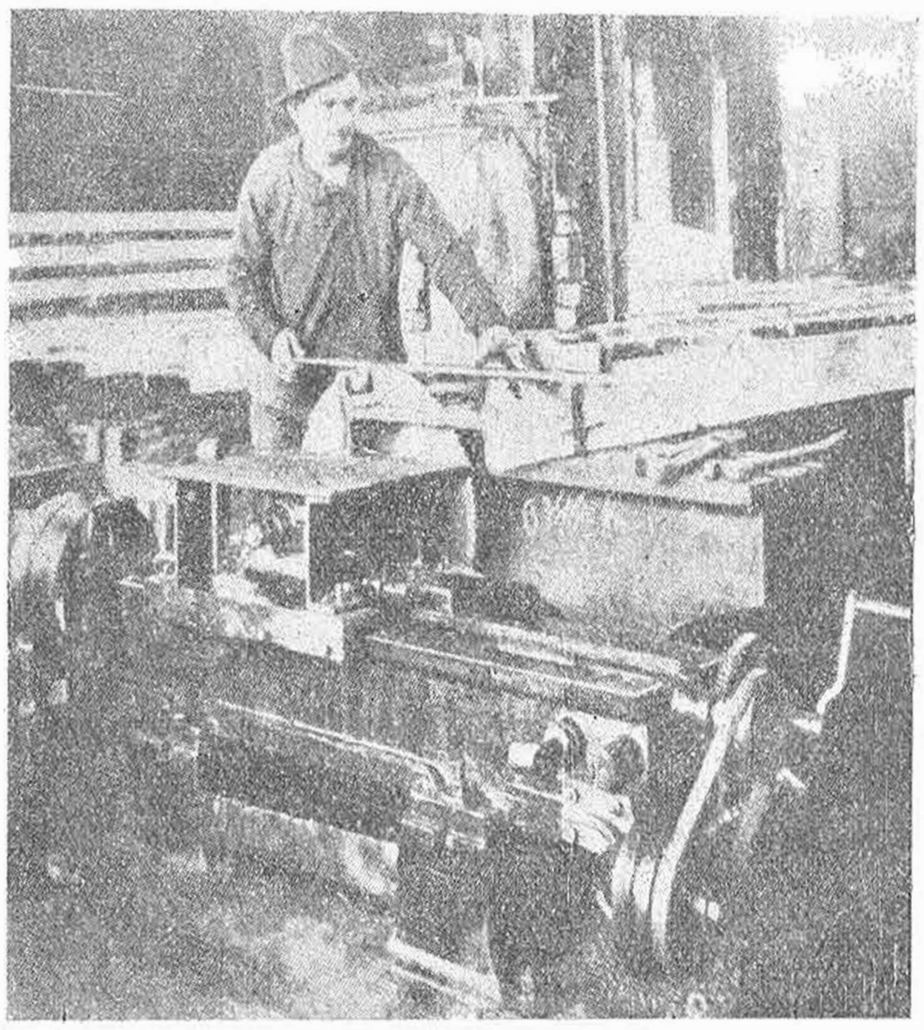


Рис. 46. Пила для резки.

Преимущества этого вида резки заключаются в том, что сам аппарат очень портативен (рис. 48) и легко перемещается, чем снижаются расходы по подаче тяжелых частей, и что им без особых

НБ УДУНТ (ДІІТ)

приспособлений перерезаются любые профили, и контур линии резки для него безразличен (на рис. 49 показана установка для обрезки мостовых листов по кривому шаблону); тот же аппарат легко может быть использован для других видов работ, как то: выжигание отверстий для болтов большого диаметра, рубки заклепок и т. д.

К недостаткам автогенной резки относится образование наплывей по краю резки с нижней стороны, которые мешают свертыванию листов пачками для производства совместной строжки их на станках.

Что касается сравнительной производительности автогенной резки с другими видами резки, то об этом можно судить по следующим данным и нормам выработки, приведенным ниже.

Кусок железа (сталь 3) размерами $45 \times 12\ см^2$ перерезается большой пилой в 30 минут, малой — в 1 час 36 минут и автогеном — в 4 минуты [1]).

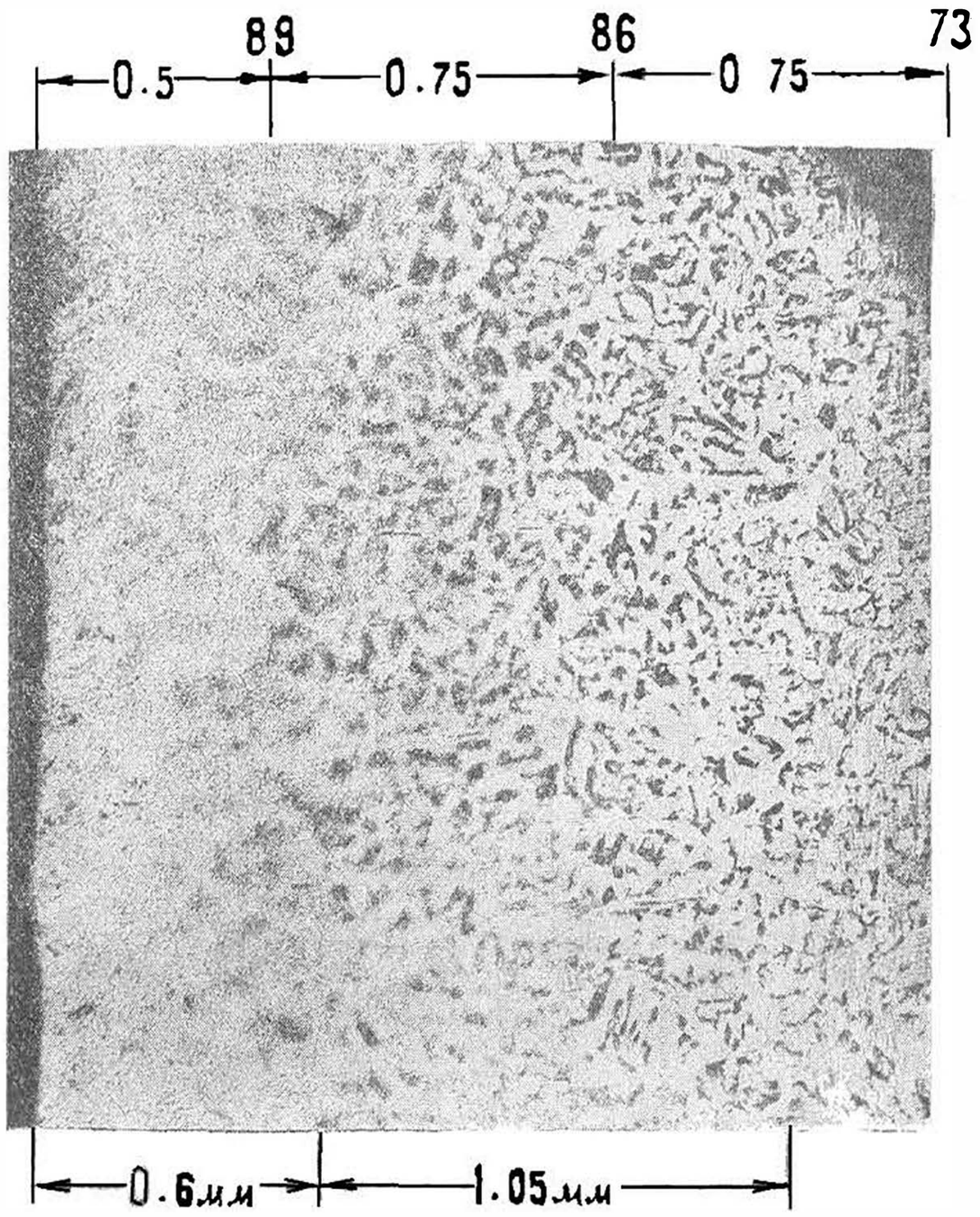


Рис. 47. Микроструктура около кромки, обрезанной автогеном.

Нормы времени в минутах, употребленного на резку одного погонного метра листового металла (сталь 3) по прямой линии, установленные на одном из заводов «Гомзы» (1928 год).

А) при резке ножами, обслуживаемыми резчиком (V разр.) и двумя подручными (IV разр).

Толщина листа в миллиметрах	Площадь листа в кв. метрах					
	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0
от 5 до 10	3,1	3,2	3,5	4,1	4,7	5,3
10 15	4,6	4,8	5,3	6,1	6,9	7,8
15 20	6,2	6,4	7,0	8,1	9,2	10,3

В) при резке автогенным аппаратом, обслуживаемым резчиком (V разр.) и подручным (III разр.), со включением уборки и переноски аппарата после работы.

Толщина листа в миллиметрах	6	8	10	12	14	16	20
Время резки в минутах независимо от площади	6,3	6,6	6,8	7,3	7,7	8,1	8,9

[1]) Dencer, «Detail. a. Fabrikating structural steel», 1924.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Нормы резки угловых профилей (сталь 3) в течение восьмичасового рабочего дня при резчике (V разр.) и подручном (III разр.).

Размеры профиля в миллиметрах	Число резок при длине ⩽5 *м*	
	ножами	автогеном
50×50×6	340	340
75×75×8	240	270
100×100×10	160	220

К стоимости рабочей силы при автогенной резке надо прибавить еще стоимость кислорода и ацетилена или водорода. На рис. 50 показана диаграмма расхода кислорода и водорода в зависимости от толщины резки. В общей сложности стоимость автогенной резки дороже, чем стоимость резки ножами.

По данным инж. Лаврова расход кислорода и ацетилена составляет [1]):

Толщина листа в миллиметрах	Расход газа в килограммах			Время резки в мин.
	кислорода		ацетилена	
	на 1 *м*	при давлен. атмосф.	На 1 *м*	
2	53	1,4	20	4
10	128	2,55	30	4,5
25	208	3,5	42	5

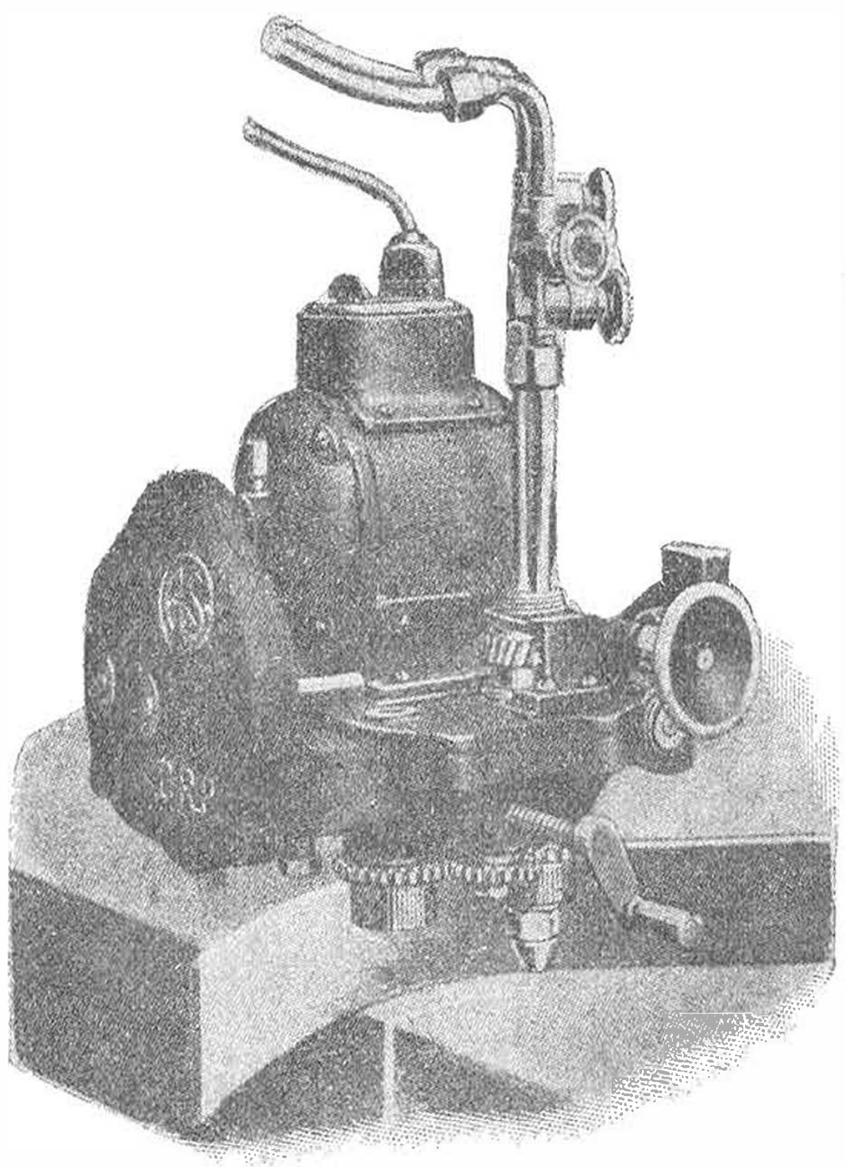


Рис. 48. Станок для автогенной резки.

В общей сложности стоимость автогенной резки дороже стоимости резки ножами.

Строжка кромок. Строжка кромок металла производится на специальных станках, в станинах которых при помощи вертикальных винтов зажимается обрабатываемый лист, отделение стружки производится резцом, закрепленным в суппорте, перемещающемся вдоль станка. На рис. 51 показан кромострогательный станок с двумя суппортами, из которых один служит для строжки долевой стороны листов, другой—для строжки торцевых сторон листа.

[1]) «Сварочный вестник», 1928, № 10.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Производительность кромострогательных станков зависит не только от силы самих станков и скорости движения суппорта, но и от толщины обрабатываемого материала и ширины состругиваемой полосы. Рекомендуется брать при каждом проходе ширину стружки не более 10 *мм*.

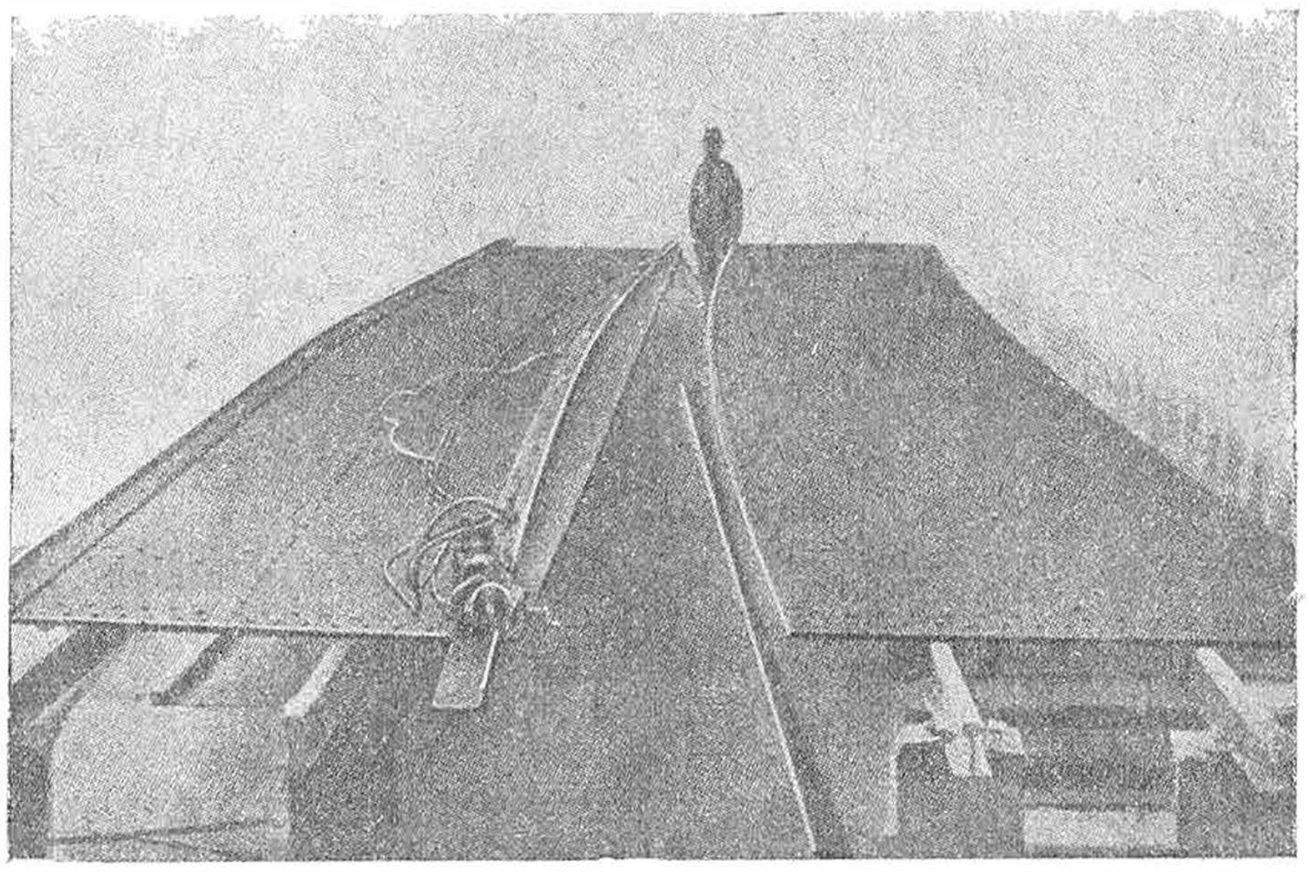


Рис. 49. Резка автогеном по кривой.

По данным заводов Югостали средняя годовая производительность строжки а таких станках считалась 220—240 *пог. м* в течение 8-часового рабочего дня при одном мастере (VI разр.) и одном подручном (III разр.).

По отчетным данным об обработке листового железа для моста через р. Днепр (1923 г.) на строжку 13 090 *пог. м* было затрачено 518 рабочих часов и на строжку 17 231 *пог. м* — 578 рабочих часов, что дает среднюю производительность от 25 до 30 *пог. м* в час.

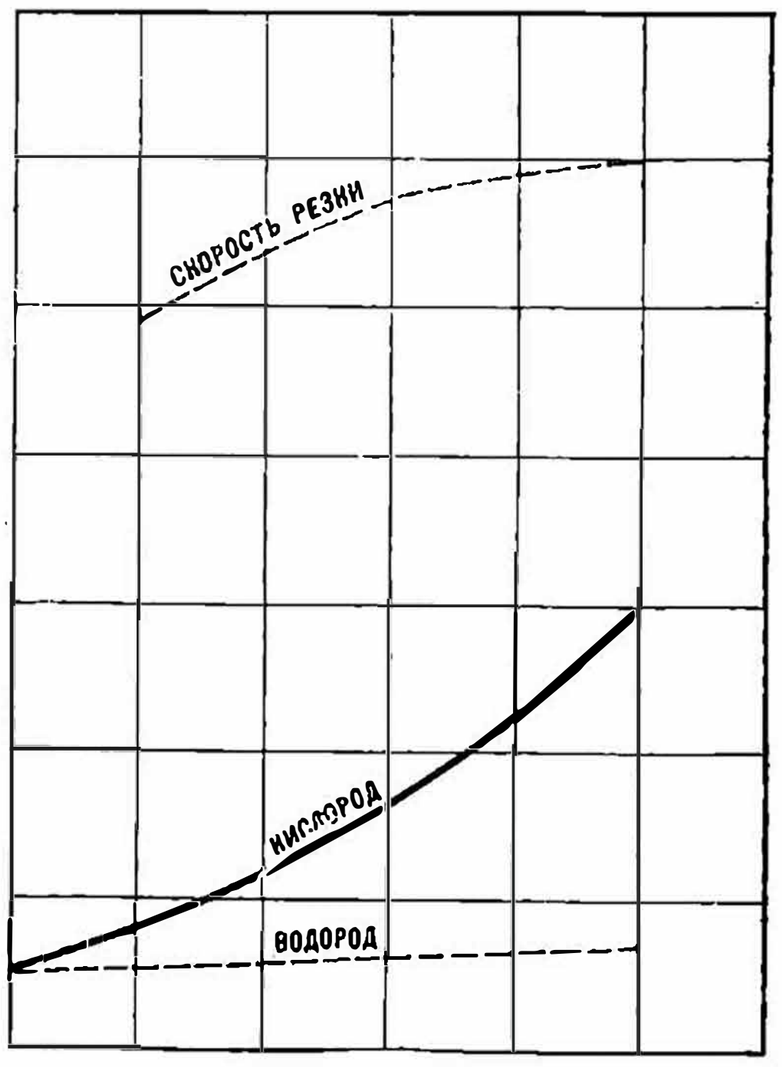


Рис. 50.

Так как строжка кромок представляет одну из дорогих работ по обработке металла, то вполне понятным становится стремление сократить ее, что достигается прежде всего применением возможно более широких листов с катанными кромками (универсальные листы); затем строжка торцевых концов листов заменяется или обрубкой при сборке или фрезеровкой отдельных частей по окончании сборки.

Отсутствие у нас в Союзе достаточно мощных универсальных станков для прокатки широких листов с катанными кромками заставляет пока считать, что при современных конструкциях мостов количество строжки составляет в среднем 40 *пог. м* на одну тонну металла. Можно указать также, что при возможности получения универсальных листов шириной в 1 200 *мм* острожка долевых кромок в проектах современных мостов почти сводится на-нет, останется только строжка кромок узло-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

вых планок и некоторых специальных листов, которую в среднем можно исчислять в 5 *пог. м* на одну тонну металла.

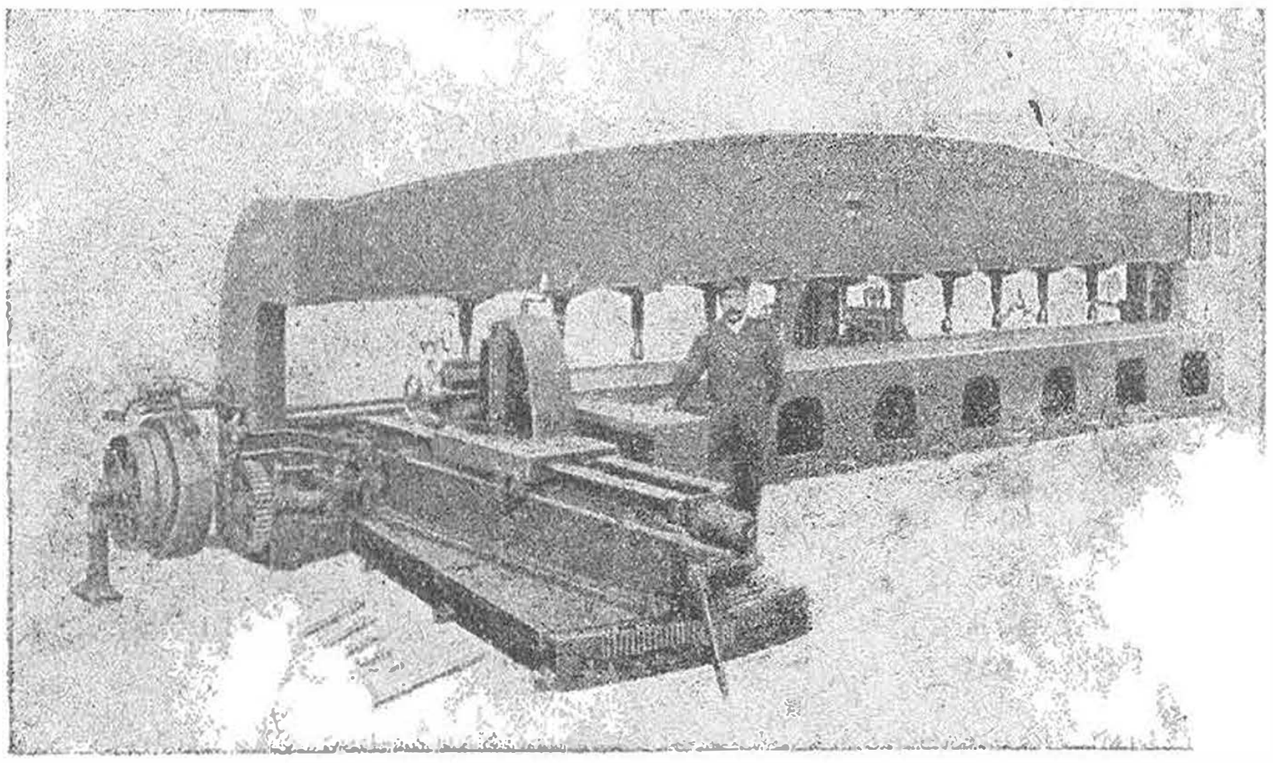


Рис. 51. Двухсторонний строгальный станок для листов.

Обработка кромок мелких рабочих частей конструкций, каковыми являются стыковые планки, накладки и пр., производится или на наждачных кругах или пачками на фрезерных и вертикальных строгальных станках.

Обработка кромок на наждачных кругах отличается достаточной быстротой, но она вызывает быстрый нагрев металла до температуры синего каления, что не следует допускать, а потому должны приниматься меры к охлаждению металла во время обработки.

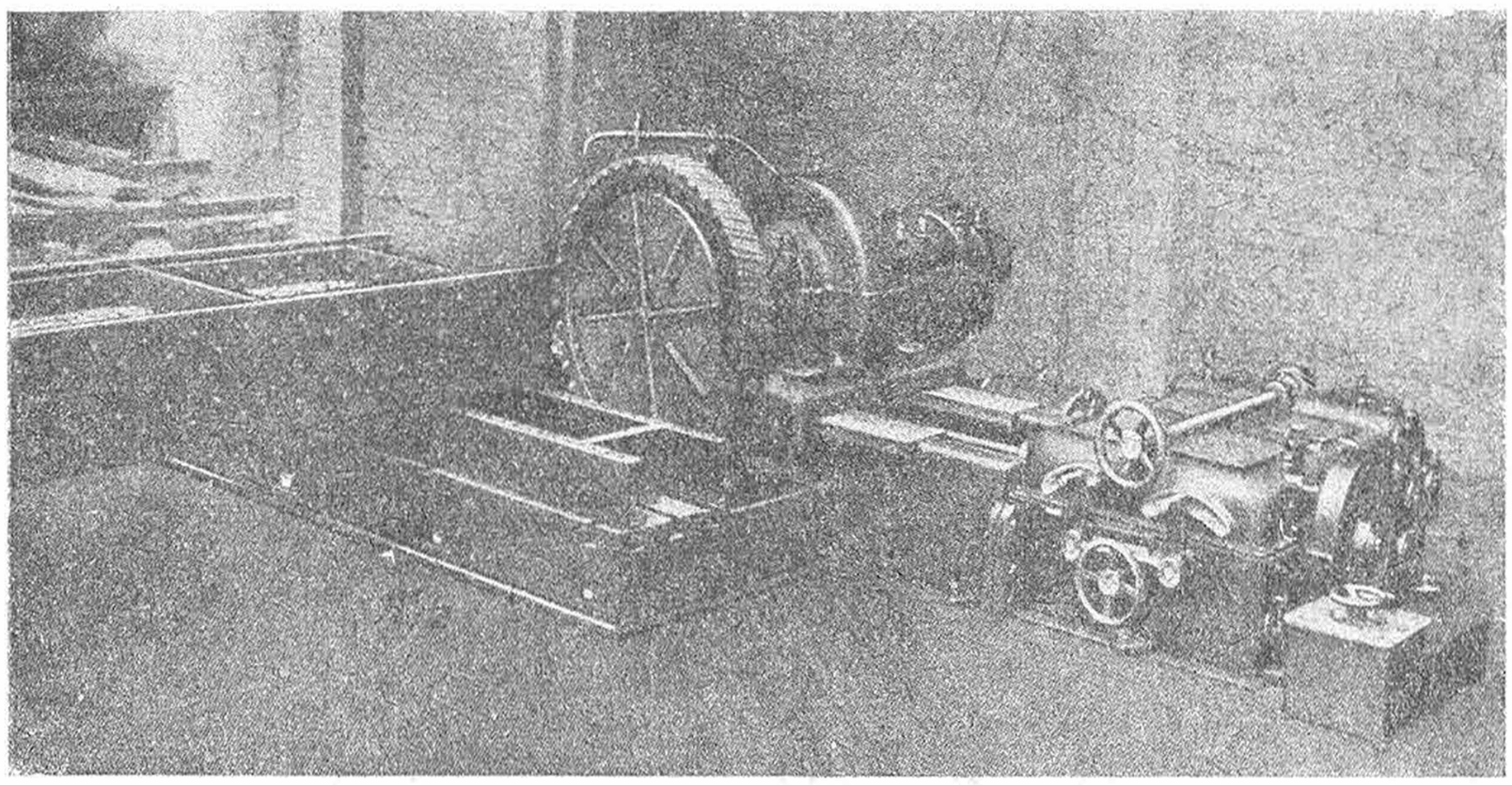


Рис. 52. Фрезерный станок для строжки кромок и торцов.

На рис. 52 показан один из типов патронно-фрезерных станков с резцами или ножами, закрепленными на патроне. Число резцов и ножей в них меняется в зависимости от силы станка. Обычно на таких станках представляется возможным изменять число оборотов в минуту (от 3 до 10) и соответственно скорость резания (от 190 до 520 *мм/сек*).

Кромки нерабочих частей конструкций, как то: прокладки, связевые планки, диафрагмы и пр., могут оставаться неостроганными после обрезки, как не несущие ответственной работы.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

В настоящее время на заводах, изготовляющих конструкции, все большее распространение получает замена строжки рубкой пневматическими молотами. Этот прием обработки кромок особенно удобен тем, что он не связан условием прямолинейности, как строжка, им легко обрабатываются фасонные вырезы и обрезы, кроме того он не связан местом, что сокращает расходы по подаче материала. О производительности его можно судить по приведенным ниже нормам выработки.

Норма в погонных метрах обрубки кромок по прямой линии с последующей зачисткой их пилой, производимая одним рубщиком (V разр.) в течение 8-часового рабочего дня на пневматическом молотке при давлении 6 атмосфер (завод «Гомзы». 1928 год).

Толщина железа в миллиметрах	6	8	10	12	14	16	20
Толщина стружки в миллиметрах	10	10	8	8	7	7	5
При рубке в 1 стружку	400	300	240	192	160	134	96
2	266	200	160	130	109	92	72
3	200	150	120	96	81	62	56

То обстоятельство, что производительность пневматической рубки при толщинах 10—12 *мм* почти совпадает со средней производительностью строгальных станков, объясняется тем, что при работе на строгальных станках много времени уходит на установку и уборку материала.

При обрубке фасонных и криволинейных кромок производительность рубки изменяется не только в зависимости от толщины материала, но и от степени кривизны. Так например при сохранении всех указанных выше условий норма выработки в погонных метрах при обрубке криволинейного очертания по предварительному проколу характеризуется следующими цифрами:

Толщина материала в миллиметрах	10	14
При радиусе кривизны		
от 50 до 125 *мм*	124	87
125 200	141	102
200 300	160	109

§ 7. Изготовление звеньев с проушинами.

Характерную особенность звеньев цепных мостов с болтовыми узлами составляют концевые уширения с проушинами для болтов. В настоящее время применяются два способа изготовления звеньев путем штамповки и путем последовательного вырезывания.

В первом случае стержень своим концом закладывается в специальный штамп, состоящий из трех частей (рис. 53), и путем гидравлического

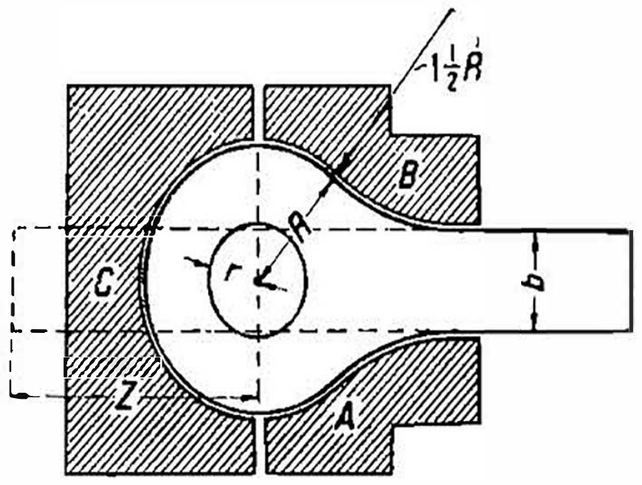


Рис. 53.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

давления после двукратного нагрева обжимается до требуемой формы. Для облегчения посадки уширение в форме имеет несколько большую толщину, чем весь стержень; этот излишек в толщине сглаживается при вторичном нагреве путем вертикального давления. Необходимая для образования проушины длина стержня изменяется в зависимости от основных размеров и определяется путем предварительных опытов.

В табл. 1 приведены данные о длине конца стержня, выработанные и применяемые на заводе «American Bridge C⁰».

ТАБЛИЦА 1.

b мм	*d* min мм	*R* мм	*r* max мм	*z* мм	*b* мм	*d* min мм	*R* мм	*r* max мм	*z* мм
51	16	114	44	254	152	19	343	140	559
—	16	140	70	356	—	25	368	165	711
63	19	140	57	279	178	25	419	184	711
—	19	165	83	356	—	29	444	210	813
76	19	176	76	330	203	25	444	178	686
—	19	203	102	432	—	29	470	203	813
102	19	241	108	457	—	32	495	229	914
—	22	267	133	533	254	29	559	229	889
—	25	292	159	686	—	32	597	267	1 016
127	19	292	127	508	—	35	622	292	1 118
—	25	330	165	686					

При производстве штамповки вследствие неточности обрезки всегда может оказаться излишнее количество материала; поэтому в штампах между шейными частями *A*, *B* и головной частью *C* оставляются щели, в которые выдавливается излишек материала, впоследствии срезаемый изачищаемый.

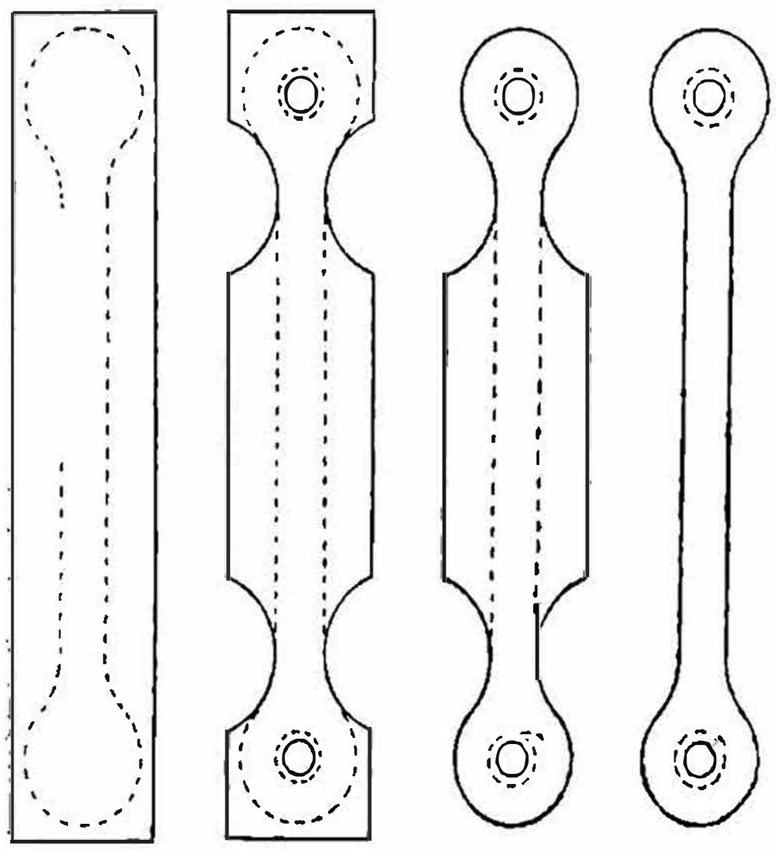


Рис. 54.

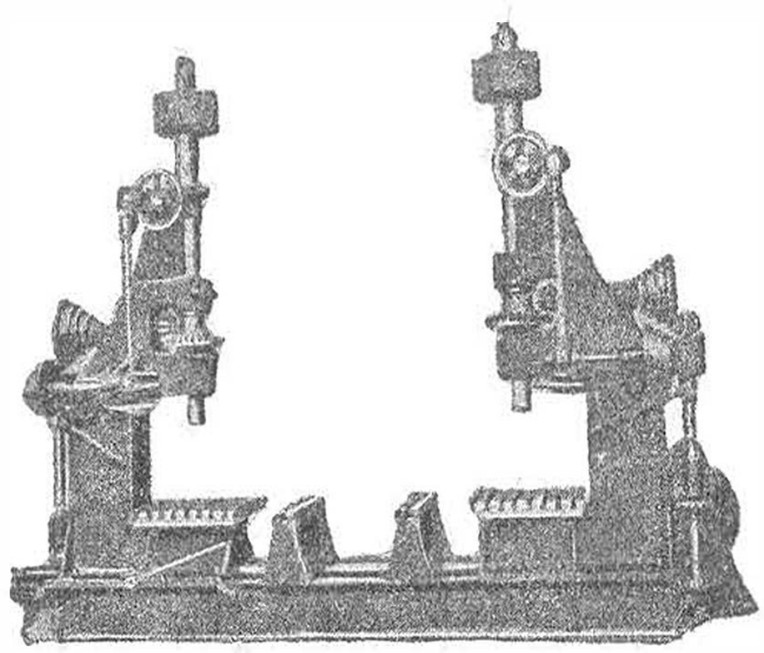


Рис. 55. Станок для рассверливания дыр в проушинах звеньев.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Двойной нагрев стержня по концам делает материал неоднородным; это устраняется путем последующего нагрева всего стержня и медленного охлаждения его в масле.

Второй способ изготовления звеньев путем последовательной обрезки не вызывает повреждений во внутреннем строении материала, но отличается большой потерей его на обрезке. Процесс последовательного вырезания проушин и стержня понятен из рис. 54, где показаны четыре стадии обработки.

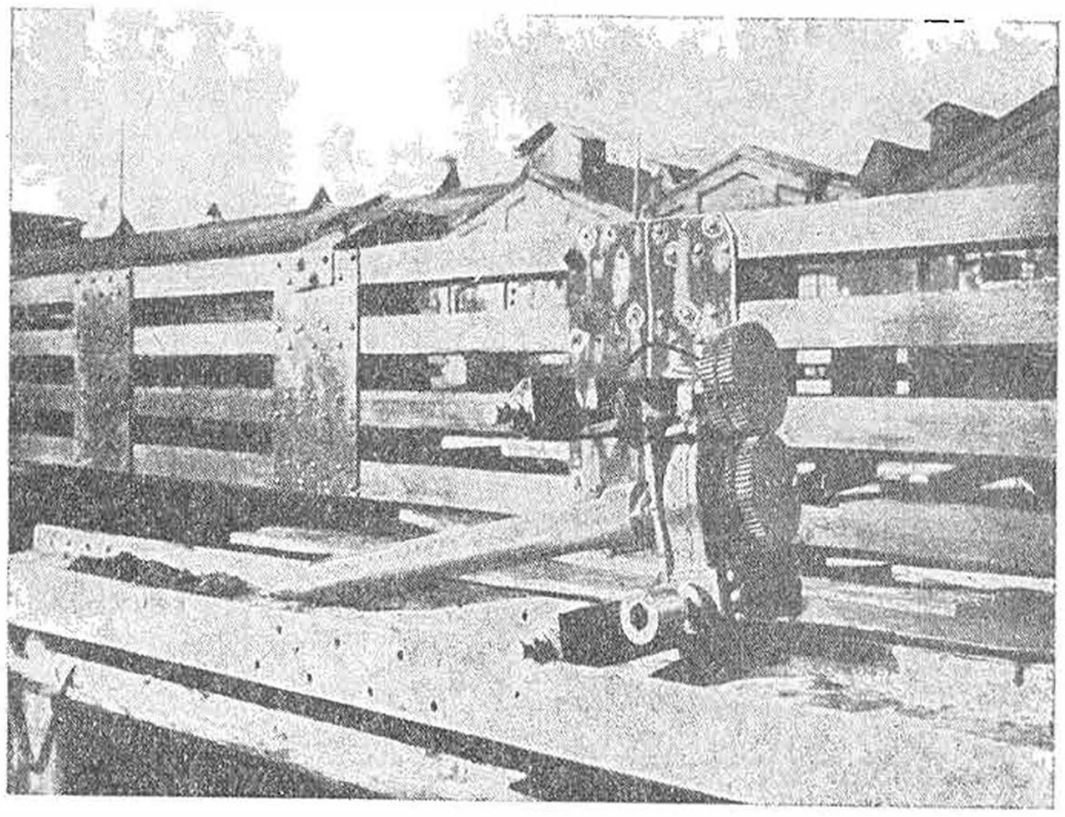


Рис. 56. Бор-станок для рассверливания отверстий узловых болтов (станок в лежачем состоянии).

По окончании обработки проушины в ней делается отверстие для связывающего болта. Эта работа должна выполняться с особой тщательностью, так как всякое уклонение в выполнении дыры вызывает неравномерное натяжение в стержнях одного и того же элемента. Расхождение между центрами дыр в проушинах допускается в Америке не более 1/128″ (0,2 *мм*).

Так как болты в проушинах имеют обычно большой диаметр (больше 60 *мм*), сверление которых на рядовых станках затруднительно и дорого, то для первоначального образования дыры применяется или вырезание его резцами, обрезающими дыру по контуру, или выжигание автогеном. При вырезании первоначальное отверстие дыры делается на 20—25 *мм* меньшим в диаметре против проектного, чем обеспечивается возможность последующей рассверловки дыры при окончательной пригонке всего соединения элемента или узла фермы, которая должна обеспечивать полное и чистое соприкасание болта по длине всего отверстия.

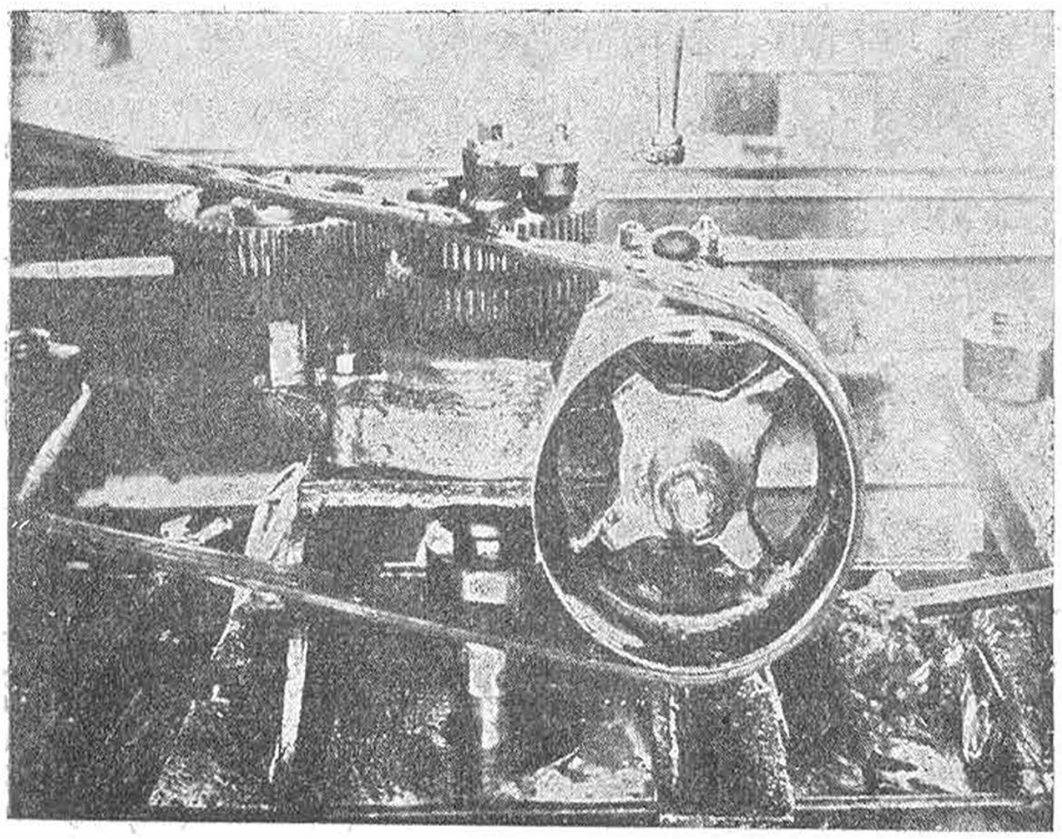


Рис. 57. Бор-станок в рабочем состоянии (рис. 56).

Вырезание первоначального отверстия автогеном превосходит резку резцами быстротой работы. Опасение же, что автогенной резкой нарушается структура части материала, прилегающего к месту резки, не может иметь места, так как при рассверловке на 20 *мм* поврежденная часть материала устраняется.

Ввиду того, что расстояния между центрами отверстий в проушинах должны строго соответствовать проектным, рассверловку их делают на особых станках (рис. 55). Станки эти состоят из особой длинной станины, на которой установлены два сверлильных станка, из которых один (*а*) неподвижный, а другой (*в*) подвижный и может быть точно установлен, обеспечивая определенные расстояния между центрами шпинделя обоих станков.

Отказаться от применения станков такого типа можно только в том случае, если рассверловка болтового отверстия производится в ферме, собранной полностью

НБ УДУНТ (ДІІТ)

на стеллажах. Для обработки дыр таким способом приходится проектировать специальные переносные станки.

Примером станка такого типа может служить станок, применявшийся при обработке болтовых отверстий одного моста у нас, в СССР (рис. 56). Этот станок состоял из винтовой штанги с прямоугольной нарезкой, помещавшейся в направляющем цилиндре и приводившейся во вращательное движение мотором при помощи зубчатых передач (рис. 57); эта штанга своим вращением заставляла скользить вдоль нее шайбу с резцами, которыми производилась постепенная рассверловка дыр до требуемого диаметра.

Опыт работы на этих станках показал, что на установку их требовалось в среднем 3 часа 50 минут, причем колебание времени изменялось от 1 часа до 15 часов. Среднее время, потребное на рассверловку дыры диаметром 130 *мм* и длиной до 936 *мм*, составляло 4 часа 18 минут, причем изменение диаметра до 120 *мм* и изменение длины от 912 до 988 *мм* не отзывалось чувствительно на времени рассверловки. Разбежка диаметра дыры между входным и выходным отверстиями нигде не превосходила 0,15 *мм*. Разница между проектным диаметром отверстия дыры и действительным в большинстве случаев составляла 1,5—2 *мм* и в единичных случаях доходила до 3—3,5 *мм*.

§ 8. Заклепки и болты. Заклепки и болты изготовляются путем штамповки в горячем состоянии на специальных ударных или нажимных прессах.

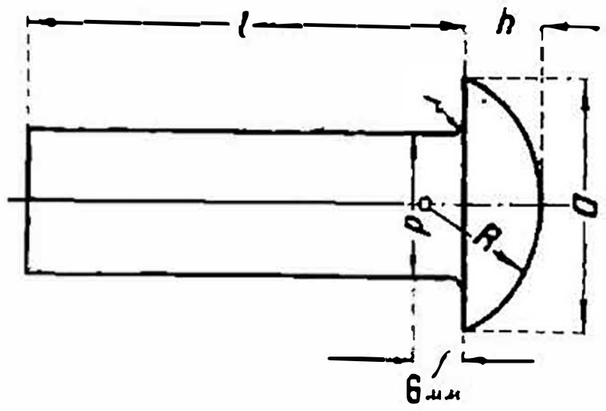


Рис. 58.

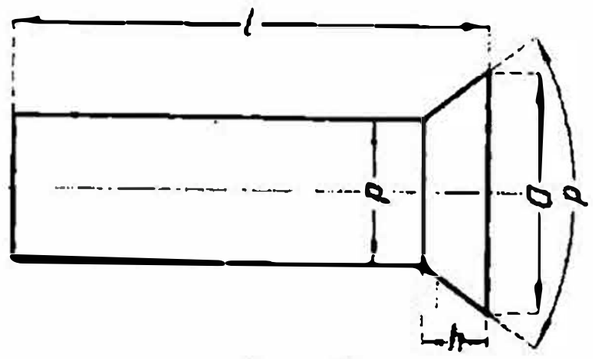


Рис. 59.

Заклепки изготовляются из круглого железа, диаметром несколько меньшим, чем диаметр заклепочного отверстия; это соотношение между диаметрами заклепки и отверстием показано ниже в табл. 2 нормированных размеров. Длина круглого стержня выбирается с таким расчетом, чтобы кроме длины, потребной на склепку определенного числа толщин, имелся запас на образование головок заклепок и на усадку стержня в отверстие (см. стр. 13).

В табл. 2 приведены стандартные размеры заклепок с полукруглой головкой (рис. 58) и потайной головкой (рис. 59).

ТАБЛИЦА 2.

Диаметр отверстия		12	14	17	20	23	26	29	*мм*
Диаметр стержня *d*		11,5	13,5	16,5	19	22	25	28	
Размеры полукруглой головки рис. 58 ОСТ 301	*D*	21	24	29	34	39	44	50	
	h	8	9	10	12	14	16	18	
	R	11	12,5	18	20,5	23	26	29	
		0,5	1	1	1	1	1,5	1,5	
Размеры потайной головки рис. 59 ОСТ 302	*D*	18,5	22	25	30	35	39,5	39,6	
	h	4,6	5,4	7,5	9,5	11	12,5	14	
		75°	75°	60°	60°	60°	60°	45°	

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При большой толщине склепываемых частей, когда заполнение отверстия по всей его длине путем посадки стержня расклепкой с одного конца становится невозможным, следует применять заклепки со специальной конической головкой «заклепки Шуха» (рис. 60). В табл. 3 показаны соотношения размеров этих заклепок в миллиметрах.

ТАБЛИЦА 3.

Диаметр отверстия d	17	20	23	26	29
Диаметр стержня d	16,5	19	22	25	28
Диаметр головки D	29	34	39	44	50
Высота головки h	13	16	19	21	23
Высота округления a	2	3	3	4	4
Длина стержня, необходимая для образования головки	26	30	33	37	39

Болты, употребляемые для соединения частей вместо заклепок, изготовляются из круглого металла, диаметром несколько большим заклепочного отверстия; этот излишек материала необходим для последующей обточки болта, обеспечивающей вполне гладкую поверхность болта и плотное прилегание его по всей поверхности дыры. Допуск в разнице диаметров рассверленной дыры и обточенного болта не должен превосходить 0,2 *мм* для дыр диаметром более 20 *мм*.

Болты, служащие для узловых соединений в фермах, изготовляются и обтачиваются из стальных болванок. Эти болты с обоих концов снабжаются нарезкой и гайками.

Так как вообще по условиям работы конструкций с узловыми болтами крайне важно обеспечивать возможно плотное заполнение болтом всего отверстия, то рекомендуется обтачивать болты по диаметру готовой дыры.

Опыт обработки болтовых соединений у нас, в Союзе, показал полную возможность обеспечения для болтов диаметром 120—130 *мм* разницы между диаметром болта и дыры в 0,3 *мм*. При установке такие болты, смазанные чистым маслом, сравнительно легко входили в соответствующие отверстия.

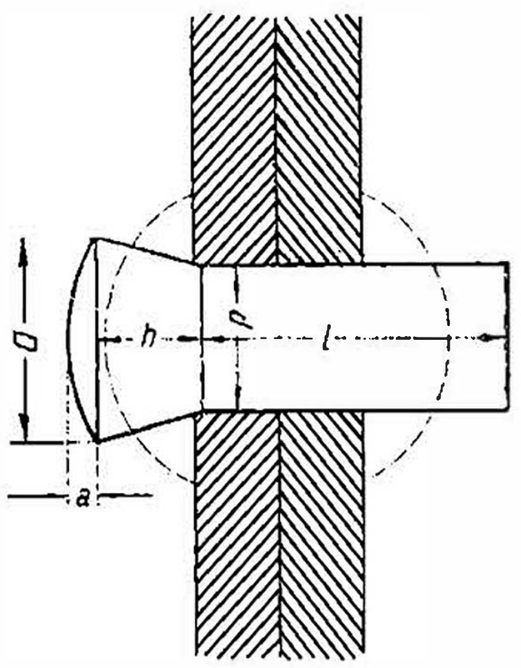


Рис. 60.

Так как болты делаются точно по диаметру проушины, то малейшая разбежка, образующаяся при сборке в отверстии для болта, может вызвать заедание болта или повреждение нарезки. В предупреждение этого диаметр нарезки делается несколько меньше диаметра тела болта, что позволяет надевать на нарезку конический наконечник (рис. 61). Этот наконечник, проходя отверстие, выправляет все неровности и ограждает нарезку.

Рис. 61.

Болты, выточенные по отверстию, следует маркировать одинаковой маркой с отверстием и отправлять на место в особых ящиках обернутыми в паклю или войлок, предохраняющие их от выбоин.

§ 9. Очистка металла. Во время всей обработки мостовой металл неоднократно подвергается действию влаги и пыли, благодаря чему он по своей поверхности покрывается грязью и ржавчиной; последняя особенно сильно появляется на всех снежеобрезанных и обстроганных местах, а также в местах удара молотком.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Развитие ржавчины, сначала медленное, после ее появления идет очень быстро, так как ржавчина, являясь окисью металла, составляет с ним гальваническую пару.

Как меру предохранения металла от ржавления, рекомендуют покрытие его олифой немедленно по выходе из прокатки; такая загрунтовка приносит пользу, ограждая металл от действия влажного воздуха до тех пор, пока он не поступит в обработку, во время которой грунтовка под действием ударов инструмента и станков уничтожается, и металл быстро покрывается ржавым налетом.

Вопрос об очистке мостового металла от этого загрязнения и ржавчины является основным в смысле последующего сохранения в процессе его службы. Иностранная техническая литература последнего времени [1]) единогласно признает, что никакими последующими окрасками нельзя предохранить металл от ржавления, если не была сделана тщательная очистка его перед первоначальной загрунтовкой, и наоборот, если очистка и первая загрунтовка были тщательно выполнены, то в последующем приходится возобновлять только вторичную поверхностную окраску.

Особенно сильно развивается ржавление между соприкасающимися поверхностями металла [2]). Присутствие грязи, заусениц и прочее между соприкасающимися поверхностями препятствует плотному соприкасанию поверхностей и содействует проникновению влажного воздуха в щели, вследствие чего усиленно развивается ржавчина.

Самым правильным представляется производить эту очистку после окончания всей обработки, включая в нее и рассверловку дыр в собранных частях, т. е. когда остается только клепка. Но в этом случае пришлось бы все собранные элементы разобрать и, после очистки и загрунтовки, вновь собрать, что сильно повысило бы стоимость заводской обработки. Считаясь с этим обстоятельством, допускают производство этой очистки и загрунтовки после выхода металла из обработки в мастерской, при поступлении его на сборку.

В простейшем виде очистка металла от грязи производится скребками, металлическими щетками и даже стеклянной и песчаной бумагой, очистка от жировых и мыльных пятен производится бензином и газолином. Эта работа должна производиться очень тщательно, так как вследствие своей жесткости ни скребки ни щетки не могут легко проникать в углубленные места и, при небрежной работе, очищают только грязь и крупную ржавчину, оставляя на поверхности много мелких частиц.

Лучшие результаты по очистке получаются при производстве ее пескоструйными аппаратами или химическим путем.

Очистка металла при помощи песка [3]) состоит в том, что струя песка под давлением сжатого воздуха направляется на металл и, проникая во все щели и углубления, быстро очищает его от грязи и ржавчины. Для производства этой работы применяются различной конструкции мундштуки (рис. 62а) и аппараты. На рис. 62 показан аппарат, состоящий из трех камер *B*, *C* и *D*. Сжатый воздух поступает через трубку *A* в камеру *B* и своим давлением выгоняет через трубку *G* песок, поступающий в нее из камеры *C* через отверстие *E*. Когда весь песок из камеры *C* выйдет, прекращают доступ воздуха краном *H* и им же открывают отверстие *J*, через которое сжатый воздух выходит из камер *B* и *C*, что позволяет наполнить камеру *C* песком из камеры *D*. После наполнения отверстие *J* закрывается, сжатый воздух вводится в камеру *B*, и после открытия отверстия *E* вновь начинается дутье песка.

Такие аппараты работают под давлением 1—1,2 атмосфер, и при наличии хорошего песка производительность их составляет:

---

1) «V. D. J.» 1913, S. 221; «Bautechnick», 1923, S. 205 и 221; «Bautechnick», 1928, S. 290; «Eisenbau», 1916, S. 42.

2) Автору приходилось наблюдать, что образование ржавчины между соприкасающимися поверхностями железа в течение 30-летнего существования моста достигает 25—30% толщины железа. В статье инж. Терпугова — «Об усилении мостов», помещенной в журнале «Инженер» за 1904 г., № 5, стр. 152, указано, что разъедание ржавчиной в нижних концах решетки мостов доходит до 40—50% полезной площади сечения ее.

3) «Der Eisenbau», 1912, № 10, S. 377; «Centralbl. d. Bauverw», 1897, стр. 239; «Engin. Record», 1900, стр. 78.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

при	6 *мм* ∅ мундштука	2 — 3 $м^2$ в час
	10 »	4 — 6 »
	16	10 —15 »

Несмотря на такие хорошие результаты, даваемые этим способом, он мало распространен, причиной чему служит сравнительно большая стоимость производства работы, доходящая до 10—15 коп. за 1 $м^2$ (около 2 р. 50 к. — 3 р. 50 к. за тонну). Производство этой работы связано с сильным распылением песка, вследствие чего рабочие, производящие ее, снабжаются специальными масками и помещаются в особые камеры.

Химическая очистка металла производится действием на него кислот: соляной (HCl) или серной (H_2SO_4).

Отдельные листы, уголки и пр. погружаются в ванны со слабым (2—5%) раствором кислоты, где и остаются в течение более или менее продолжительного

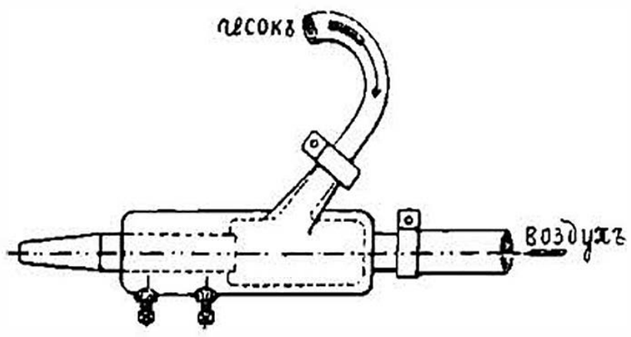


Рис. 62а.

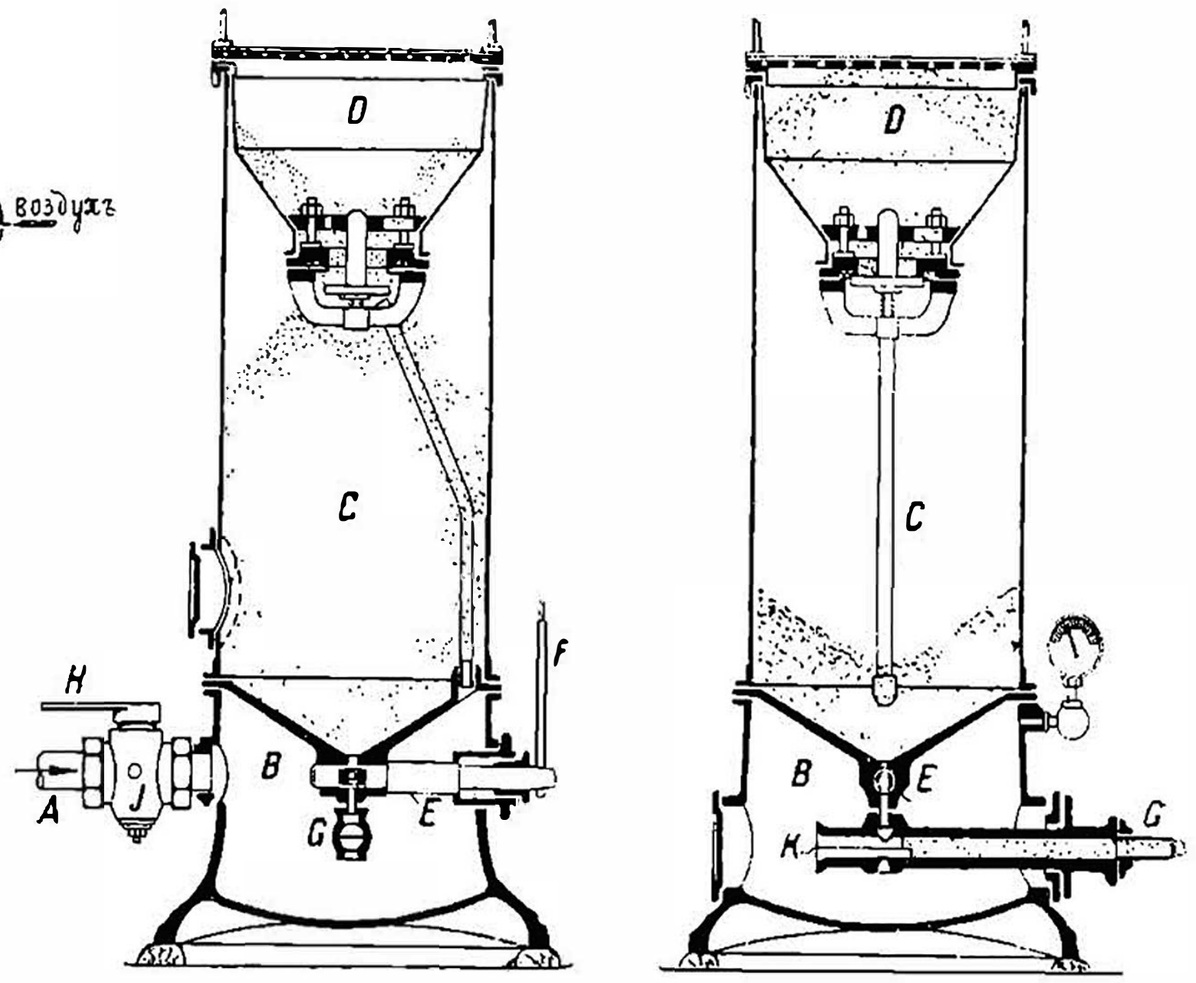


Рис. 62. Пескодувный аппарат.

времени, определяемого в зависимости от силы раствора кислоты. Применение слабого раствора объясняется стремлением достигнуть медленного действия кислоты без сильного разъедания металла. Кислотные растворы снимают прежде всего все масляные и жировые пятна, остающиеся на металле во время его обработки, а затем, соединяясь с гидратом окиси металла (ржавчиной $Fe_4H_6O_9$ или FeH_3O_3), образуют соли железа, растворимые в воде, и воду, а именно:

$$Fe_4H_6O_9 + 12ClH = 4FeCl_3 + 9H_2O \text{ (водный раствор хлорного железа)}$$
$$2FeO_3H_3 + 3H_2SO_4 = Fe_2(S_4O)_3 + 6H_2O \text{ (раствор сернокислого железа).}$$

Остающиеся на вынутом из кислотной ванны металле мелкие частицы кислоты, продолжающие разъедать ее, удаляются путем погружения металла в ванну с известковым молоком (CaH_2O_2), которое нейтрализует действие кислоты:

$$2HCl + CaH_2O_2 = CaCl_2 + 2H_2O$$
$$H_2SO_4 + CaH_2O_2 = CaSO_4 + 2H_2O.$$

Затем железо погружается в третью ванну с холодной водой, в которой смываются остатки хлористого ($CaCl_2$) и сернокислого ($CaSO_4$) кальция. Вполне очищенное этим путем железо, в предупреждение нового ржавления, покрывается маслом. Последнее должно накладываться на вполне сухую поверхность, между тем как металл после действия на него ванны с холодной водой обсыхает медленно и по мере обсыхания сейчас же по всей свеже-очищенной поверхности покрывается ржавым налетом. Ускорение обсыхания достигается путем погружения его в горячую

НБ УДУНТ (ДІІТ)

водяную ванну (80—90°), по вынутии из которой оно сейчас же грунтуется олифой.

Каким бы способом ни производилась очистка, сейчас же после производства ее металл грунтуется, т. е. покрывается олифой из льняного масла, с прибавлением в него небольшого количества железного сурика, хорошо связывающегося со сталью и ускоряющего обсыхание олифы.

§ 10. Сборка частей. Взаимная пригонка отдельных элементов конструкций, гарантирующая правильность их взаимной работы, является одной из наиболее ответственных работ по обработке мостов. Наилучшим образом этого можно было бы достигнуть, проводя на заводе сборку пролетных строений в целом виде, но это конечно невозможно ввиду больших размеров их. В полном виде на заводах собираются пролетные строения длиною примерно до 10 *м*, реже — до 25 *м*, высота которых не превосходит 5 *м* (рис. 63). Сборка в заводе мостов с большими пролетами проводится с расчленением их на плоскостные системы, как то: главные фермы,

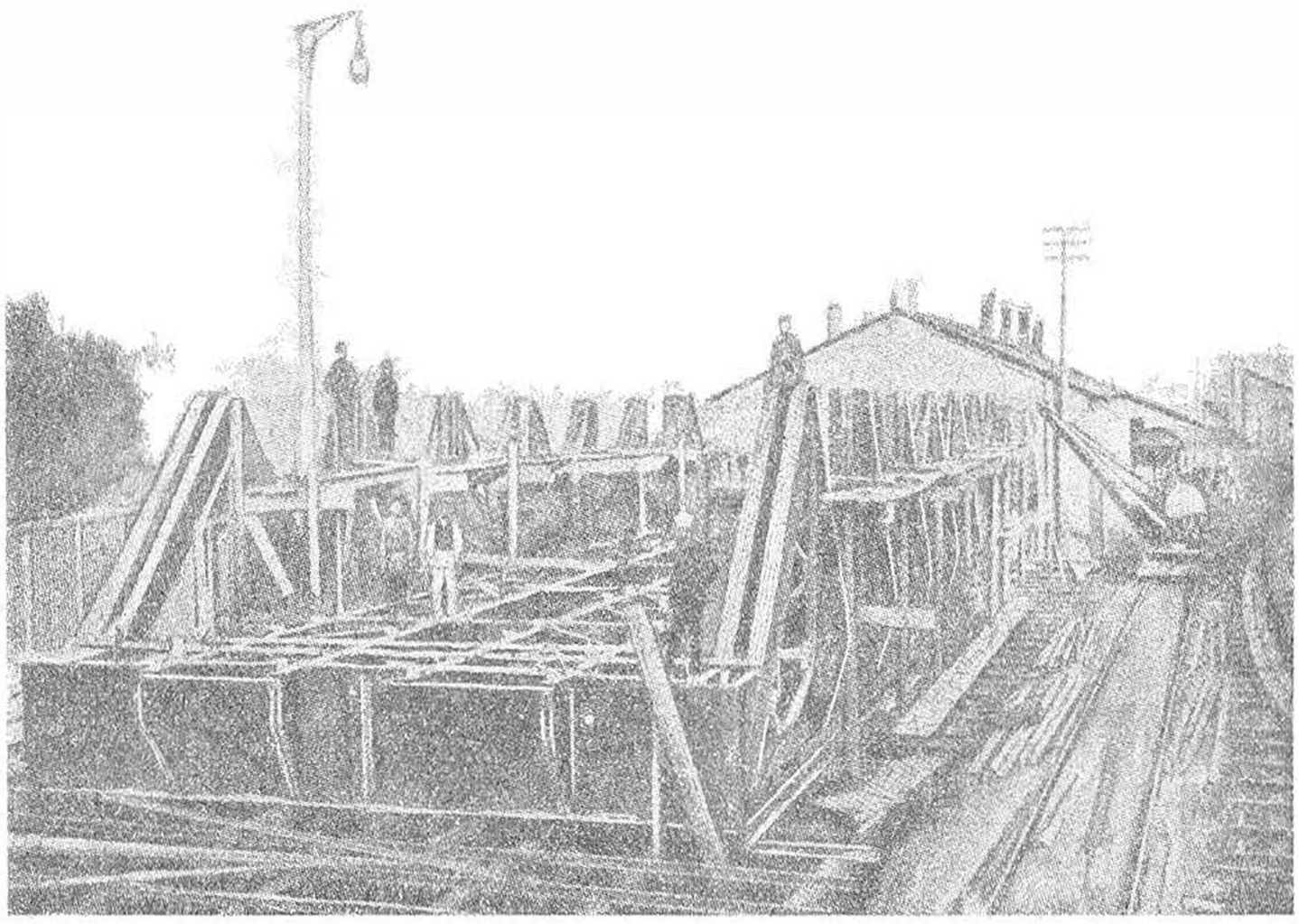


Рис. 63. Сборка пролетного строения в полном виде.

горизонтальные и поперечные связи, проезжая часть и так далее; каждая из них собирается и пригоняется порознь в лежачем состоянии, причем элементы, связывающие между собой отдельные составные системы пролетного строения, пригоняются по очереди к каждой из них, так например, горизонтальные листы поясов главных ферм пригоняются сначала к главным фермам, а потом служат для пригонки горизонтальных связей и т. д.

До последних лет почти на всех заводах нашего Союза сборка производилась целыми фермами и балками в порядке последовательной пригонки в них листов, уголков и пр. с последующей рассверловкой дыр ручными электрическими или пневматическими машинами, нередко трещетками и зачастую выклепкой вручную. Такой процесс пригонки и сборки является очень дорогим, так как требует большой затраты рабочей силы и не допускает возможности большой механизации работ. Значительное удешевление может быть достигнуто, если ту же сборку составных систем пролетного строения производить не путем последовательной пригонки листов, уголков и пр., а собирая эти фермы из готовых отдельных элементов поясов, раскосов, диагоналей и т. д., собранных уже и склепанных в целом виде в специальном отделении мастерской, допускающем сверловку дыр и клепку на станках; так что при сборке

НБ УДУНТ (ДІІТ)

в целом виде остается только пригонка в стыковых соединениях и в узлах с последующей рассверловкой в них дыр. Этот прием обработки, гарантирующий не меньшую точность, чем первый, обходится значительно дешевле в смысле затраты рабочей силы, но требует большей механизации по обслуживанию сборки, так как работа с тяжелыми элементами отдельных систем требует наличия хорошего кранового оборудования сборочных площадок.

С введением сборки из отдельных элементов становится лишним собирать на заводе эти элементы в целые фермы. Действительно, если весь материал обработан по одним и тем же шаблонам, если все элементы собираются по одним и тем же чертежам, то нельзя ожидать, чтобы аналогичные элементы одинаковых систем различались между собой; сомнение может возникнуть только в смысле плотности стыковых соединений; но если принято рассчитывать работу листовых и узловых соединений только на работу заклепок, то требование абсолютной плотности стыковых соединений в смысле соприкасания между собой торцов листов и уголков не является уже необходимым, нужно обеспечить только совпадение заклепочных отверстий в стыках.

При такой точке зрения представляется вполне возможным ограничиться на заводе сборкой только одной пробной фермы или системы, чем гарантируется поверка правильности шаблонов и всей последующей обработки. Все же остальные системы, одинаковые с собранной, могут не собираться в целом виде; для них собираются в одно целое отдельные элементы, концы которых в местах примыкания к другим элементам или к узловым планкам обрабатываются по специальным шаблонам, снимаемым с собранной контрольной системы. Эти шаблоны изготовляются из тонкого (6—8 *мм*) листового металла и снабжаются дополнительными направляющими втулками по типу рис. 32.

При таком приеме обработки под сомнением остается вопрос об окончательной обработке стыковых дыр, т. е. можно ли допустить полную рассверловку дыр по контрольным шаблонам в стыковых местах элементов, так как вполне естественно ожидать, что, как бы тщательно ни был снят контрольный шаблон, все-таки при развертке по нему дыр всегда будет иметь место некоторая разбежка в части дыр. Конечно, в смысле правильности работы стыкового соединения, желательно, чтобы, если система не была собрана в целом виде на заводе, дыры в стыковых соединениях окончательно развертывались до полного диаметра на месте установки. Однако, если обработка металла производится с предварительной проколкой дыр диаметром на 4 *мм* менее требуемого, то по экономическим соображениям можно допустить, чтобы на заводах производилась рассверловка по шаблонам дыр в стыковых соединениях на величину до 2—3 *мм*, а окончательная рассверловка тех же дыр еще на 2—1 *мм* производилась на месте установки.

Вполне понятно, что при большом числе пролетных строений, изготовленных по одним и тем же шаблонам, этот прием даст значительную экономию на оплате рабочей силы. Но даже при изготовлении одиночных пролетных строений, всегда состоящих [1]) из двух вполне одинаковых главных ферм, отказ от сборки одной из них несомненно даст экономию.

При сборке отдельных ферм в целом виде особое внимание должно обращаться на сохранение в процессе всей работы в неизменяемом состоянии теоретической схемы собираемой конструкции.

Часто при сборке и пригонке частей металлических ферм не обращается должного внимания на влияние изменения температуры и действие солнечных лучей. Значение этого влияния наиболее характерно будет видно из нижеследующего примера взаимной пригонки четырехугольника (рис. 64).

Если некоторая часть этого четырехугольника (*a*,*b*,*c*,*d*) уже собрана и подвергается действию солнечных лучей, то он получит во всех своих частях известное линейное удлинение, которое, может случиться, будет даже неравномерно вследствие

---

[1]) За исключением косых пролетных строений.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

неодинаковой нагреваемости всех элементов, и четырехугольник примет вид $(a_1 b_1 c_1 d_1)$, Если теперь в сборку поступит стержень (ca), не нагретый действием солнечных. лучей, то при определенной длине этого стержня установка его вызовет перекос стержня $(b_1 c_1)$ в положение $(b_1 c_2)$. Вследствие этого при охлаждении всей системы или сохранится перекос ее, или стержни получат дополнительное напряжение. Такое точно явление наблюдается и при сборке металлических ферм, производимой без надлежащих предосторожностей.

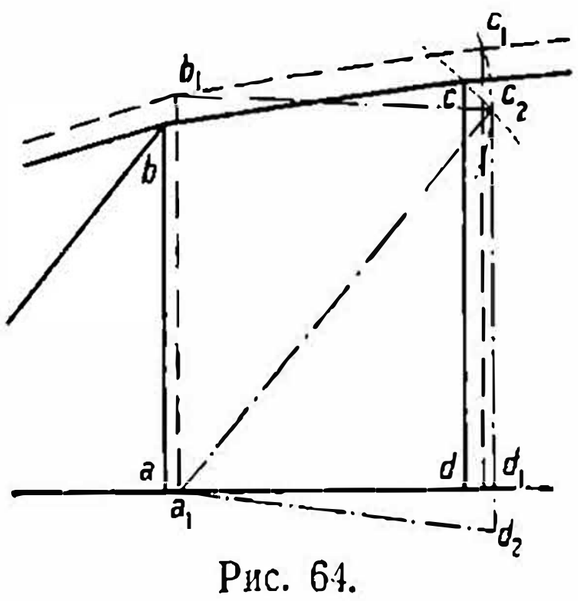


Рис. 64.

Этим же влиянием неравномерного нагрева надо объяснить и те волнообразные выгибы, часто замечаемые в подъемах установленных пролетных строений. Стержни фермы, неравномерно нагреваясь и охлаждаясь, вызывают смещения узлов ее, которые в сумме и образуют указываемые выгибы подъемов ее. Характеристикой величины изменения подъема собираемых ферм от действия солнечных лучей может служить следующий случай, имевший место на одном из больших заводов в СССР при сборке ферм пролетом 124 *м*. Нижний пояс ферм был защищен от действия солнца, тогда как верхний пояс находился под действием солнца. При пригонке решотки было замечено несоответствие между размерами длин стержней и положением их в ферме. Поверка положения фермы показала изменение высоты подъема нижнего пояса на 62 *мм*, что находит себе объяснение в удлинении нагревавшегося верхнего пояса фермы.

При сборке ферм большой длины вследствие неравномерного нагревания металла удлинение может происходить в одну сторону, а затем при охлаждении укорочение в ту же сторону, благодаря чему получается постепенное перемещение ферм и их узловых точек от нормального положения, что отзывается на правильности соединения в узлах. В предупреждение подобного рода сдвига ферм применяется глухое закрепление одного из углов в середине собираемой конструкции, как это показано на рис. 65/a, и частичное закрепление крайних узлов на салазках так, что они имеют возможность долевого перемещения (рис. 65/b).

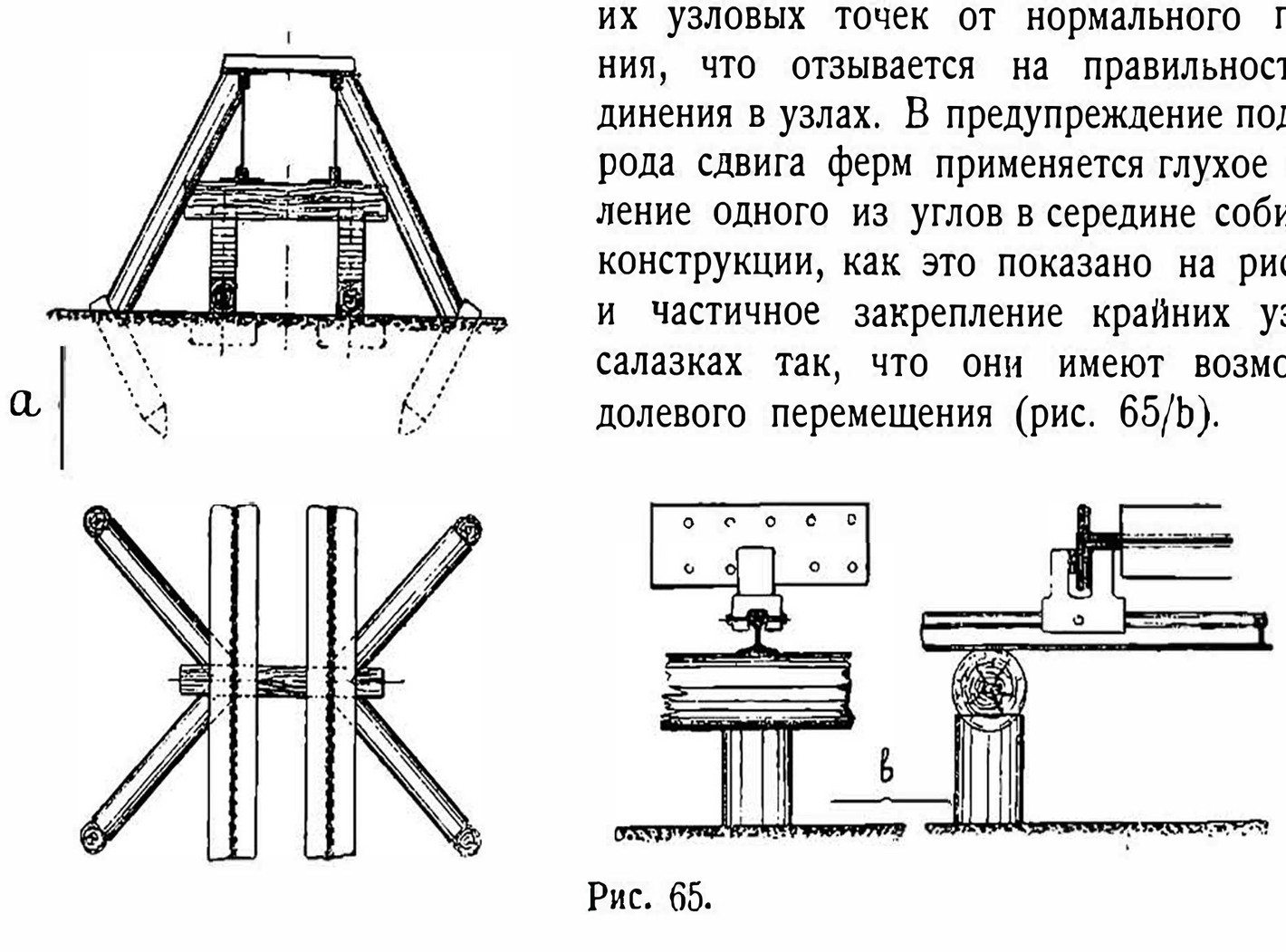


Рис. 65.

Такого вида закрепление препятствует сдвигу собираемой части, но оставляет свободу для более или менее равномерного удлинения ее от изменения температуры.

Устранение вредного влияния нагрева от солнечных лучей достигается помещением сборки в крытом пространстве, где могла бы поддерживаться равномерная температура (рис. 66). При отсутствии крытого пространства для сборки пригонка отдельных частей должна производиться при известной постоянной температуре, лучше всего в утренние часы, когда воздух еще не успеет нагреться и действие лучей не так значительно.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При сборке ферм в лежачем состоянии предварительно на сборочной площадке наносится очертание сборочного подъема, чем определяется заранее положение различных узлов конструкции, и что служит в дальнейшем контролем правильности всей сборки. На заводах, где принята предварительная теоретическая разметка шаблонов, разбивка очертания подъема не всегда применяется, в предположении, что сама расчетная длина элементов конструкции должна дать узлам ее определенное положение; однако следует иметь в виду, что эта длина видоизменяется от действия температуры, а затем, хотя и незаметная, игра в расположении дыр в конечном результате может дать смещение концевых узлов на несколько сантиметров, что является уже недостатком сборки. Для того чтобы узловые точки конструкции, обозначаемые большею частью фасонными листами, не имели смещений при начавшейся уже пригонке, их временно до окончательной связи с прилегающими стержнями, следует закреплять помощью специальных башмаков, вроде указанных на рис. 65b, но с глухим закреплением. При постановке связывающих стержней эти башмаки удаляются, так как своим закреплением они могли бы препятствовать свободному удлинению элементов от влияния изменения температуры.

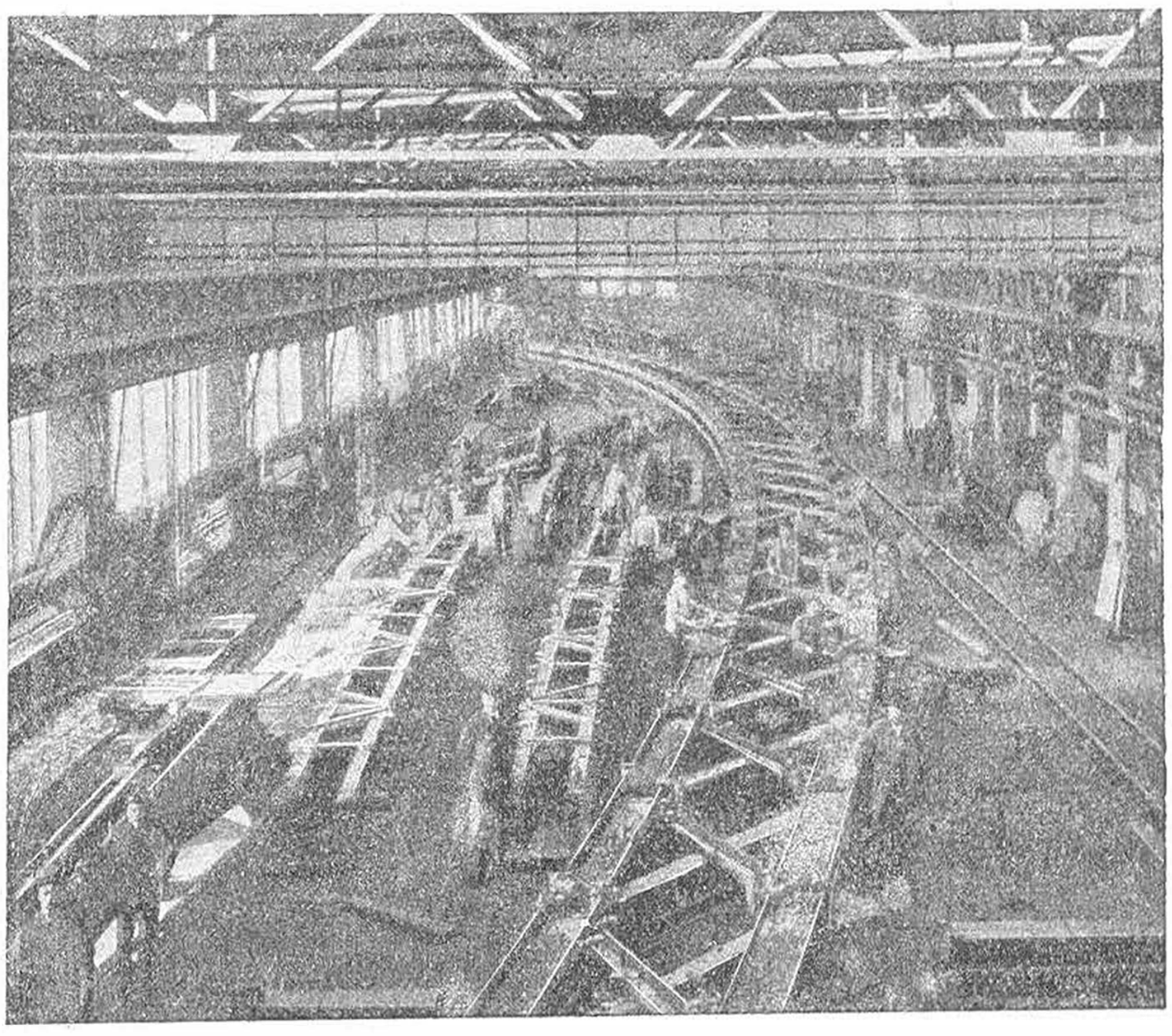


Рис. 66. Сборочное отделение на заводе в Густавсбурге (Германия).

При сборке в полном виде (рис. 63), применяющейся для невысоких конструкций, последние своей нижней частью укладываются на специальные клетки или стулья, на которых производится вся сборка и которым в случае надобности, придается помощью клиньев соответствующий условиям сборки подъем. Разбивка контрольной сети в этом случае невозможна, почему правильность положения стоек и узлов может быть проверена натяжением нити с среднего узла нижнего пояса к симметричным узлам верхнего пояса. Такой же способ контроля легко применим и при сборке в лежачем положении.

Если металл поступает на сборку уже с пробитыми дырами, то соединение в отдельных элементах листов и уголков между собой и приведение их в правильное положение между собой до полного совпадения дыр достигается забивкой в дыры сборочных оправок (рис. 67).

Сборочные оправки делаются из мягкой стали с длинной пологой конической поверхностью, которая постепенно уменьшается до диаметра в 10—12 *мм*; последнее необходимо для того, чтобы в то время, как дыры одного листа еще не вполне совпадают с дырами другого листа (рис. 67), путем забивки в них тонких оправок навести их до правильного совпадения.

Вообще же применением оправок не следует злоупотреблять, так как при неправильном положении дыр они разрывают выступающие кромки листов (рис. 67), чем вызывают ослабление прилегающего материала.

После наводки дыры немедленно стягиваются сборочными болтами, назначение

НБ УДУНТ (ДІІТ)

которых дать плотное соприкасание и исправить мелкие изгибы и выгибы в листах и уголках, что возможно только при достаточно частом расположении болтов, расстояние L между которыми не должно превосходить 40 толщин свертываемого металла в листах или уголках.

Диаметр сборочных болтов выбирается на 1,5—2 *мм* менее диаметра, применяемого для пробивки дыр. Необходимость такого уменьшения диаметра объясняется всегда существующей разбежкой дыр в отдельных толщинах металла одного и того же заклепочного отверстия. Длина болтов делается достаточной для свертки 4—6 толщин, смотря по толщине склепки, встречающейся в обрабатываемой конструкции; эти же болты применяются и для свертки двух толщин, путем подкладки нескольких сборочных шайб.

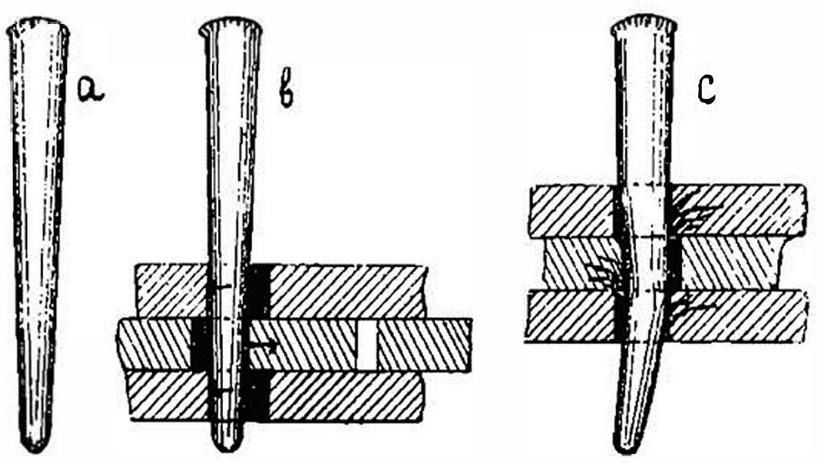


Рис. 67.

Вследствие указанного несовпадения диаметров сборочных болтов с диаметром пробитых дыр всегда возможен сдвиг листов между собой и уголками; для устранения его в некоторые из отверстий, в местах стыковых соединений конструкции, загоняются конические стальные пробки наподобие оправок, которые заполняют все отверстие дыры и удерживают части от сдвига. Наведенные и свернутые таким образом отдельные элементы ферм поступают в рассверловку и клепку.

Если на заводе проводится сборка отдельными элементами, то она ведется в следующем порядке. Сначала в лежачем состоянии собираются из листов и уголков отдельные половины, образующие элемент (рис. 68а); затем эти половинки ставятся на ребро и соединяются диафрагмами и потом связевой решеткой (рис. 68в); при этом необходимо следить за правильным сохранением ширины самого элемента, для чего обе половины элемента стягиваются сжимами наподобие показанных на рис. 68 и 15. Отступление от проектной ширины на величину 1—2 *мм* допускается в элементах решетки ферм, которые должны входить в узловые планки, чем облегчается последующая постановка их при сборке на месте. По окончании сборки элемент поступает в рассверловку, но отделка концов его и рассверловка узловых заклепок на концах производится только после проведения контрольной сборки одной фермы

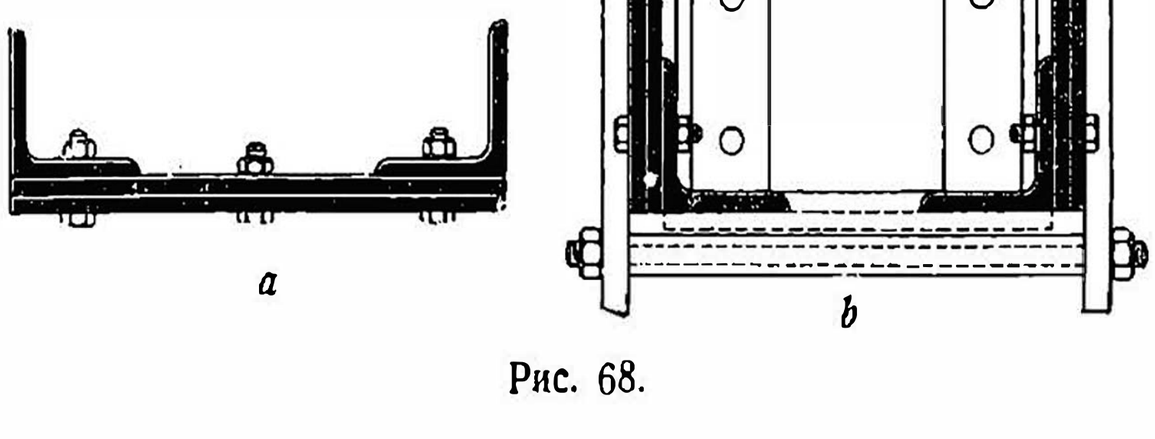


Рис. 68.

Сборка контрольной фермы из готовых элементов начинается с пояса, которому дается подъем; к этому поясу присоединяются элементы решетки, а к последним — второй пояс. Так как при такой сборке ферм приходится иметь дело с тяжелыми элементами, то для облегчения обращения с ними применяются стяжные и распорные приборы наподобие показанных на рис. 69.

Во время всей сборки правильность строительного подъема контролируется проволокой, натянутой между опорными узлами ферм.

По окончании сборки пробной фермы с ее узловых соединений снимают металлические шаблоны. По этим шаблонам производится отделка концов элементов других ферм, для чего шаблоны плотно привертываются к ним при помощи струбцин или иным способом. Весьма полезно дыры в таких шаблонах снабжать втулками,

НБ УДУНТ (ДІІТ)

которые обеспечивают правильность направления сверла (рис. 32). Геометрические размеры собранных элементов также проверяются по размерам, полученным и проверенным на контрольной сборке. Стыковые дыры по концам собранных раскосов рекомендуется оставлять неразвернутыми по крайней мере на 1 *мм* по диаметру, чем обеспечивается возможность выправления подъема ферм с получением чистой поверхности стержня дыры после рассверловки на месте.

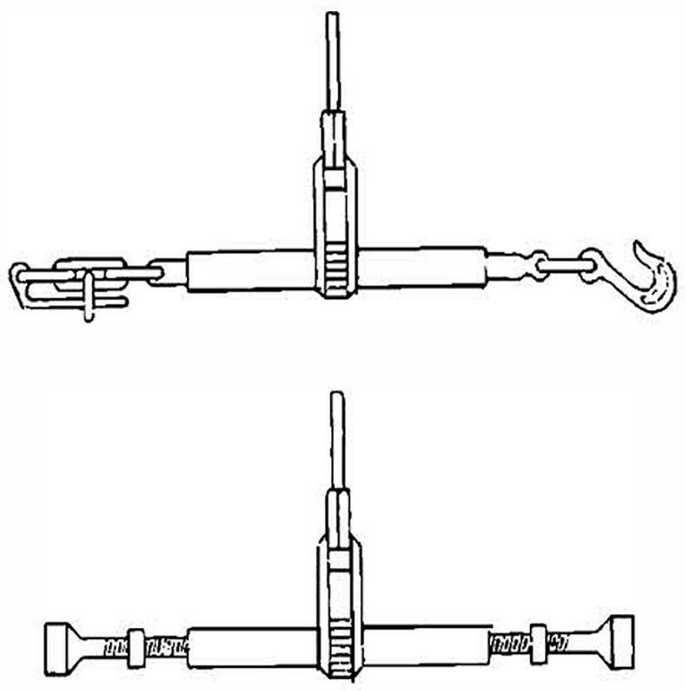


Рис. 69.

При сборке ферм из отдельных листов и уголков она начинается с пояса, положение которого обусловливается подъемом. По эпюре стыков (рис. 3) раскладываются с определенным подъемом горизонтальные листы и уголки пояса (рис. 70). После развертки дыр в уголках и листах между уголками вставляются вертикальные листы; весь пояс заваливается на бок (рис. 70) и выправляется согласно требуемому подъему. К вертикальным листам пояса в порядке, указанном на рис. 70, пригоняются части стоек ферм, своей длиной определяющие положение другого пояса ферм. В предупреждение провисания стойки и листы поясов подпираются временными распорками. К стойкам последовательно пригоняются части верхнего пояса (рис. 70) и устанавливаются раскосы.

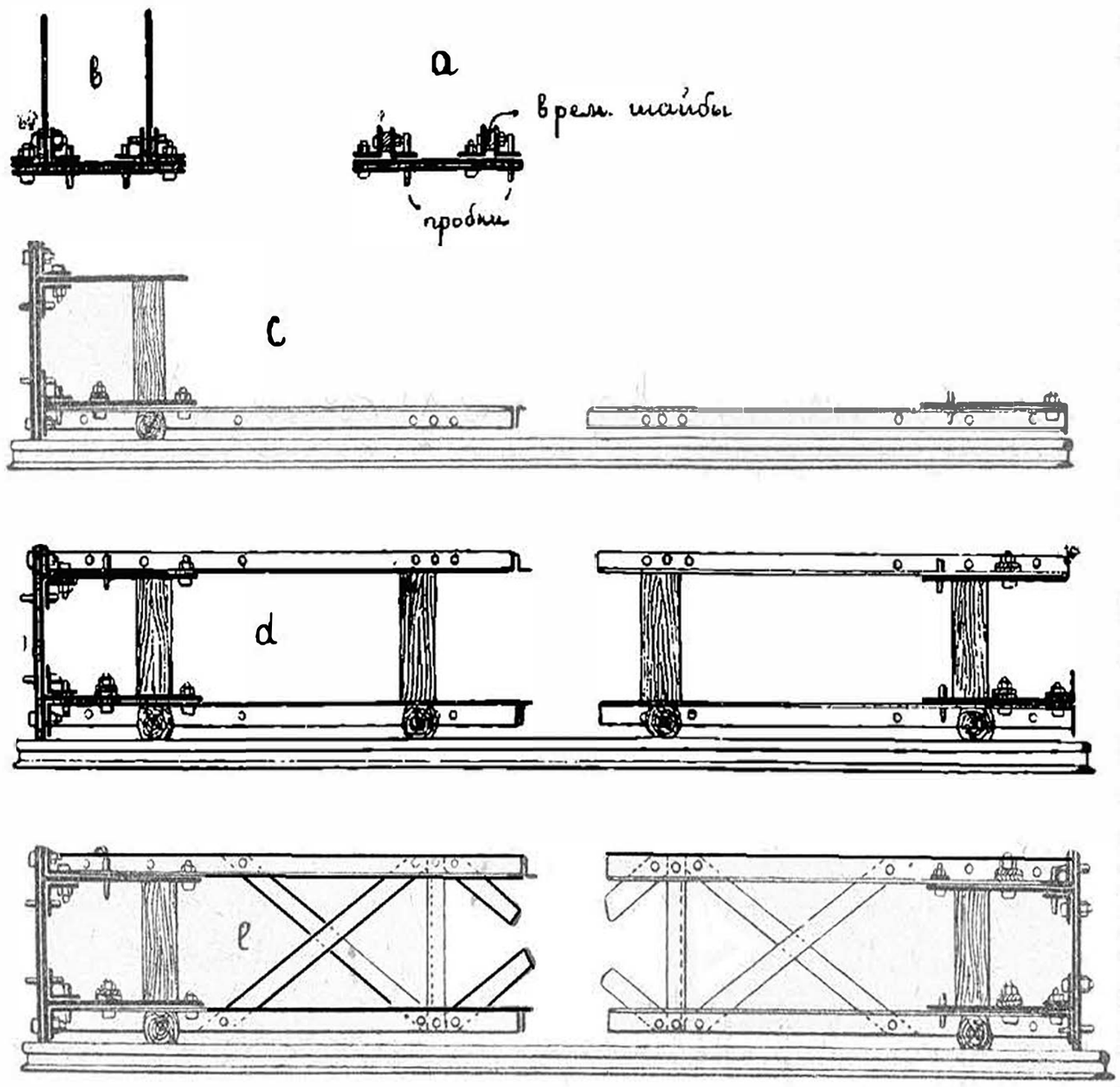


Рис. 70.

Особая тщательность сборки требуется в пригонке раскосов ферм и вообще диагоналей во всякого рода металлических конструкциях, так как правильным положением их устраняется перекос всей системы, и в главных фермах мостов обеспечивается сохранение требуемого строительного подъема. При мало жестком сечении диагоналей и раскосов, прогибающихся от собственного веса, можно достигнуть натяжения их путем постановки дополнительных временных распорок.

Только после того, как будет собрана вся ферма, проверены основные размеры и строительный подъем, можно приступить к рассверливанию дыр в узловых планках и стыках. Иногда рассверловку дыр в узловых соединениях раскосов делают до диаметра на 1 *мм* меньше полного, оставляя окончательную рассверловку до места установки — этим преследуется цель устранить разверткой те разбежки по длине стержня заклепки, которые иногда получаются при сборке на месте.

Так как проведение полной сборки всей фермы в больших пролетных строениях требует продолжительного времени и сами они занимают большое место на

НБ УДУНТ (ДІІТ)

сборочных площадках, то допускают сборку ферм по часткм. Сделав разбивку кривой строительного подъема, начинают сборку ферм с одного из ее концов и ведут ее на протяжении 3—4 панелей, после чего положение собранных узлов закрепляется и начинается сборка следующих панелей фермы с одновременной разборкой начальных панелей; разборка начальных панелей ведется в такой последовательности, чтобы в собранном виде оставалось не менее 3—4 панелей. При такой сборке ферм по частям необходимо тщательно следить за правильностью положения собираемой части относительно кривой подъема, надежно закрепляя собираемые узлы против сдвига (рис. 65).

Проезжая часть пролетных строений собирается и пригоняется по тому же подъему, как и главные фермы, для чего концы продольных балок скашиваются соответственно наклону подъема в этом месте. Несмотря на самую тщательную пригонку балок проезжей части, трудно ожидать плотного их прилегания, что может вызвать несоответствие между длиной проезжей части и главных ферм, а следовательно и выгиб концевых поперечных балок. В предупреждение этого допускают укорочение длины продольных балок на 1 *мм* против теоретической длины их.

Производительность работ на сборке в значительной степени зависит от удобств оборудования; так например производительность повышается, если поступающий на сборку материал сортируется, если сборка производится в закрытом помещении и т. д.

Статистические данные, а также хронометраж, производившийся за последние годы на некоторых заводах СССР, позволяют сделать некоторые приближенные выводы.

На двух южных заводах работа (1923 г.) по сборке пролетных строений, производившаяся на открытых площадках со слабым крановым оборудованием, дала следующие результаты:

Собрано	Затрачено	Средн. производительность в 8-часовой рабочий день
1 176 *т*	54 086 раб. час.	0,17 *т*
565 »	22 549 » »	0,20 »

Учет работ по сборке же на южном заводе, хорошо оборудованном кранами, показал, что средняя производительность сборки на открытой площадке составляла 0,3 *т* в 8-часовой рабочий день. На этом заводе средняя годовая стоимость сборки составляла 9 р. 60 коп.; средняя же оплата сборщиков — 3 р., так что производительность их составляла в среднем 3 : 9, 60 = 0,3 *т*.

При производстве работ по сборке в закрытом помещении производительность повышается на 25—30% и может быть принята в 0,4 *т* на рабочего в 1 день.

При разработке проекта развития мостового цеха на заводе имени тов. Петровского в Днепропетровске производительность по сборке отдельных элементов каждого сборщика была принята в 0,75 *т* в 8-часовой рабочий день, т. е. вдвое выше, чем при сборке фермами. Такое увеличение производительности можно считать правильным, так как сборка отдельными элементами не связана с пригонкой их между собой.

По тому же проекту сборка пробных фасадов из собранных элементов оценена производительностью в 2,5—3 *т* на каждого сборщика в течение 8-часового рабочего дня. Цифра эта пока не оправдана, но представляется вероятной.

Указанные цифры производительности исчислены как средние для каждого рабочего, входящего в каждую артель сборщиков, состоящую обычно из старшего сборщика и нескольких младших; состав этих артелей меняется в зависимости от характера сборки.

Сборка всегда сопровождается прирубкой и пригонкой листов и уголков. При сборке ферм из отдельных листов и уголков эта прирубка производится теперь обычно пневматическими зубилами.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Если принять во внимание, что по отчетным данным завода им. Петровского за 1928 г. рубка на сборке в среднем обошлась 1 р. 21 коп. за тонну выпуска, и если средняя оплата 1 рабочего дня рубщика на этом заводе составляла около 3 р. 60 коп., то среднюю производительность рубщика на открытой сборке надо считать в $1{,}21 : 3{,}60 = \sim 0{,}33$ тонны металла, что составляет годовую производительность рубщика около 90 *m*.

Если собранные в целом виде конструкции по своим размерам не могут быть перевезены на место установки в целом виде, то по окончании рассверловки дыр в стыке они разбираются по частям, которые по своим размерам и весу удовлетворяют условиям перевозки; так при перевозке по железной дороге размеры отдельных частей конструкции выбираются сообразно с возможностью помещения их на одной или двух платформах. Разделение всей конструкции по частям должно производиться с расчетом не затруднять сборку их на месте установки, что в каждом отдельном случае зависит от характера конструкции и способа предполагаемой сборки.

В обеспечение правильной постановки отдельных частей конструкции на месте ее установки все части перемечаются условными буквами и цифрами согласно их

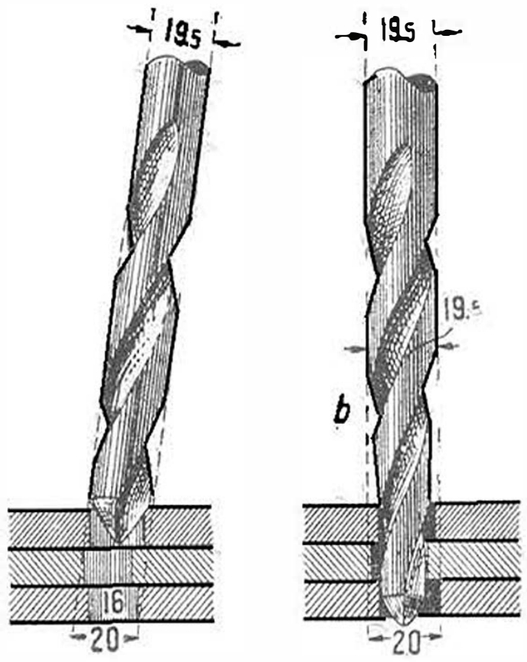


Рис. 71.

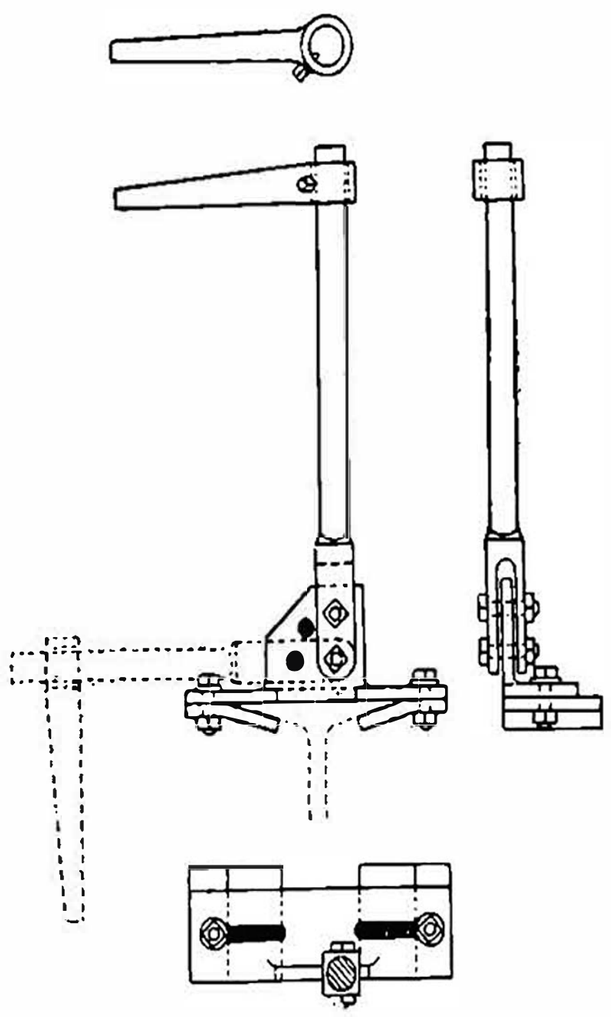


Рис. 72.

положению относительно узлов конструкции, примерно так, как это было показано при разметке металла для обработки частей, но более просто, так как общий вид каждой части показывает ее положение в ферме.

Например: марка *H1* ✕ — *H3* ✕ показывает, что это вертикальный лист нижнего пояса между узлами 1—3, расположенный с внутренней стороны моста.

Марка *C12* показывает, что это—стойка, проходящая через узел № 12, и т. д.

Для облегчения сборки сложных конструкций с большим числом отдельных, сходных между собой частей изготовляются специальные сборочные чертежи, на которых, как и на готовых частях, ставятся марки.

При изготовлении нескольких одинаковых мостов во избежание смешения частей одного с частями другого применяют различную окраску этих ферм или снабжают их дополнительными марками в виде кружков, треугольников или чего-либо подобного.

§ 11. Рассверловка. Как указывалось выше, параллельно со сборкой производится окончательная рассверловка дыр до требуемого размера. Работа по рас-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

сверловке должна удовлетворять следующим двум требованиям: чтобы внутренняя поверхность отверстия была совершенно гладкой и чтобы ось отверстия была нормальна к поверхности металла. Первое условие удовлетворяется шириной развертки, т. е. несовпадение центров дыр не превосходит ширины разеврткн. Что касается второго условия, то выполнение его зависит от постановки сверла. При несовпадении центров дыр (рис. 71-а) сверло с цилиндрической поверхностью стремится свернуться в сторону нижней дыры и этим вызывает скашивание отверстия. Это явление устраняется при применении конических сверл (рис. 71-b), которые, входя своим более тонким концом в дыру, одновременно равномерно разрабатывают ее и выправляют все отверстие, ось которого остается нормальной к поверхности металла. Надо отметить, что особенно легко указанные перекашивания получаются при развертке дыр изношенными трещотками и пневматическими машинками, удерживаемыми руками, поэтому рекомендуется упирать машинки в жесткие скобы, тип которых показан на рис. 72.

Рис. 73. Пневматическая сверлильная машинка.

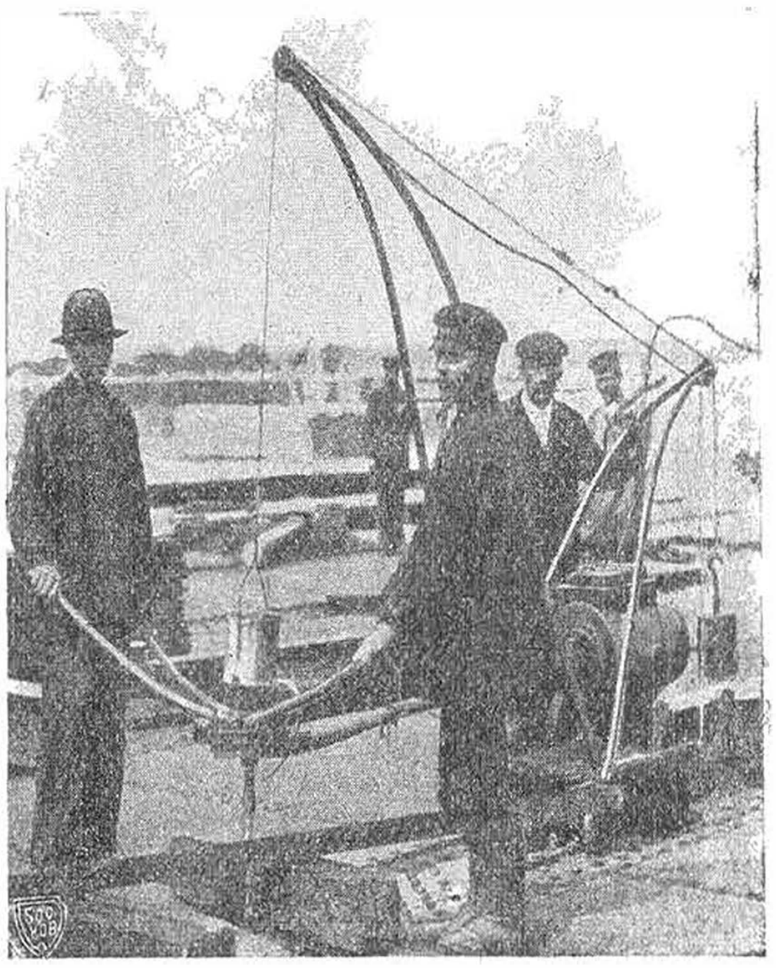


Рис. 74. Электрическая сверлильная машинка.

При производстве рассверловки необходимо обращать внимание на плотное стягивание рассверливаемых частей болтами. Сверло, проходя отверстие, надавливает своим концом на нижележащие листы и уголки, вследствие чего между соприкасающимися поверхностями образуются зазоры, вредные в том отношении, что при этом по краю дыры образуются заусенцы, препятствующие потом плотному соприкасанию поверхностей, что вызывает образование щелей, крайне вредных в смысле развития в них ржавчины.

Поэтому рекомендуется при рассверловке усиленно стягивать разсверливаемые части болтами, размещая их, примерно, в 3,3% дыр от общего числа их. Так как болты всегда имеют диаметр несколько меньший диаметра дыры, что допускает возможность сдвигов между листами и уголками, то для устранения возможности таких сдвигов необходимо в часть дыр загонять стальные пробки, которые, заполняя все отверстие дыры, будут удерживать части от сдвигов.

В условиях сборки целыми фермами рассверловка обычно производится ручными — пневматическими или электрическими — машинками и трещотками, что объясняется удобством подачи их к любому месту работы (рис. 73—74). Для характеристики производительности их ниже приведены нормы выработки на этих

НБ УДУНТ (ДІІТ)

машинках в течение 8-часового рабочего дня при рассверловке дыр на 4 *мм* в диаметре при различной толщине рассверловки.

А) Нормы (1927 г.) на работах Машинотреста по развертке дыр трещотками при одном сверловщике (VI разр.).

Диаметр рассверливаемой дыры в *мм*	Толщина рассверловки в *мм*				
	20	30	40	50	60
16	120	100	80	70	—
19	100	80	70	60	50
22	70	60	50	40	35

Б) Нормы (1927 г.) выработки на одном из заводов «Гомзы» по рассверловке дыр пневматическими машинками, при давлении 6 атмосфер и работе одного сверловщика (V разр.) и одного подручного (IV разр.).

Диаметр рассверливаемой дыры в *мм*	Толщина рассверловки в *мм*							
	18	25	32	41	51	61	72	82
18	456	400	324	266	218	173	146	120
21	400	334	300	214	178	156	120	106
26	340	300	240	179	146	113	96	80

При рассверливании электрическими машинками (рис. 75) норма выработки изменяется так же, как при работе пневматическими машинками, но она значительно зависит от силы машинки.

Так например производительность по рассверловке электрической машинкой в $^1/_2$ силы с 240 оборотами в минуту достигает

600 дыр с диаметром . . 18 *мм*
400 » » » . 22 »

в 8-часовой рабочий день при толщине рассверловки в 20 *мм*.

При калькуляционных вычислениях можно принимать среднюю производительность рассверловки на толщину 2 *мм* (на 4 *мм* в диаметре):

а) при работе машинками 250—300 дыр или 650—700 тело-дыр;

б) при работе вручную 75 дыр или 150—200 тело-дыр.

При производстве сборки отдельными элементами, что позволяет подавать собранные элементы под станки, вполне целесообразным является производить рассверловку под неподвижно укрепленными станками (рис. 76). С применением рассверловки на станках обеспечивается устойчивость сверла и связанная с ним нормальность стержня дыры и поверхности, и вместе с тем снижается стоимость производства работы. Средняя производительность каждого станка при обслуживании его одним сверловщиком может быть принимаема в 900—1 000 дыр в течение 8-часового рабочего дня при обработке современных мостовых конструкций.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Особой тщательности требует рассверловка дыр для узловых болтов, где должно обеспечиваться полное сопротивление поверхности болта с дырой (см. § 7).

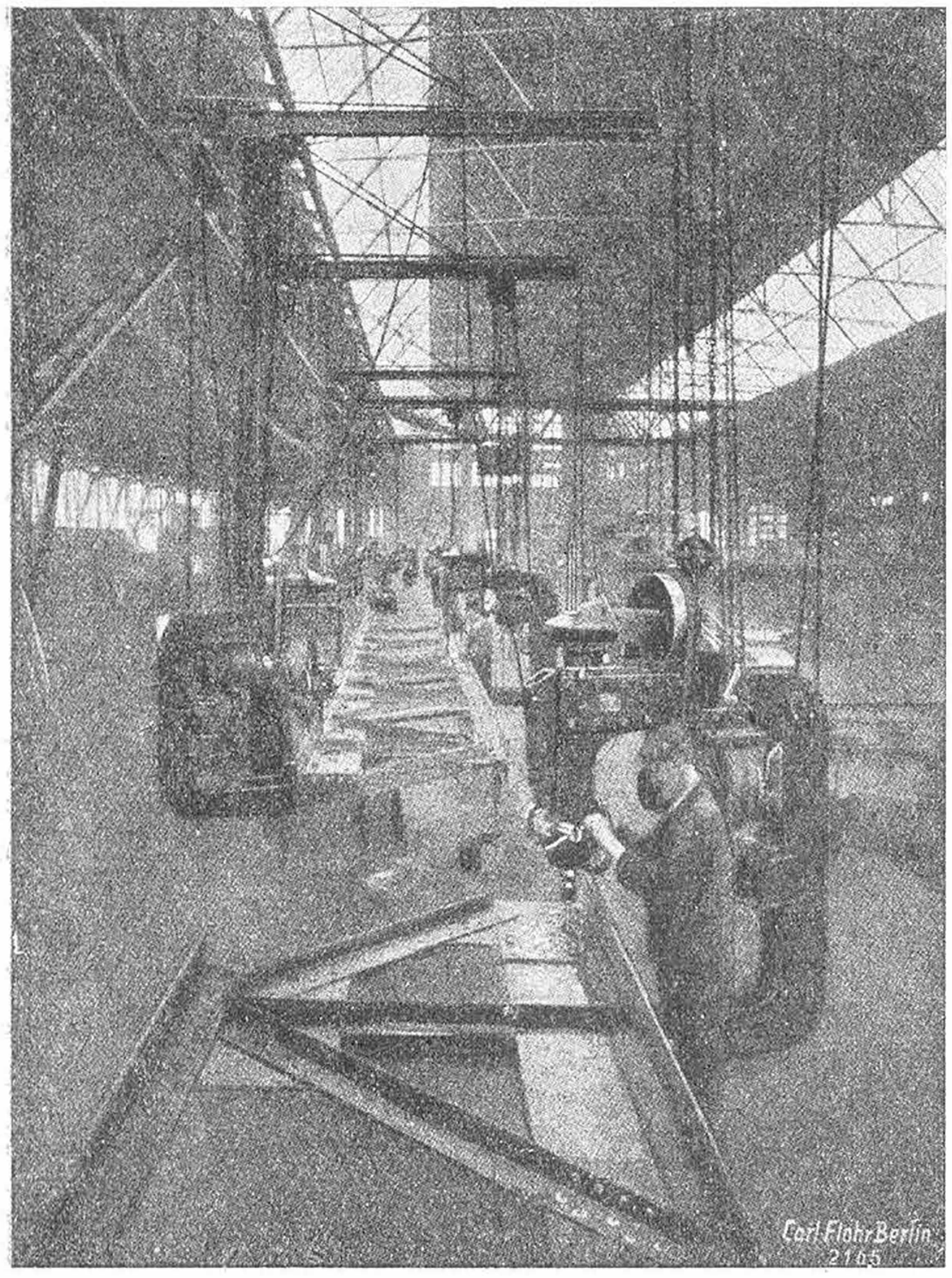


Рис. 75. Электрическая переносная сверлильная машина.

§ 12. Соединение металла между собой. Стальные части соединяются между собой заклепками и болтами. Наиболее распространены заклепочные соединения, как дающие более полное заполнение отверстия и более плотное соприкасание поверхностей склепываемых частей, пока толщина склепки не превосходит 4—4,5 диаметров заклепок. При большей толщине склепки не достигается полного заполнения заклепкой отверстия в средней его части. В этих случаях заклепки заменяются точеными болтами.

Заклепочные соединения. Стоимость работы по склепке в мастерских завода обходится почти вдвое дешевле, чем на месте установки моста, что объясняется удобством производства работы и ее концентрированностью, поэтому на заводе забивается возможно большее число заклепок.

Пределы склепки отдельных частей моста и длина их определяются в зависимости от расположения стыков в конструкции и средств перевозки, с таким расчетом, чтобы излишним склепыванием не стеснить свободу сборки на месте. Последнее указание относится главным образом к стыкам, перекрытым парными накладками. Вообще при разборке ферм на заводе следует избегать склепки частей в таком порядке, чтобы в них оставались щели и зазоры между отдельными листами или уголками, как это часто встречается например в частях поясов с парными накладками вертикальных листов и т. п.

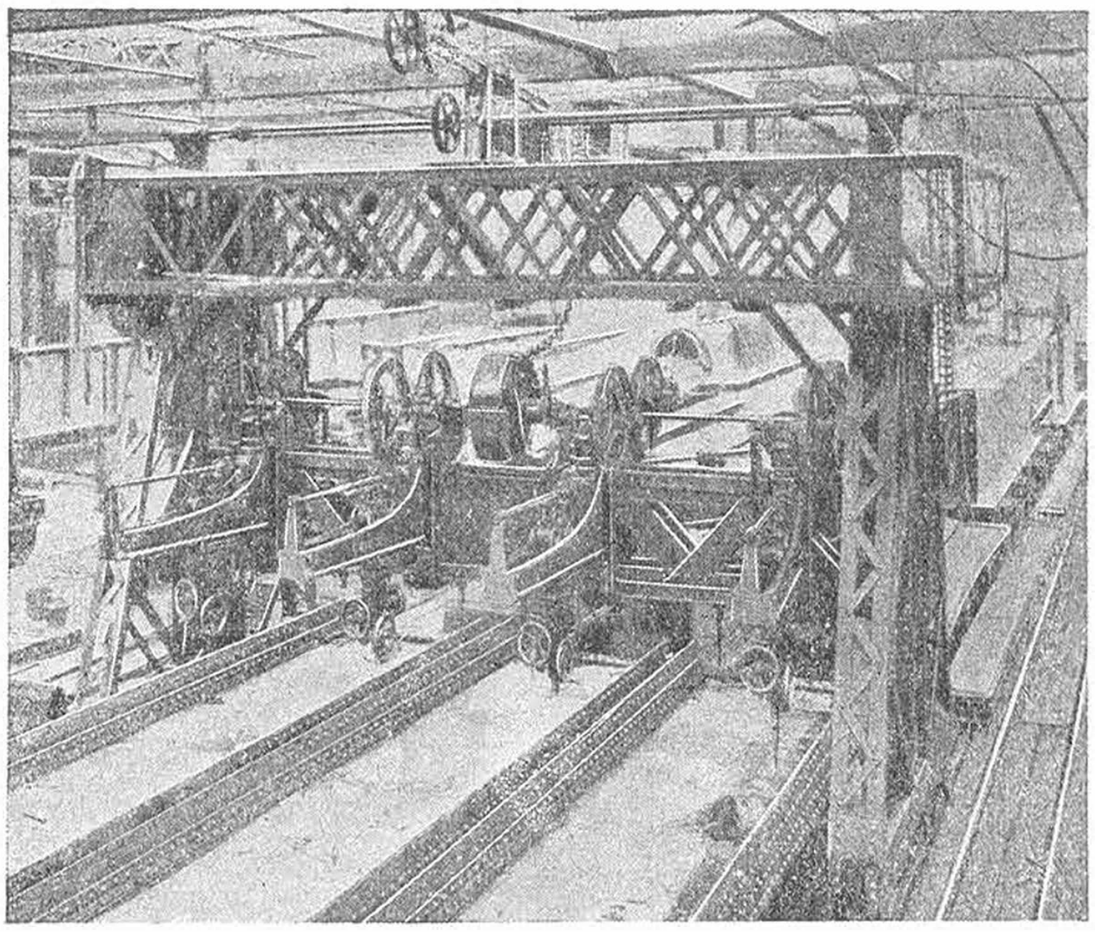


Рис. 76. Подвижная станина со сверлильными станками на заводе в Америке.

Не говоря уже о затруднениях, вызываемых при сборке трением, возникаю-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

щим между вдвигаемыми листами и накладками, в эти зазоры попадают сор и грязь, которые остаются незамечаемыми в этой узкой (10—14 *мм*) щели; поэтому в целях улучшения качества работы предпочитают, где это достижимо, оставлять такие планки неприклепанными; на остальной длине частей ферм, где не предвидится стыков и присоединений, ставят заклепки на заводе. По статистическим данным на заводе забивается от 60 до 70% заклепок в мосте.

Заклепочные соединения должны обеспечивать полное заполнение всего отверстия для заклепки и давать плотное соприкасание поверхностей металла между собой. Полнота заполнения обеспечивается правильностью нагрева заклепок и расклепки их; что касается плотности соприкасания поверхностей, то она обеспечивается постановкой стяжных болтов и пробок.

Расстояние между болтами оставляется в зависимости от характера склепываемых частей и определяется опытом, например в местах перегиба болты ставятся почти в каждое заклепочное отверстие, вообще же они располагаются через 3—4 отверстия на расстоянии, не превосходящем 30—40 толщин склепываемого металла.

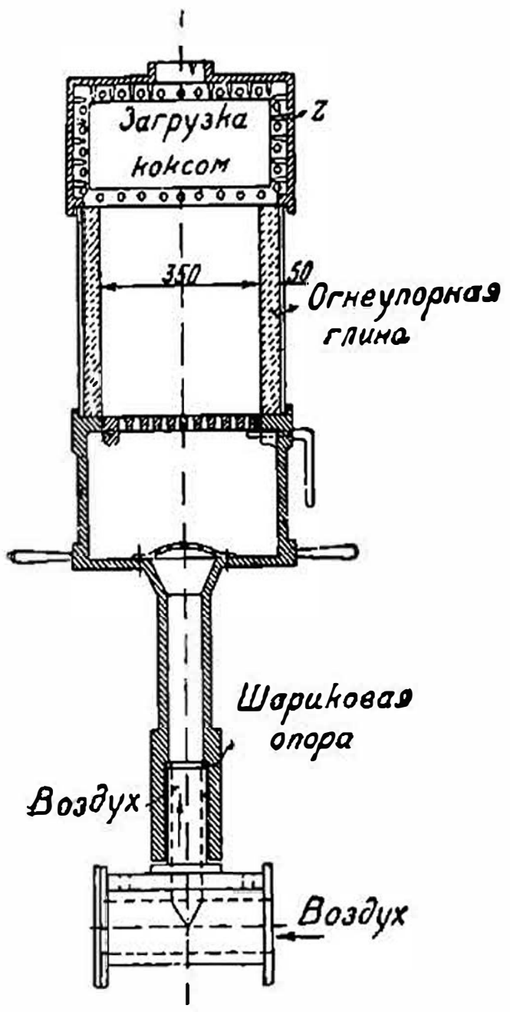
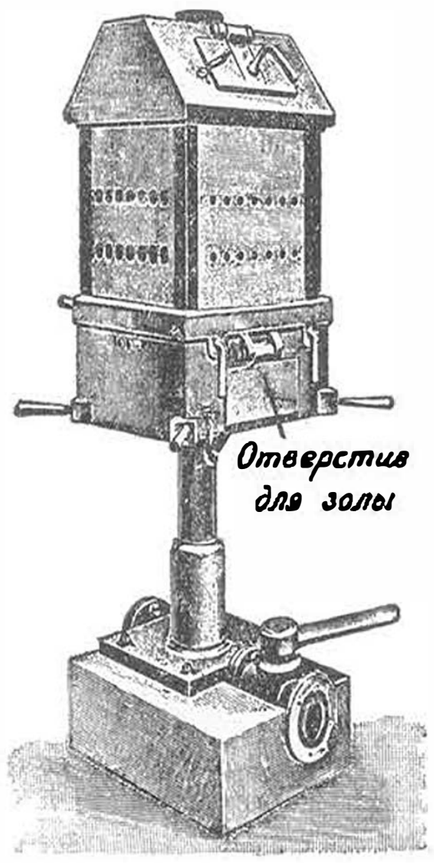


Рис. 77. Коксовая печь для нагрева заклепок.



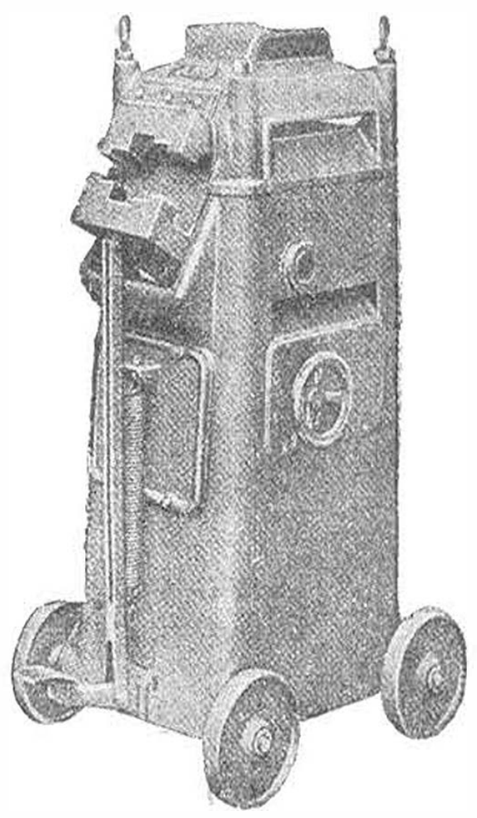


Рис. 78. Электрическая печь для нагрева заклепок.

Постановка пробок в некоторые отверстия, особенно в местах стыков, необходима в предупреждение сдвига металла между собой, что возможно вследствие неполноты диаметра болтов относительно отверстий и вследствие неравномерного нагревания всего сечения элемента во время его склепывания.

Процесс склепки заключается в нагревании заклепки, осаживании ее в дыру и образовании в ней головки путем разбивания ударами или давлением.

Заклепки нагреваются до светлого каления в специальных печах, приспособленных для равномерного и быстрого нагревания заклепок. Степень нагрева должна быть такова, чтобы заклепка в период производства клепки была эластична и при окончании образования головки имела темнокрасный цвет [1]), при этом состоянии не является опасения за растяжение заклепки от напряжения в склепываемой части, и вместе с тем дальнейшее охлаждение заклепки обеспечивает соприкасание поверхностей.

У нас в Союзе до сих пор для нагрева заклепок обычно пользуются переносными угольными печами (горнами) и стационарными нефтяными печами, позволяющими производить одновременный нагрев большого числа заклепок. На рис. 77 показан тип такой коксовой печи.

---

[1]) Такое состояние характеризуется возможностью закуривания в головку склепки.

НБ УДУНТ (ДІТ)

За границей последнее время получают большое распространение электрические печи. Тип такой печи, изготовляемой фирмой *AEG*, показан на рис. 78. Нагревание в этих печах регулируется ступенчатым выключателем; нагревание может быть равномерным по всей длине и разным в головке и по длине стержня. Они обычно работают на переменном токе в 200—240 V На таких печах заклепки диаметром 20—26 *мм* нагреваются до 1 900° в течение 25—35 *сек*. Преимущество таких печей заключается в том, что они работают только в момент нагрева, и в возможности получать равномерный нагрев всей заклепки, что имеет большое значение при большой толщине склепки.

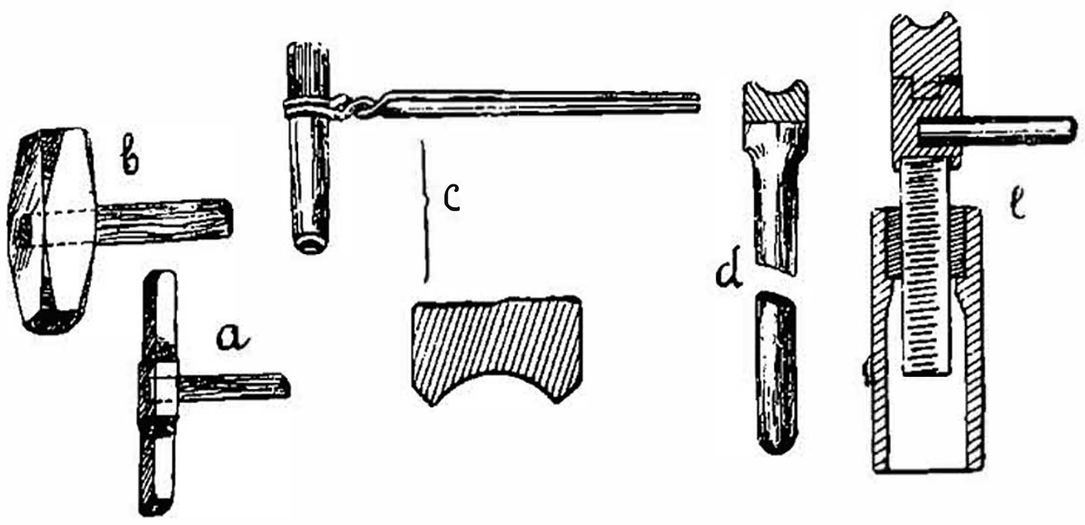


Рис. 79.

В нижеследующей таблице приведены сравнительные данные: о расходе энергии и кокса для нагрева 100 штук заклепок длиною 75 *мм* при разных диаметрах и о количестве заклепок, нагреваемых в час.

Расход на 100 штук	Диаметр заклепки в *мм* [1]						
	12	14	16	18	20	22	24
Кокса в *кг*	8,2	9,2	13,1	18,0	22,9	27,8	32,8
Энергии в к V	3,0	3,8	4,6	5,5	6,5	8,7	11,3
Число заклепок, нагреваемых в час:							
в коксовых печах	130		110		100	85	75
в электрич.	220		205		150	130	106

При толщине склепки, не превосходящей 4,5 диаметров заклепки, заклепки нагреваются неравномерно по длине: до светлого каления нагревается конец, подлежащий расклепке, тогда конец с готовой головкой нагревается до красного цвета. При толщине склепки больше 4,5 диаметров заклепки следует применять заклепки с коническими головками (рис. 60) и давать им нагрев, одинаковый по всей длине, до светлого каления, обеспечивая этим обжатие стержня с обоих концов.

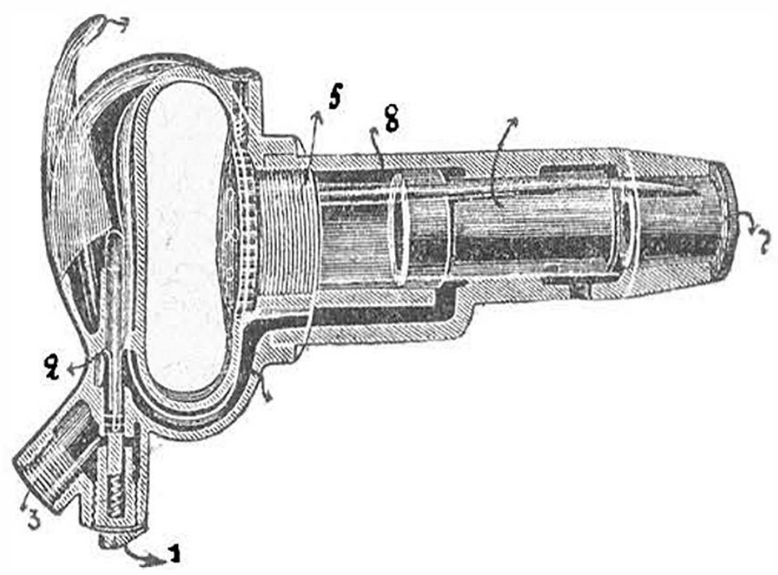


Рис. 80. Пневматический молоток.
1 — впускной клапан, 2 — букса впускного клапана, 3 — клапан для соединения с трубопроводом, 4 — курок для открытия буксы, 5 — коробка золотника, 6 — боек, 7 — отверстие для зубила, 8 — воздушные каналы.

Производство склепки в мостовом деле бывает ручное и машинное.

Процесс ручной склепки разделяется на два приема: 1-й, когда заклепка частыми ударами 8—10 *кг* молотками (рис. 79-а) осаживается в дыру, и 2-й, когда

[1]) Диаметр заклепок показан не стандартный и взят по данным наблюдений.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

она обжимается под ударами 20—25 *кг* кувалды (рис. 79-b). Для достижения возможно плотного заполнения отверстия во время первого периода работы обращается внимание на то чтобы первые удары не расплющивали заклепку, а приходились вертикально на ее стержень, так как под последующими ударами стержень расплющивается, и осадки не происходит. Второй период служит для образования обжимками головки (рис. 79-c), вызывающей трение между соприкасающимися поверхно-

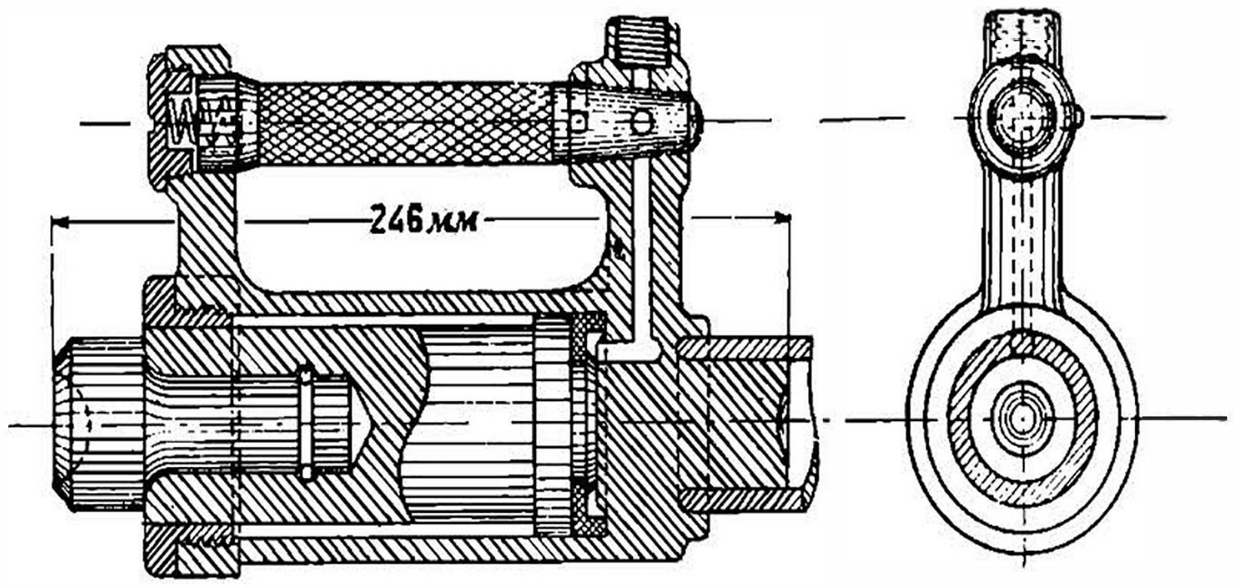


Рис. 81. Пневматическая поддержка.

стями металла, что возможно только при плотном прилегании всей головки. Во время обоих периодов работы заклепки удерживаются на месте под ударами молотков и кувалды путем упора в них поддержек (рис. 79-d), и так как хорошие результаты работы достигаются при безусловно неподвижном положении заклепки, то поддержки делаются возможно массивнее и на время производства работы или упираются в какой-нибудь неподвижный предмет путем распорного винта (рис. 79-e), или, если невозможен упор, нажимаются помощью ваг и т. п.

Недостаток ручной склепки заключается в сравнительной слабости ручного удара, распространяющегося только на ближайшую часть стержня заклепки, который главным образом и осаживается, тогда как отдаленная часть отверстия часто остается мало заполненной, чему содействует также довольно быстрое остывание заклепки уже под первыми ударами. Эти обстоятельства заставляют ограничивать применение ручной клепки толщинами, не превосходящими 4,5 диаметров заклепки. При больших толщинах ручная клепка заменяется пневматической или машинной.

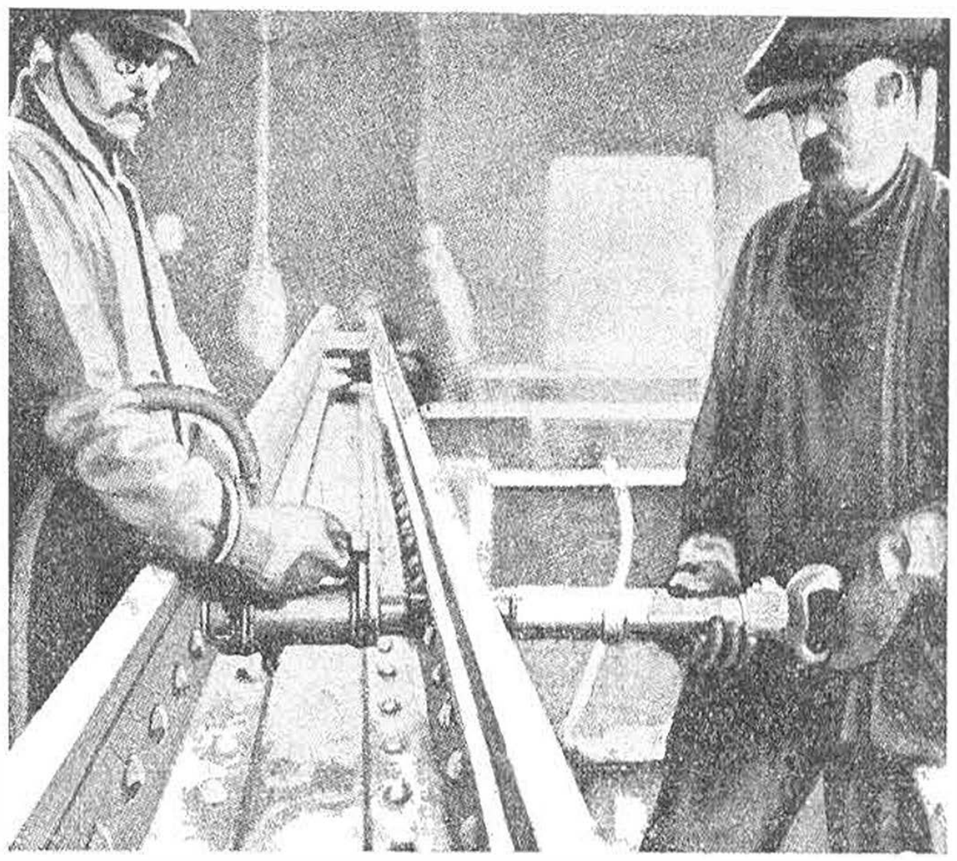


Рис. 82.

Для производства пневматической клепки служат специальные молотки (рис. 80), действующие рядом частых последовательных ударов, которыми уплотняется стержень заклепки и образуется головка; ручные поддержки в этом случае заменяются также пневматическими нажимными (рис. 81 bis). На рис. 82 показан общий вид установки при производстве ручной пневматической клепки.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Сами пневматические молотки требуют тщательного ухода за ними: их надо оберегать от засорения песком, в течение рабочего дня их следует 2—3 раза смазать внутри маслом, в нерабочее время (ночью) их следует хранить в керосине и через 2—3 дня их надо разбирать и прочищать.

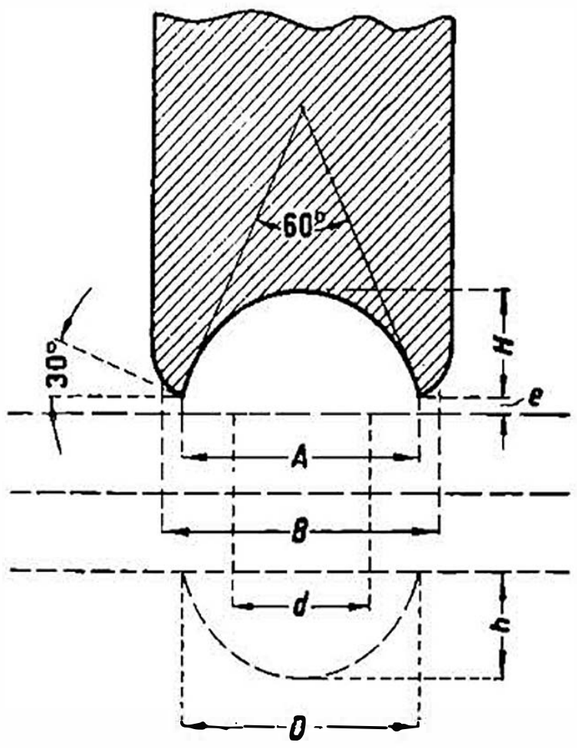


Рис. 83.

Преимущество пневматической ударной клепки заключается в большей силе ударов, чем при ручной, и в большей скорости образования заклепки, пока она еще не остыла. Однако злоупотреблять этим не при ходится, так как при сильном и быстром обжатии стержень заклепки не успевает заполнять отверстие по всей его длине.

Для образования правильных головок в заклепках обжимки, применяемые для ручной и пневматической клепки, должны иметь определенные размеры. В Германии они нормированы данными, указанными в таблице 4 (рис. 83).

ТАБЛИЦА 4.

Диаметр отверстия	Диаметр заклепки	Размеры головки в *мм*			Размеры обжимки в *мм*			
		D	*R*	*h*	*A*	*B*	*H*	*e=h—H*
14	13	21	11	8,5	21,5	28	7,2	1,3
17	16	26	13,5	10	27,0	34,5	8,4	1,6
20	19	30	15,5	12	31,0	38	10,4	1,6
23	22	35	18	14	36	44	12,1	1,9
26	25	40	20,5	16	41,5	50	13,8	2,2
29	28	45	22	18	46,5	55,5	15,5	2,5
32	31	50	25,5	20	51,5	61	17,2	2,8

Ниже приведены данные, характеризующие производительность ручной и пневматической клепки в течение 8-часового рабочего дня при различных диаметрах заклепок и расположении их.

А. Ручная клепка бригадой из 4 человек: клепальщик (VII разр.), два подручных (V разр.) и нагревальщик (III разр.) по хронометражу.

Диаметр заклепок в *мм*	13,5	16,5	19	22	25	28
Рядовая клепка при постоянном диаметре . .	510	445	370	295	217	154
Рядовая клепка при 3 диаметрах .	360	314	264	212	160	115
Групповая клепка при различных диаметрах .	308	262	223	185	139	103
Подборная клепка .	205	180	160	132	100	74

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Б. Пневматическая клепка бригадой из 3 лиц: клепальщик (VII разр.), подручный (IV разр.) и нагревальщик (III разр)

Диаметр заклепок *мм*	13,5	16,5	19	22	25	28
Рядовая клепка при 1 диаметре .	666	580	480	380	280	200
Рядовая клепка при 3 диаметрах	480	400	340	275	210	150
Групповая клепка при различных диаметрах .	400	340	290	240	180	130
Подборная клепка при 10—20 заклепках разных диаметров .	260	240	210	170	130	95

При составлении сметных калькуляций по обработке мостов можно принимать среднюю производительность в течение 7-часового рабочего дня:

ручной клепки 250 заклепок
пневматической 300 «

На больших заводах нередко для выклепки применяются клепальные машины, действующие давлением.

В машинной клепке не различается двух периодов работы, указанных для ручной клепки. Заклепки в этом случае одновременно под большим давлением осаживаются в отверстие и расклепываются. Весь процесс работы при машинной клепке в несколько раз быстрее, чем при ручной, вследствие чего заклепка не успевает охладиться и, находясь под большим давлением, более равномерно заполняет отверстие по всей длине, чем при ручной клепке; также и головки заклепок под большим давлением более совершенно прижимаются к металлу.

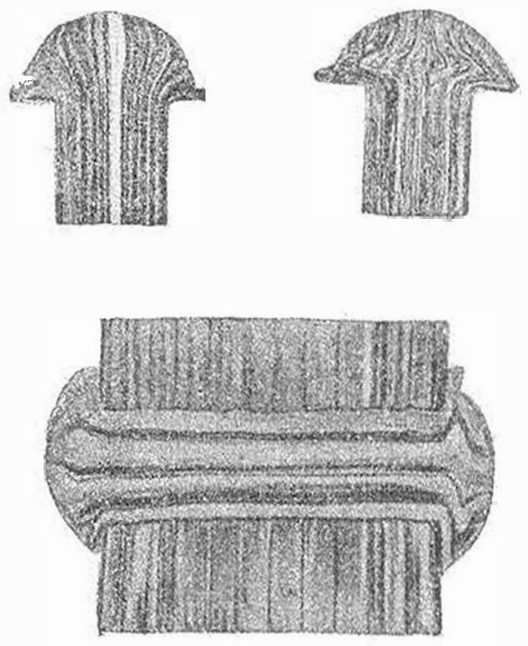


Рис. 84.

Разницу в образовании заклепок, забитых ручным и машинным способами, наглядно видно из рис. 84, где показаны заклепки, забитые ручным и машинным способом, а затем разрезанные по оси и вытравленные при помощи кислот [1]).

Насколько быстрота производства машинной клепки оказывается выгодной для заполнения отверстия, настолько она невыгодна для окончательного процесса клепки, а именно: заполнение отверстия и образование головки заклепок заканчивается уже в то время, когда заклепка имеет еще светло-красный цвет; если в это время отпустить обжимы машины, то заклепка под действием натяжения, возникающего от нагрева в склепываемых частях, удлиняется, и все соединение ослабевает. Ввиду этого при машинной клепке заклепки выдерживаются под давлением в течение 10 — 15 секунд, пока не охладятся до температуры темно-красного каления, когда они теряют свою эластичность.

Машинная клепка производится прессами: электрическими, гидравлическими и пневматическими, смотря по оборудованию завода, неподвижными или переносными (рис. 85 — 86). Во всех клепальных машинах образование заклепки производится двумя стальными штемпелями, из коих один поддерживает основную головку,

[1]) Frémont. «Revue d. Metall», 1908 г., № 10

НБ УДУНТ (ДІІТ)

в то время как другой надавливает на выступающий конец заклепочного стержня. Развиваемое клапельными машинами давление по опытам Консидера составляет около 0,8 — 1 $т/см^2$ площади поперечного сечения заклепки, так что для заклепок диаметром 26 *мм* требуются машины с давлением от 4,5 до 6,0 *т*. Обслуживаются машины 3 рабочими — клепальщик, подручный и нагревальщик. В течение 8-часового рабочего дня на машине, в зависимости от успешности подачи склепываемых частей, успевают забить 1 200 — 1 700 заклепок.

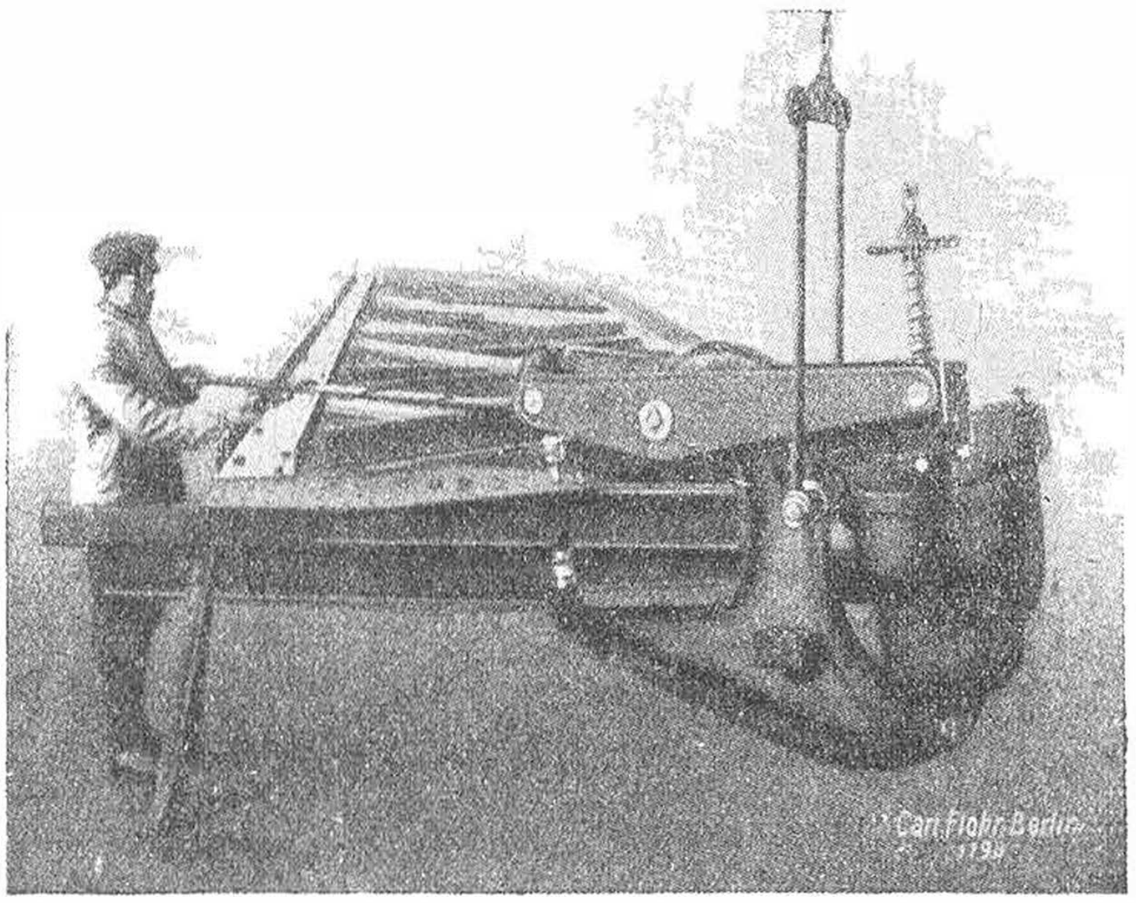


Рис. 85. Электрическая клепальная машина.

При производстве склепки вообще происходит нагревание окружающего материала, вызывающее перенапряжение его. Особенно же сильно развивается это нагревание при машинной клепке, производство работы в которой быстрее, чем в ручной и пневматической. Производство выклепки рядами от одного края к другому может вызвать чрезмерный односторонний нагрев материала, изменение его структуры и перекос стыка. В целях сокращения этого влияния рекомендуется: 1) не производить последовательной рядовой клепки и вести ее вразбежку, 2) охлаждать обжимки во время клепки струей воды и 3) по окончании клепки выдерживать заклепку под давлением в течение нескольких секунд.

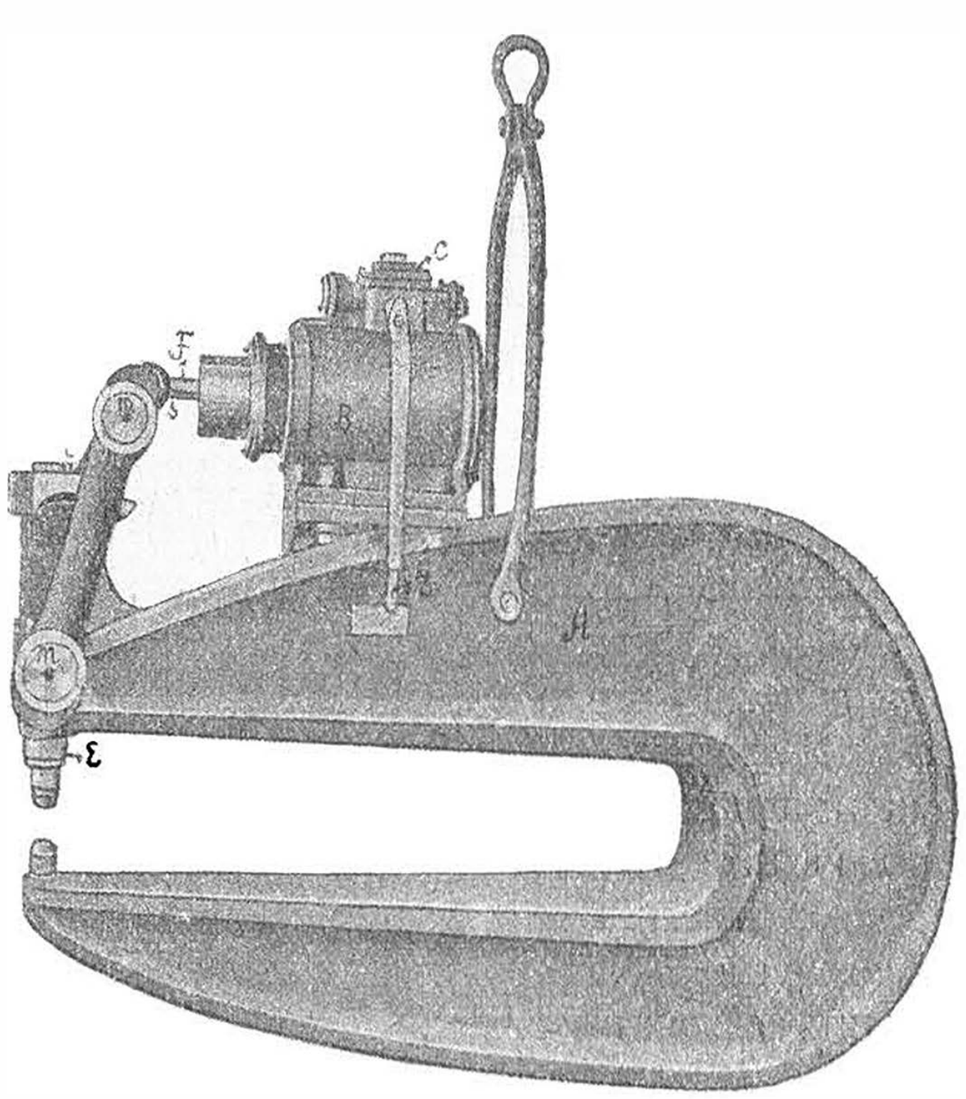


Рис. 86. Пневматический переносный пресс для клепки. Стальная станина A поддерживает цилиндр B с золотниковой коробкой C, в которой рычагом P регулируется ход золотника, а следовательно и поршня F, передающего свое движение помощью рычага St вертикальному стержню E.

Осмотр заклепок. Как при ручной, так и при машинной клепке все заклепки по охлаждении их тщательно осматриваются. Осмотр заклепок заключается в наружном осмотре заклепочных соединений, к которым предъявляются следующие требования:

1. Головки заклепок и металлические части не должны иметь щелей в местах соприкасания между собой (рис. 87-a), что поверяется засовыванием между ними стальной пластинки в 0,2 *мм*.

2. Головки не должны быть сбиты на бок (рис. 87-b) и не должны быть маломерны (рис. 87-c).

3. Головки не должны быть зарублены сверху случайными ударами обжимки (рис. 87-d), а также чтобы сам металл не был зарублен у краев головки. Последний недостаток не может быть

НБ УДУНТ (ДІТ)

исправлен срубанием заклепки, а потому необходимо следить за этим во время производства самой склепки.

4. Головки не должны иметь рваных краев (рис. 87-е), что свидетельствует или о плохом качестве заклепочного металла или о пережоге его.

5. Края головки должны быть обжаты вплотную (рис. 87-f).

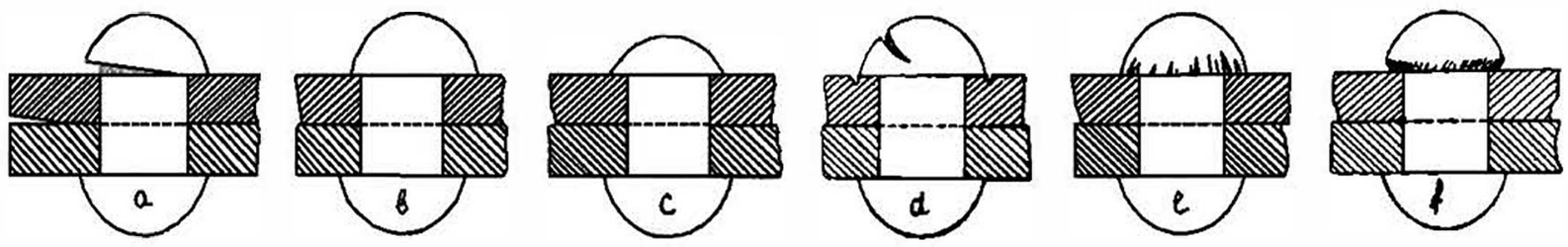


Рис. 87.

Все заклепки, не удовлетворяющие этим требованиям, срубаются и заменяются новыми; зачеканка щелей и головок не может быть применяема, так как при заполнении щели снаружи оставляются пустоты внутри, куда попадает влажный воздух, и образуется ржавчина. Кроме наружного осмотра прочность заклепок поверяется остукиванием их легким молотком: при ударе заклепки не должны издавать дребезжащего звука, и палец, подложенный под противоположную головку, не должен ощущать сотрясения. При наличности этих недостатков заклепки сменяются.

Как бы ни была тщательна клепка, всегда имеется известный процент брака, так как невозможно точно установить степень нагрева заклепки, правильность ударов, степень охлаждения заклепки и так далее. При опытных рабочих процент неудовлетворительных заклепок колеблется в пределах от 3 до 5%; больший процент указывает уже на плохое производство работы.

Все заклепки сейчас же после их осмотра, который в свою очередь производится непосредственно за произведенной клепкой, покрываются олифой с примесью железного сурика так, чтобы она охватила, как и самые заклепки, так и ближайшие поверхности металла; в противном случае все свежезаклепанные головки очень быстро покрываются ржавчиной, которая потом с трудом удаляется. Этот ржавый налет на свежих заклепках появляется уже при вечернем охлаждении воздуха, почему и не следует оставлять заклепки продолжительное время без окраски.

Болтовые соединения. Болты, употребляющиеся взамен заклепок, подвергаются точной пригонке путем обточки, соответственно проектному диаметру отверстия. Допуск в разнице диаметров болта и отверстия не должен превосходить 1% и во всяком случае не должен быть более 0,2 *мм*. Самое отверстие для болтов перед постановкой его рейберуется и промазывается олифой. По окончании постановки болта и натяжения гайки стержень болта расклепывается в предупреждение развертывания гайки от сотрясений.

Сварка. В последнее время в технике уделяется большое внимание вопросу о замене заклепочных соединений сваркой. Пока вопрос о применении сварки в пролетных строениях мостов находится в стадии проработки, но уже в настоящее время применение ее в неответственных частях мостов — в диафрагмах, перилах и пр., а также в металлических конструкциях — может быть осуществимо и обещает экономию как в весе, так и в производстве работ.

Сварка производится автогенным (кислородно-ацетиленовым пламенем) и электрическим способами. Последний имеет то преимущество, что при более быстром процессе самой сварки высылает нагрев свариваемого металла только в непосредственной близости от места сварки и поэтому не влияет на структуру прилегающего металла.

Из различных видов электрической сварки сварка вольтовой дугой является наиболее удобоприемлемой для сварки в металлических конструкциях, и именно сварка при помощи металлических электродов (способ Славянова). Преимущество этого способа в том, что сам электрод образует вольтову дугу, плавится в ней и дает материал для заполнения шва.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Электроды изготовляются из мягкой стали, химический состав которой рекомендуется в следующих соотношениях.

Углерода (*C*)	. 0,08—0,20%
Марганца *Mn*	. 0,25—0,60%
Силиция *Si* .	. 0,08—0,15%
Фосфора *P*, Серы *S*	не более 0,05% каждого

Марганец и углерод в электроде играют существенную роль, препятствуя окислению металла при его наплавке образованием паров окиси марганца, которые окружают дугу. Отношение содержания углерода к марганцу рекомендуется примерно 1 : 3.

Однако химический анализ не является решающим в оценке электродов, необходимо также обращать внимание на структуру их, которая должна быть одинаковой по длине и близкой к перлитовой. Разница в структуре влияет на процесс плавления. Сами электроды должны иметь равномерную толщину и поверхность их должна быть без плен, окалин и ржавчины, чем обеспечивается устойчивость дуги.

Обычно употребляемые электроды имеют диаметр от 4 до 8 *мм* и длину в 50 *см*. Диаметр электродов увеличивается в зависимости от толщины свариваемых частей. В зависимости от увеличения толщины электрода повышается и сила тока, которая принимается приблизительно в 8 — 10 А на 1 $мм^2$ сечения электрода.

В настоящее время получили большое распространение электроды с оболочкой. Состав оболочек весьма разнообразен и составляет секрет фабрикации. Наличие оболочки обеспечивает более постоянную и ровную вольтову дугу и равномер-

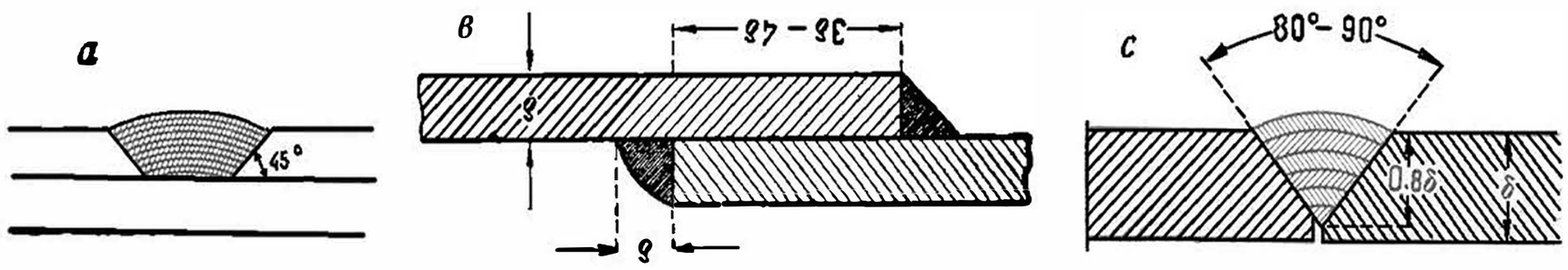


Рис. 88.

ное стекание электрода. Оболочки служат как бы чехлом для электрода и предохраняют его от окисления воздухом.

Для производства сварки применяется как постоянный, так и переменный ток.

Сваривание делается в стык и внахлестку. На рис. 88 показаны схемы сварки — как она выполняется в металлических конструкциях. При соединении в притык рекомендуется делать скосы кромок листов (рис. 88а), так чтобы угол, образуемый скошенными кромками, имел величину от 80 до 90°.

При толщине листов более 14 *мм* скосы делаются с обеих сторон листа в виде двух расходящихся конусов.

Сваривание в притык делается с наплывом так, чтобы толщина сварки составляла 1,20—1,25 толщины свариваемой части.

Соединение электрозаклепкой (рис. 88-с) осуществляется высверливанием конического отверстия в одном из свариваемых листов с заполнением его электросваркой. Уклон граней конической дыры делается под углом 45°.

Работы по сварке надо производить в закрытых помещениях, где легче обеспечить спокойное производство работы и наблюдение за ней.

При производстве сварки необходимо наблюдать за тем, чтобы:

1) поверхность сварки очищалась от грязи и шлаков, 2) длина пламени была не более 3 *мм*, 3) сварка велась слоями длиной 15 — 20 *см*, 4) перед наложением нового слоя поверхность предыдущего должна очищаться от шлаков и грязи молотком и металлической щеткой.

Для производства сварки рекомендуется соединять электрод с отрицательным полюсом и свариваемый металл — с положительным полюсом. При таком соединении в свариваемом металле образуются кратеры глубиной в 1—1,5 *мм*, которые заполняются материалом электрода.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Вообще производство сварки является крайне ответственным и может быть доверяемо только опытному, хорошо обученному рабочему, внимательно относящемуся к самому процессу сварки. Квалификацию сварщика проверяют по его работе; эта поверка заключается в том, чтобы полоса шириной 6 *см*, толщиной 12—13 *мм*, сваренная в притык при силе тока 225—250 А, давала сопротивление не менее 3 150 *кг/см*^{2}. Шов в изломе должен быть однородным, без трещин. К самому процессу сварки надо относиться с особым вниманием уже в силу того, что не выработаны еще методы освидетельствования ее качества и приемки, как это имеет место при контроле заклепочных соединений.

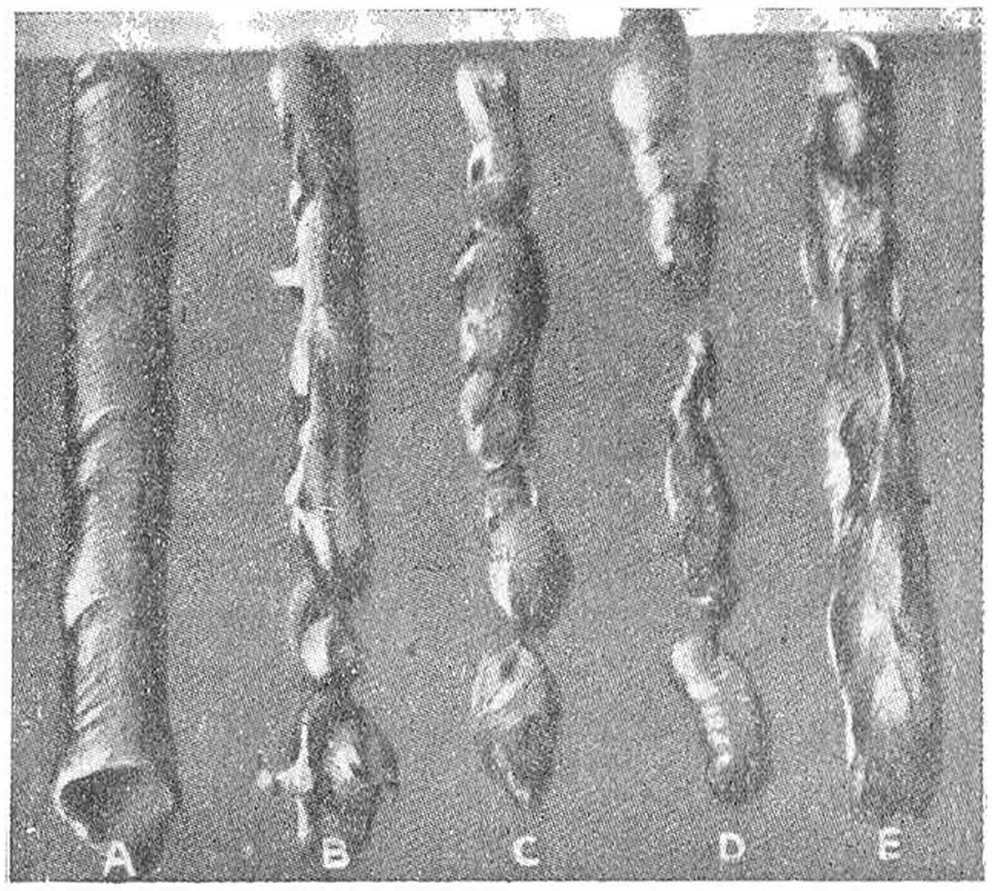


Рис. 89.

Пока приходится довольствоваться наружным осмотром, который в некоторой степени позволяет судить о качестве сварки. На рис. 89 дана характеристика качества сварки [1]): под буквой А показана хорошая сварка; под буквой В показана сварка плохого качества, произведенная при большой длине дуги; под буквой С показана сварка прерывающаяся свидетельствующая о неопытности сварщика; под буквой Д показана сварка производившаяся при слабом токе; под литерой Е показана сварка, произведенная при сильном токе — она тонка и расплывчата.

Следует иметь в виду, что при большой длине сварки нагрев металла вызываетв нем искривления, что приходится парализовать порядком производства работ в разных местах конструкций.

Развитие вопроса о применении сварки должно отозваться на изменении форм поперечных сечений свариваемых элементов и их узловых образований (рис. 90—91), а это в свою очередь должно повлечь за собой изменение в приемах работ по сборке, которая при сваркедолжна производиться без соединительных сборочных болтов и вместе с тем должн обеспечивать неподвижность как самих элементов в металле, так и отдельных привариваемых листов и уголков.

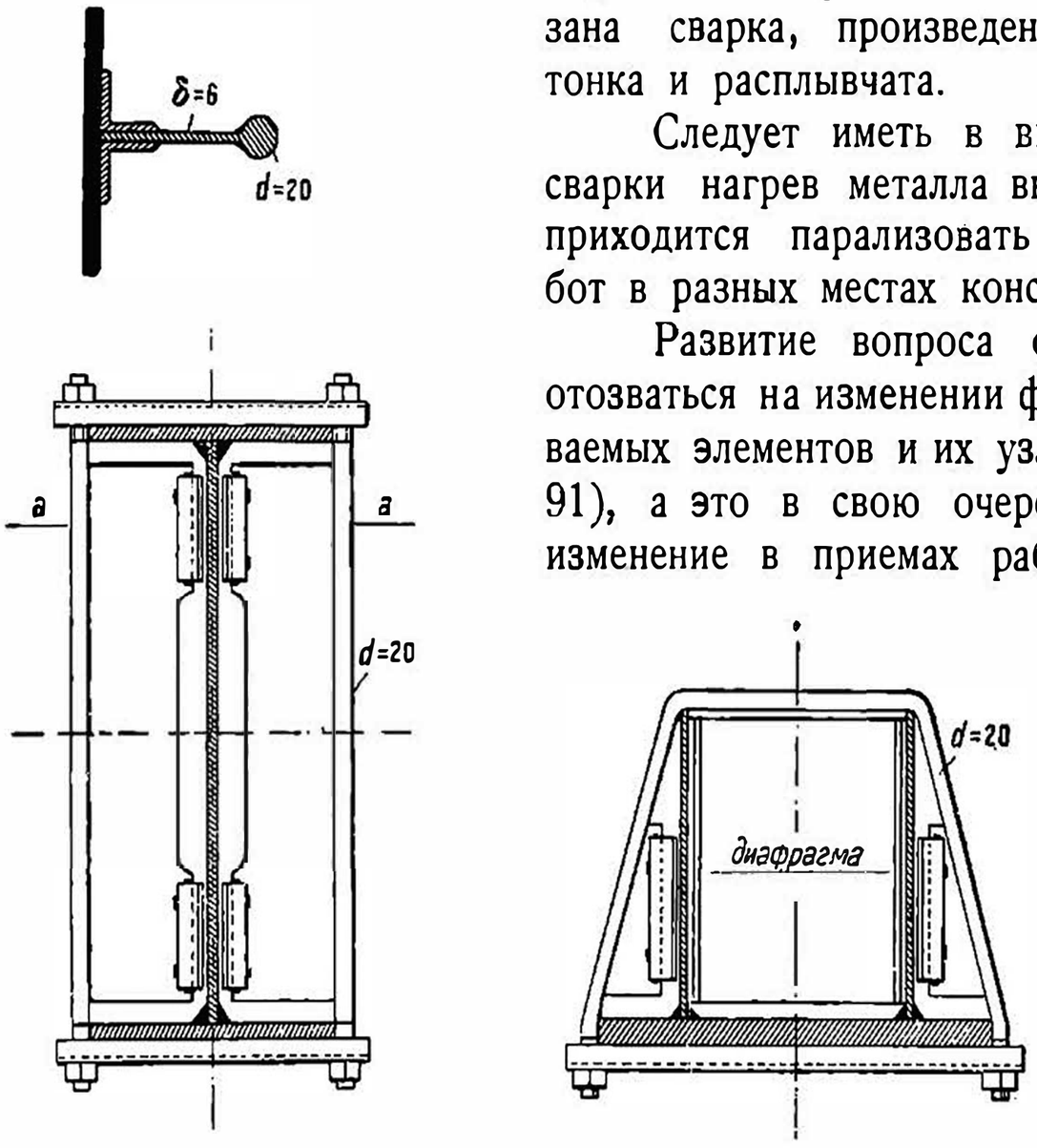


Рис. 90.

На рис. 90 показаны типы сжимов, примененны заводом Рудзского для сварки отдельных частей сквозного пролетного строения. Эти сжимы представляли собой хомуты из круглой стали d = 20 *мм*, охватывающие

[1]) Der Stahlbau. Heft. 16. 1929.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

все сечение; к хомутам приварены планки таврового сечения, обжимающие вертикальные листы сечения и удерживающие их в определенном положении. Такие хомуты располагались по длине части на взаимном расстоянии около 1 *м*.

Скрепленные хомутами листы, входящие в состав элемента, сначала привариваются один к другому в отдельных местах по длине элемента, а затем уже проваривается весь шов по всей длине.

Сравнительной характеристикой свариваемых и склепываемых пролетных строений могут служить данные о следующих мостах.

На рис. 91 показан один из узлов моста через р. Чикапи (Chicopee) с фермами пролетом 41 *м* и высотой 7,3 *м*. Сравнительная проектировка показала, что пролетное строение с клепаными узлами весит 120 *т*, такое же со сваренными соединениями весит 80 *т*. На изготовление этих пролетных строений были заявлены цены: за клепаное — 38 000 руб., за свариваемое — 30 000 руб. [1]).

Пролетное строение моста под шоссейную дорогу, построенного в Польше с применением только сварки, имело длину 27 *м* и весило 59 *т*, т. е. примерно на

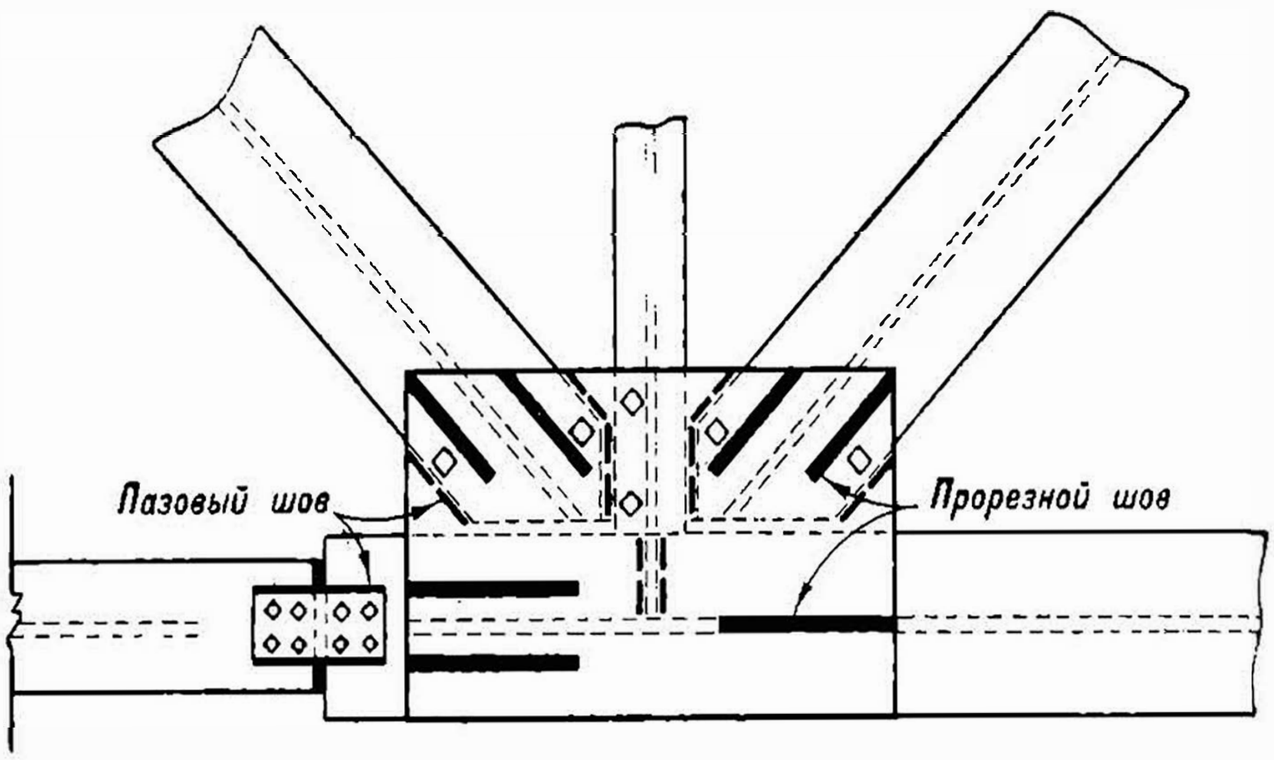


Рис. 91. Узловое соединение в ферме со сварочными скреплениями.

20% меньше такого же склепываемого пролетного строения. На производство сварки указанного пролетного строения потребовалось всего 2 000 рабочих часов; из них 1 100 часов в мастерских и 900 часов на месте работ [2]).

В Америке опытный рабочий в течение 8-часового рабочего дня сваривает от 3 до 3,5 пог. *м*, расплавляя в час около 0,8—1 *кг* металла, и получает за это около 8 долларов (≈ 16 рублей).

Расход тока на расплавление 1 *кг* металла может быть принят в среднем kWh6 ,5для постоянного тока и 4,6 kWh для переменного тока.

§ **13. Окраска.** Независимо от того, что весь металл перед сборкой очищается и покрывается олифой, он по окончании выклепки вновь подвергается окраске, которая состоит из загрунтовки и последующей окраски.

Вопрос о том, какова должна быть окраска металла, для того чтобы оградить его от вредного влияния атмосферной влаги, солнца и газов, неоднократно затрагивался в технической литературе и до сих пор остается невыясненным. Однако нет расхождения в том отношении, что окраска держится хорошо только в том случае, если хорошо произведена очистка металла от ржавчины, и тщательно сделана загрунтовка.

---

[1]) Schw. Baüzeitung. 1929. B. 93. № 2.

[2]) Baütechnik. 1929. H. 49—50.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Загрунтовка должна удовлетворять следующим условиям: она должна быстро просыхать, ложиться тонким слоем и легко расползаться по металлу. Условие скорой просыхаемости (в течение 8 — 10 часов после нанесения ее) необходимо для того, чтобы на нее, прежде чем она высохнет, не могла пасть роса или влага при вечернем охлаждении воздуха; этим же объясняется и требование тонкослойности, при которой загрунтовка скорее высыхает. Последнее условие, именно расползаемость, необходимо для более тщательного заполнения всех выбоин и щелей в металле. В предупреждение влияния влаги загрунтовку не следует производить в сомнительную погоду, а если производить, то в крытом помещении.

Масло, употребляемое для загрунтовки, должно быть чистое с возможно меньшим содержанием влаги, этому условию наиболее удовлетворяют растительные масла — льняное и конопляное.

Употребление для загрунтовки чистого масла нерационально. Оно хотя и удовлетворяет требованиям — растекаемости и тонкослойности, но медленно сохнет и всегда дает при прикосновении к нему прилипание, поэтому лучше производить загрунтовку олифой, которая представляет собой смесь масла с сикативными веществами, т. е. свинцовым суриком и зильберглетом. Последние, облегчая своим присутствием доступ кислорода из воздуха к внутренним частям окраски, ускоряют процесс затвердевания [1]). Смесь составляется в пропорции: на 25 *кг* сырого масла по 0,5 *кг* свинцового сурика и зильберглета.

Загрунтовка может производиться также вареным маслом, но тогда в него не следует прибавлять сикативные вещества, так как вареное масло само по себе просыхает довольно быстро. Качество олифы может быть легко проверено опытным путем, а именно: небольшое количество ее, растертое с примесью краски (охры, мумии или железного сурика) на стекле или жести, после 12 часов должно настолько засохнуть, чтобы не давать прилипания при прикосновении пальца. Если прилипание имеет место, то это указывает или на наличие примесей или на плохую варку, такая олифа для загрунтовки не допускается.

Окраска по загрунтовке служит для образования защитного слоя, назначение ее образовать тонкий слой, который защищал бы загрунтовку от действия непогоды, солнечных лучей, действия газов и пр., этот слой должен быть достаточно плотным и вместе с тем эластичным, чтобы воспринимать деформации, происходящие в металле под влиянием нагрева солнцем.

Дать окончательный отзыв — какая окраска для стали лучше — определенно нельзя, так как подобное заключение можно дать только по опыту окраски существующих конструкций; однако не всегда представляется возможным судить о качестве сохранения окраски, так как хотя сравнительная долговечность ее и может быть установлена путем записей, но не может быть учтено влияние на нее таких факторов, как переменное действие атмосферы, различие ее в момент окраски и др. Из существующих опытов можно вывести заключение, что суриковые краски лучше сопротивляются влиянию перемен в атмосфере. Окраска металла в серые и белые цвета, в состав которых входят свинцовые белила, хотя и дает более красивый вид, но менее прочна, — краска часто трескается от действия атмосферы.

Краска держится тем лучше, чем суше и мельче помол ее. Эти качества краски поверяются растиранием ее с примесью олифы на стекле или вообще на гладкой, непористой поверхности. Медленность высыхания краски и отлип ее по истечении 12 часов покажет, что краска недостаточно промыта и содержит кислоты и щелочь. По окончании высыхания слой краски должен отделяться со стекла ножом в виде тонкой эластичной ленты.

Качество окраски зависит не только от качества краски, но и от качества производства работы. Нельзя производить окраску по поверхности, мокрой от росы или дождя. Краска должна накладываться по загрунтовке только после окончательного высыхания последней; при несоблюдении этого неокрепшая загрунтовка, ока-

---

[1]) Примеси других красок в загрунтовку не должны допускаться.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

завшаяся под слоем окраски, продолжая затвердевание, вызовет появление в окраске пузырей, которые, лопаясь, откроют доступ влаги к металлу.

Краска обычно накладывается мягкими кистями, что дает хорошие результаты В последнее время за границей начинают применять накладывание краски при посредстве сжатого воздуха, через специальные наконечники. Преимущество этого способа заключается в быстроте работы: один рабочий в течение одной минуты покрывает краской 2 — 3 $м^2$ поверхности,—такая производительность равноценна производительности четырех маляров с кистью [1]). Трудность работы этим способом заключается в накладывании краски равномерным слоем, поэтому нередко в помощь ставится маляр с кистью, который сглаживает окрашенную поверхность.

Если металлические части будут в сооружении соприкасаться с землей или будут засыпаны балластом, то поверхности таких частей вместо окраски следует покрывать асфальтовой смолой.

Части металлических конструкций, заделываемые в бетон или цемент, вместо окраски покрываются цементным молоком.

Современная литература в настоящее время сильно занята вопросом о выработке нержавеющей стали, которая по условиям своего производства и по цене явилась бы доступной для изготовления мостов [2]). Мосты, изготовленные из такой стали, не страдали бы от ржавчины, что значительно сократило бы эксплоатационные расходы.

§ 14. Стоимость выпуска мостов из мастерских. Стоимость выпуска мостов из мастерских слагается: 1) из стоимости металла, с утерей его при обработке, 2) из стоимости производства самой работы по обработке металла и 3) стоимости накладных расходов по цеху и заводу.

Стоимость металла. Всякий заказ моста сопровождается исчислением действительного веса его. Однако количество действительного металла, идущего на изготовление моста, всегда превышает его действительный вес. Это объясняется тем, что, во-первых, в связи с необходимостью обработки весь металл заказывается с некоторым припуском, во-вторых, в процессе обработки часть материала выдавливается, высверливается и т. д. и потом заменяется заклепками и болтами; в результате всей обработки необходимо должны появиться обрезки, выдавки и пр.; часть этого материала должна утеряться.

Для того чтобы иметь возможность сделать некоторые выводы о течении материала, ниже в таблице 5 приведены отчетные данные одного завода СССР о движении материала в его мостовых мастерских. В этой таблице в процентах показаны средние годовые количества материалов каждого сорта, пошедшие на изготовление пролетных строений различного типа в течение отчетного года, а также и металлических конструкций.

Из данных этой таблицы видно, что, не считая веса литья в опорных частях, количество металла, необходимого для изготовления мостов, превосходит действительный расчетный вес в них примерно на 8%, в конструкциях — на 10%. Этот расход материала оправдывается данными отчета о возврате с производства обрезков, выдавок, сборочных болтов, брака заклепок и пр., хотя всегда имеется около 0,5 — 1% безвозвратной утери материала.

Снижение общего количества отхода материала может быть достигнуто путем заказа материала по точным обрезам, что иногда оплачивается особо. Но даже и при этом условии количество утери материала будет не менее 6%.

Приведенные в этой таблице данные о процентных соотношениях листового, углового и др. сортов металла, как средние годовые, служат обоснованием при вы-

---

[1]) «Der Eisenbau», 1912 г., № 10, S. 378.

[2]) К числу таких сталей относится сталь завода Унион (Union), химический состав которой: C 0,15, — 0,18%, Si ∼ 0,25%, Mg ∼ 0,8%, Cn 0,5 — 0,8% и Ch ∼ 0,4%. Временное сопротивление ∼ 53 — 58. Удлинение 22 — 24%. Сопротивление ржавчине в 4 раза больше, чем силициевой стали («Stahlbau» 1928 г.).

НБ УДУНТ (ДІТ)

ТАБЛИЦА 5.

Средний расход материала на мосты в процентном соотношении.

Производство мостов		1913 г.	24—25 г.	25—26 г.	26—27 г.	Среднее по новейшим проектам	Производство конструкций
Листовой металл	Листы	37,53	49,11	49,50	58,40		32,0
	Универсал	18,25	6,97	18,13	4,77		21,5
		55,78	56,08	62,63	62,17	62,40	53,5
Уголковый металл	Крупный	38,20	30,22	32,76	30,0		
	Средний	1,51	8,72	2,27	2,81		
	Мелкий	—	—	—	—		
		39,71	38,94	35,03	32,83	33,93	42
Сортовой металл	Крупный	0,55	1,55	0,39	3,45		
	Средний	2,84	2,26	1,0	1,07		
	Мелкий	0,53	0,01	0,12	—		
		3,92	3,93	1,40	4,52	2,96	7,5
Круглый металл	Заклепки	7,20	7,21	7,60	7,45		
	Болты	0,86	1,52	0,68	0,70		
		8,06	8,73	8,28	8,15	8,22	7,0
Шайбы, гайки, муфты и пр.		0,35	0,69	0,23	0,17	0,20	
Опорные части							
Всего		107,82	108,37	107,57	107,84	107,71	110,0

числении количества станков, потребных для обработки того или иного сорта металла по заданной производительности мастерских (§ 15).

Стоимость обработки. Стоимость производства работ в мастерской зависит от вида обрабатываемой конструкции, ее сложности, от характера оборудования самой мастерской, от стоимости рабочих рук в данной местности, от свойств самого материала, — т. е. будет ли это сталь 3 или сталь с повышенным сопротивлением, и ряда других причин; в зависимости от этих факторов цены стоимости обработки тонны металла на заводах значительно разнятся между собой, но все-таки по отчетным данным могут быть сделаны некоторые ориентировочные выводы о соотношениях стоимости отдельных видов работ и о влиянии их на общую стоимость.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Так как стоимость обработки прежде всего зависит от величины оплаты рабочих, то для ориентировки и возможности сопоставлений ниже приведены данные об оплате рабочих разных квалификаций в 1905 году при 10-часовом рабочем дне и в 1928 г. при 8-часовом рабочем дне в районах тех заводов и мастерских, отчетные данные которых использованы в последующем изложении:

Квалификация	Оплата рабочих	
	1905 г.	1928 г.
Младшие подручные	0 р. 75 к.	Разр. 21 р. 84 к.
Опытные подручные	0 р. 90 к.—1 р.	32 » 23 »
Слесаря, прессовщики	1 10 »—1 25 к.	42 61 »
Сверловщики, рубщики		53 » 12 »
Опытные слесаря	1 25 »—1 75 »	63 52 »
Клепальщики, сборщики		74 —
Мастера	2 р.	84 78 »

Для того чтобы охарактеризовать влияние на стоимость обработки самого способа обработки и степени оборудования в нижеследующей таблице 6 сопоставлены отчетные данные заводов и калькуляционные соображения о возможных изменениях этих стоимостей.

ТАБЛИЦА 6.

Стоимость рабочей силы по изготовлению мостов.

№№ по пор.	Наименование работ	Стоимость в рублях на тонну					
		1903—1905 гг.			1928 г.	Сметные	
		I	II	III	IV	V	VI
1	Разметка шаблонов .	1,69	1,73	1,00	0,98 [1])	1,02	1,19
2	Переметка металла .	0,77		0,31	0,87	0,63	1,02
3	Правка .	0,80	4,02	0,61	1,33	1,14	1,14
4	Обработка: пробивка, сверление, резка, строжка	1,39		3,36	3,87	3,79	4,18
5	Кузнечные работы: высадки, гнутье .	1,54			1,03	0,82	0,82
6	Сборка .	3,70	3,33	7,32	10,83	6,66	6,77
7	Фрезеровка .				4,54	0,38	0,24
8	Рассверловка .	3,39	5,34		4,98	1,69	1,85

[1]) Эта цифра представляется в этом году случайно снизившейся.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Продолжение таблицы 6

№№ по пор.	Наименование работ	Стоимость в рублях на тонну					
		1903—1905 гг.			1928 г.	Сметные	
		I	II	III	IV	V	VI
9	Клепка	2,46	3,39	3,66	0,62	3,01	3,01
10	Окраска	0,31	0,37	3,20	5,75	0,69	0,69
11	Подноска материала	около 2,00	1,72			1,50	1,50
12	Разные вспомогательные работы		2,34			1,48	1,48
13	Погрузка					0,67	0,67
	Всего	18,05	22,44	18,52	34,81	23,48	24,56

В I графе этой таблицы приведены отчетные данные о стоимости рабочей силы по обработке мостов на Александровском заводе Брянского об-ва, на котором обработка производилась с предварительным проколом на одноштемпельных станках при последующей сборке всех пролетных строений.

Во II графе приведены средние отчетные данные об изготовлении мостов для Вологдо-Вятской ж. д. (ср. таблицу 7). Процесс обработки был тот же, что и в первом случае, но так как эти мастерские были временные, то они были мало механизированы, почему большая часть рассверловки и вся клепка велись вручную, что отозвалось резким повышением стоимости по разделам 7, 8, 10 и 11; но зато сборка частично производилась отдельными элементами с контрольной сборкой одной фермы, что отозвалось на снижении стоимости по разделу 6.

В III графе приведены данные о стоимости работ по изготовлению сквозных пролетных строений на Коломенском заводе, на котором обработка дыр производилась сверлением и сборка велась отдельными элементами с контрольной сборкой одной фермы. Из сопоставления данных этой графы с первой видно, что стоимость обработки сверлением несколько дороже, чем пробивкой.

В IV графе приведены отчетные данные за 1928 г о стоимости обработки мостов на заводе имени тов. Петровского (б. Брянского общества). Процесс обработки на этом заводе сохранился тот же, что и в 1903 — 1905 гг., но завод лучше механизирован в смысле обслуживания кранами. Сопоставление этой графы с I дает представление о нарастании стоимостей по отдельным видам обработки.

В V и VI графах приведены калькуляционные данные о стоимости рабочей силы, сделанные в 1928 г. при разработке проекта расширения завода имени тов. Петровского; эти калькуляции составлялись с целью выяснения возможного снижения стоимости при различных методах обработки.

Данные V графы обработаны в предположении: предварительной пробивки на американских многоштемпельных станках, сборки отдельно всех элементов пролетных строений при последующей сборке из них контрольной фермы и при полной механизации рассверловки и клепки.

Данные VI графы обработаны в предположении: предварительной сверловки дыр, сборки отдельно элементов пролетных строений с параллельной сборкой контрольных ферм непосредственно из листов и уголков, при полной механизации рассверловки и клепки.

Из сопоставления данных этих двух граф видно, что стоимость в графе VI,

НБ УДУНТ (ДІІТ)

как и надо было ожидать, несколько выше по разделам 1, 2 и 3. Стоимость работ по сборке и рассверловке различается мало.

Сопоставление же данных V и VI граф с данными графы IV показывает, что снижение стоимости обработки существенно зависит от метода собственно сборки и механизации рассверловки и клепки (разделы 6, 7 и 8)[1]).

В таблице 7 приведены отчетные данные об изготовлении пролетных строений мостов для Вологдо-вятской ж. д., с показанием стоимости работ по отдельным пролетным строениям.

По этим данным видно, что отличие в общем распределении отдельных стоимостей по пролетам имеет место только в стоимости клепки мостов со сплошной стенкой, ложащейся большей стоимостью на тонну металла, чем в мостах сквозных. Это увеличение стоимости отмечалось также и на других заводах.

Все данные таблиц 6 и 7 относятся к изготовлению мостов из стали 3. При применении для изготовления мостов сталей повышенного сопротивления — никкелевой, силициевой или других, — эти стоимости должны несколько измениться.

По данным Вадделла (Wadell)[2]) повышение стоимости обработки никелевой стали по сравнению с обработкой стали 3 определяется для отдельных видов работ следующими цифрами:

Наименование работ	Стоимость обработки в руб. на тонну		Отношение стоимостей
	сталь 13	никел. сталь	
Разметка .	— 3 р. 11 к.	— 3 р. 89 к.	1,25
Изготовление шаблонов .	— 1 » 56 »	— 1 » 94 »	1,25
Обрезка и правка .	— 1 56 »	— 1 » 72 »	1,10
Пробивка дыр .	— 3 » 11 »	— 3 » 89 »	1,25
Пригонка и сборка . .	— 4 » 67 »	— 5 » 14 »	1,10
Рассверловка .	— 5 » 84 »	— 6 » 44 »	1,10
Фрезеровка .	1,28—0,78	1,90—1 » 16 »	1,50
Клепка .	10,26—6 р. 26 к.	13,30—8 » 11 »	1,30
Окраска . .	1,92—1 » 17 »	— 1 » 44 »	1,21
Разные работы . .	— 1 » 56 »	— 1 » 56 »	1,00
		в среднем .	1,19

Отсюда видно, что повышение стоимости обработки никелевой стали над стоимостью обработки стали 3 составляет 15—20%. Это повышение стоимости является результатом, во-первых, большей сопротивляемости никелевой стали таким видам обработки, как резка, пробивка, сверление и пр., во-вторых—снижения веса, вследствие чего такие работы, как разметка, клепка и др., ложатся большей стоимостью на каждую тонну изделия.

---

[1]) Аналогичные вычисления приведены в статье В. П. Николаева, «Мостостроение в СССР, Америке и Германии», журнал «Металл» за 1928 г., №№ 5 и 6. По данным этой статьи работы по V рубрике оцениваются 22 р. 03 к., по VI рубрике — 23 р. 74 к.

[2]) Proceeding of Amer. Soc. of Civil. Endin. 1908 № 7.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ТАБЛИЦА 7.

Стоимость обработки мостов во временных мастерских для Вологдо-Вятской ж. д. (1903—1905 гг.)

Пролет моста в саженях	Число пролетов	Вес моста в пудах	Стоимость рабочей силы																			
			Разметка шаблонов и переметка			Обработка, правка, кузн., обрезка, пробивка и пр.			Сборка с прирубкой			Рассверловка			Клепка			Окраска (одна работа)			Полная стоимость		
			Всего		На пуд	Всего		На пуд	Всего		На пуд	Всего		На пуд	Всего		На пуд	Всего		На пуд	Всего		На пуд
			Руб.	К.	Коп.	Руб.	К.	Коп.	Руб.	К.	Коп.	Руб.	К.	Коп.	Руб.	К.	Коп.	Р.	К.	К.	Руб.	К.	Коп.
1	6	395	99	22	2,53	39	17	9,91	12	37	3,14	21	55	5,45	33	54	8,50	3	20	0,81	119	75	30,32
2	16	2 382	47	03	1,98	154	82	6,50	148	35	6,23	175	71	7,38	221	27	9,29	12	73	0,53	759	91	31,9
3	13	3 229	55	67	1,72	154	47	4,78	183	33	5,68	214	31	6,64	257	79	7,98	23	23	0,72	880	80	27,5
4	5	2 046	49	42	2,42	135	45	6,62	122	96	6,01	123	17	6,02	162	23	7,93	13	73	0,67	606	96	29,7
5	3	1 775	58	11	3,27	110	38	6,22	114	29	6,44	125	09	7,05	136	39	7,68	12	89	0,73	557	15	31,4
6	2	1 518	66	16	4,36	68	90	4,54	91	26	6,01	142	49	9,38	84	45	5,56	11	33	0,75	464	59	30,06
7	2	1 948	55	51	2,85	103	32	5,30	98	40	5,05	178	41	9,16	62	64	3,22	10	70	0,55	508	98	26,1
8	2	2 718	85	49	3,13	213	64	7,86	183	20	6,74	319	47	11,75	84	32	3,10	12	25	0,45	898	37	33,1
9	2	4 975	216	13	4,36	391	30	7,86	256	12	5,15	519	36	10,44	203	18	4,10	25	37	0,51	1 612	06	32,4
10	2	3 122	127	20	4,08	215	04	6,89	195	71	6,27	348	38	11,15	141	70	4,54	16	39	0,53	1 044	42	33,5
15	3	13 450	153	92	1,14	925	43	6,88	785	36	5,84	1 443	16	10,73	603	96	4,49	101	84	0,76	4 013	67	29,9
15	1	3 453	186	20	5,39	223	03	6,46	212	90	6,17	331	41	9,60	157	52	4,56	19	61	0,56	1 130	67	32,8
25	1	9 242	280	39	3,03	632	84	6,85	505	55	5,47	900	64	9,74	431	45	4,67	52	53	0,57	2 803	40	30,3
30	3	39 466	410	00	1,04	2 542	40	6,44	1 352	88	3,43	2 580	93	6,54	1 641	96	4,16	240	91	0,61	8 769	08	22,2
45	1	25 150	548	71	2,18	1 179	12	4,69	916	72	3,65	2 241	37	8,91	769	33	3,06	116	86	0,46	5 772	11	23,0
—	—	114 859	—	—	2,82	—	—	6,51	—	—	5,43	—	—	8,67	—	—	5,52	—	—	0,60	—	—	29,70
Средн. стоим. в рубл. н/тонну			1,73	—	—	4,02	—	—	3,33	—	—	5,34	—	—	3,39	—	—	0,37	—	—	18,35	—	—

НБ УДУНТ (ДІІТ)

К таким же выводам приходит Шанцер (R. Schanzer)[1]), который указывает, что вся ручная обработка никелевой стали, в том числе и пневматическими приборами, значительно тяжелее и медленнее, чем стали 3. Тяжелее становится правка такой стали, для чего требуется увеличение мощности машин, значительно замедляется сверление и изнашиваются сверла при обработке и т. д.

Все вышесказанное относится к никелевой стали, но нет никаких оснований предполагать, что те же явления не будут иметь места при обработке других сортов сталей повышенного сопротивления.

Мнения специалистов (Schapper, Bohny и др.) о повышении стоимости обработки силициевой стали различны. У нас в союзе нет еще достаточного опыта для выявления действительного повышения ствимости обработки этой стали.

По данным завода имени т. Петровского, обрабатывавшего силициевую сталь для Днепровского моста, выявилось, что производительность по отдельным видам работ снизилась:

по пробивке дыр на	0%	по строжке на	7%
» наметке »	. 8%	» клепке элактр. маш. на	. 12%
сверловке » . .	. . . . 14%	» ручной клепке »	. 5%
» рассверловке пневматич. машинками на	9%	» по пневматич. рубке »	16%

Из этих данных видно, что производительность значительно снижается там, где имеет место резка. Пробивка не снизилась заметно только потому, что производительность пробивки зависит от силы станка и числа ходов подушки в минуту; сопротивляемость же материала не имеет большого значения.

Необходимо однако считаться с тем, что приведенные цифры недостаточно характеризуют увеличение стоимости обработки и, быть может, она является преувеличенной в смысле снижения производительности. Но повышение стоимости будет иметь место от большого износа инструмента (резцов, сверл и пр.)[2]), а также от большого расхода энергии.

Последнее подтверждается опытами автора по изучению сопротивляемости пробивке силициевой стали и стали 3, поставленных в одинаковые условия. На рис. 92 показаны полученные в результате ряда опытов кривые работ, затрачиваемых на пробивку одинакового отверстия в листах одинаковой толщины из силициевой стали (1) и стали 3 (2). Количество затрачиваемой работы при пробивке листа силициевой стали на 15% больше, чем листа из стали 3. Такое излишнее количество работы не может не отражаться при массовом производстве работ.

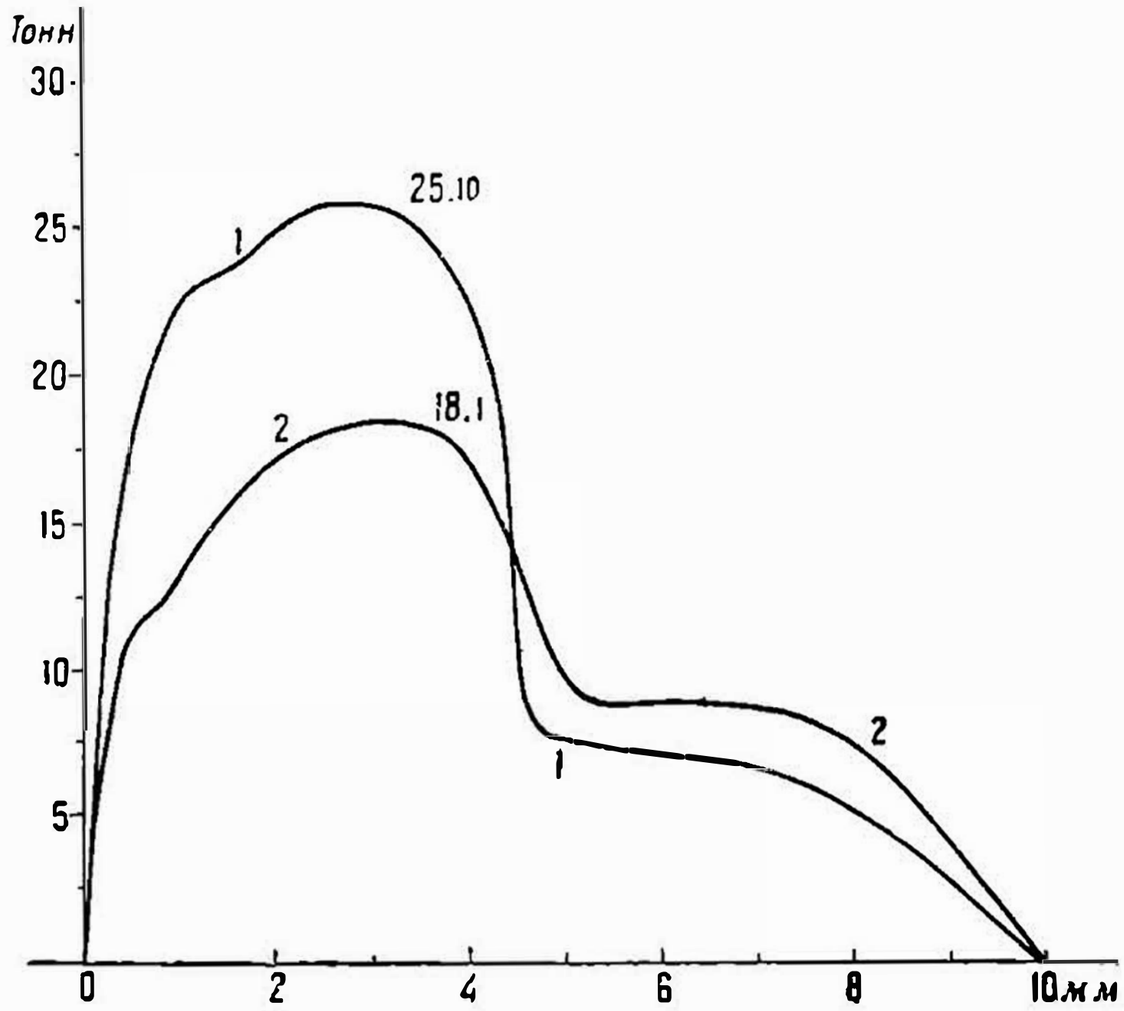


Рис. 92.

В Германии большее внимание уделяется сейчас новой углеродистой стали 52, имеющей механические свойства, одинаковые с силициевой, но легче обрабатываемой.

---

[1]) «Der Eisenbau» 1913 г., № 3, стр. 99.

[2]) Инж. Bohny дает указание, что при сверлении силициевой стали расходуется сверл вдвое более, чем при сверлении стали 37 (Bautechnik 1929. H. 36, стр. 546).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Добавочные и накладные расходы. В таблице 6 приведены данные о стоимости только рабочей силы по изготовлению самого моста, но в нее не входит стоимость рабочей силы по изготовлению заклепок, опор и пр., а также обязательных начислений на нее. Кроме того производство мостов связано с расходом материала, содержанием технического персонала, цеха и пр.

Некоторые из этих расходов, как-то: стоимость рабочей силы по изготовлению заклепок, болтов, опор, — находится в прямой зависимости от веса мостов [1]). На многих заводах, заказывающих заклепки, болты и опоры на стороне, стоимость их изготовления естественно относится к стоимости материала.

По отчетным данным за 1928 г. завода имени тов. Петровского в Днепропетровске добавочные и накладные расходы исчислены в следующих цифрах:

	Руб.	В процентном отношении к рабочей силе
1) Рабочая сила по производству (таблица 6)	34,82	—
2) Краска и олифа	2,02	—
3) Начисление на рабочую силу .	5,95	17,05
4) Цеховые расходы:		
а) Содержание технического персонала . . . . . Р. 4,41		
б) Накладные расходы по рабочей силе—охрана труда, оплата простоев и пр. . . . . » 5,81		
в) Содержание и ремонт помещения . . . . . » 6,22		
г) Содержание и ремонт оборудования и инструмента . . » 5,81		
д) Электроэнергия . . . . » 3,12		
е) Разные работы и расходы . » 3,85	28,95	81,90
5) Амортизация	5,44	16,70
	77,18	115,65

Кроме этих расходов на этом заводе существует особое отчисление на покрытие общезаводских расходов.

По отчетным данным за время с 1891 по 1905 г. того же завода, именовавшегося ранее Александровским заводом, соотношение средних стоимостей по рабочей оплате и накладным расходам определяется следующими цифрами [2]):

	Руб.	В процентном отношении к рабочей силе
Стоимость рабочей силы .	18,25+0,31 [3]) = 18,56	
» окраски . . .	1,20—0,31 = 0,89	
Цеховые расходы с амортизацией	18,64	100%

По отчетным данным об изготовлении мостов для Вологдо-Вятской ж. д. добавочные и накладные расходы составляли:

	Руб.	В процентном отношении к рабочей силе
1) Рабочая сила по производству (таблица 7)	22,32	
2) Цеховые расходы:		
а) Содержание технического персонала и заводской администрации . . . . . Р. 5,43		
б) Пособия и лечение рабочих . . . » 1,58		

[1]) По калькуляционным исчислениям завода им. тов. Петровского стоимость кузнечных и механических работ по изготовлению заклепок, болтов, инструмента и опор исчислена 3 р. 55 к на тонну без социальных и профессиональных начислений.

[2]) Данные по годам приведены в первом издании этой книги (таблица 6); там же выведены средние стоимости в рублях на пуд, использованные здесь с переводом в рублях на тонну.

[3] 0,31 — стоимость работы по окраске.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

	Руб.	В процентном отношении к рабочей силе
в) Содержание мастерской .	3,87	
г) Заготовка и ремонт инструмента . . .	1,48	
д) Разные расходы . .	2,20	65%
	14,56	

В эту стоимость не вошла амортизация имущества.

С введением большей механизации в цехе, влекущей за собой повышение стоимости оборудования и снижение стоимости рабочей силы по изготовлению мостов, процентное соотношение накладных расходов к стоимости рабочей силы должно возрасти.

Так например по сметным данным приведенным В. П. Николаевым в статье «Мостостроение в СССР, в Америке и Германии» [1]), соотношение стоимостей накладных расходов к рабочей силе по производству в хорошо механизированном цехе составляет:

1) При производстве работ с предварительной пробивкой на многоштемпельных станках (ср. графу V таблицы 6) . . . $\frac{37,84}{22,03} \times 100 = 172\%$

2) При производстве работ с предварительным сверлением (ср. графу VI той же таблицы) . . $\frac{37,61}{23,74} \times 100 = 161\%$

В эту стоимость включена амортизация оборудования и построек.

В действительности стоимость выпуска мостов на заводах СССР значительно выше выпускной стоимости завода имени тов. Петровского, как это можно видеть по данным вышеуказанной статьи В. П. Николаева, что находит себе оправдание в слабом оборудовании их и малой механизации.

§ 15. Мостовые мастерские и их оборудование. По характеру и последовательности производства работ мастерские, изготовляющие металлические мосты и конструкции, подразделяются на следующие основные отделы.

1. Склад сырого материала.
2. Разметочная или шаблонная.
3. Собственно мастерская, включая сюда и кузницу [1]).
4. Сборочная.
5. Склад готовых изделий.

К этим основным отделениям надо присоединить ряд вспомогательных устройств, как-то: инструментальную, механическую, по обработке литых частей, заклепочную и болтовую, кладовые, контору и пр.

Планировка мастерских в существенной мере зависит от методов обработки, намеченных на заводе. Если например окончательная сборка производится в виде отдельных элементов, а не целыми фермами, то представляется вполне целесообразным сборку объединить в одном здании с отделением собственно обработки, сборку же пробных фасадов и пр. вынести на особые стелажи, так как эта сборка требует больших пространств.

В своем взаимном расположении мастерские должны удовлетворять основному условию: последовательному поступательному движению материала в течение всей его обработки, т. е. такому движению, когда материал не делает обратных петель и больших заходов.

Так как обработка больших конструкций и мостов связана с перемещением внутри мастерских больших тяжестей, то мастерские по изготовлению металлических конструкций должны быть хорошо оборудованы механическими устройствами для

---

[1]) Журнал «Металл» 1928 г., № 5.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

подъема и перемещений тяжелых частей, т. е. кранами, путями и т. п. Устройство и взаимное расположение этих приспособлений по характеру работы в мостовых мастерских должно удовлетворять возможности перемещения материала вдоль и поперек всей мастерской, причем потоки отдельных сортов материала не должны встречать препятствий в своем движении при пересечении их другим потоком; если же такое пересечение в плане имеет место, то оно должно быть расположено в разных уровнях.

Среди больших мастерских по обработке конструкций имеются мастерские с основными попереч-ным и продольным движением материала.

Когда в основу кладется поперечное движение материала, склад прибытия необработанного металла (стали 3) располагается сбоку здания мастерских. Примером такой планировки могут служить заводы Гутехофнунгсхютте (Gütehofnungshütte) (рис. 93) и Гаркорт — (Harkort) (рис. 94) в Германии. Само здание мастерской в этом случае планируется из трех или двух параллельных зал. В первом из них, ближайшем к складу, размещаются станки для обработки металла (дыропробивные, сверлильные, строгальные и др.); в среднем — помещаются сборочны стелажи; третий же зал служит для клепки, окраски и окончательной отделки выпускаемых изделий. При устройстве в мастерской двух зал (завод Гаркорт) клепка и окраска выносятся в особые здания, или пристройки.

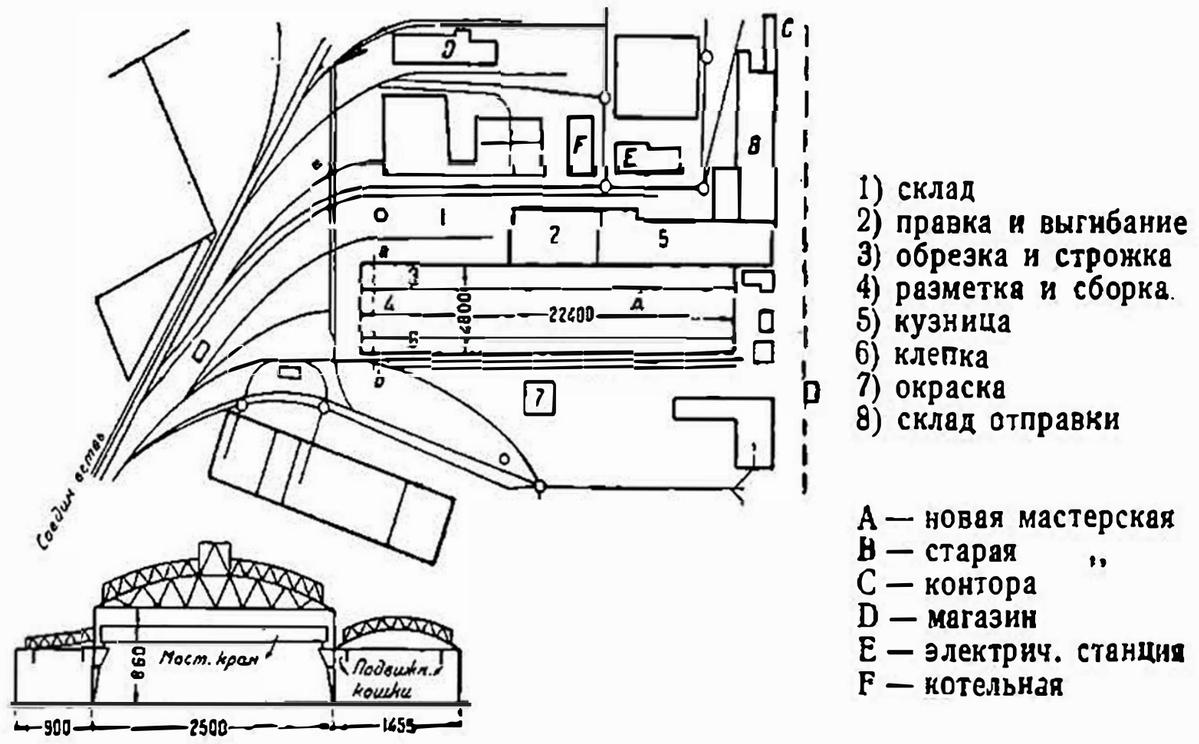


Рис. 93. Мостовая мастерская завода Гутехофнунгсхютте.

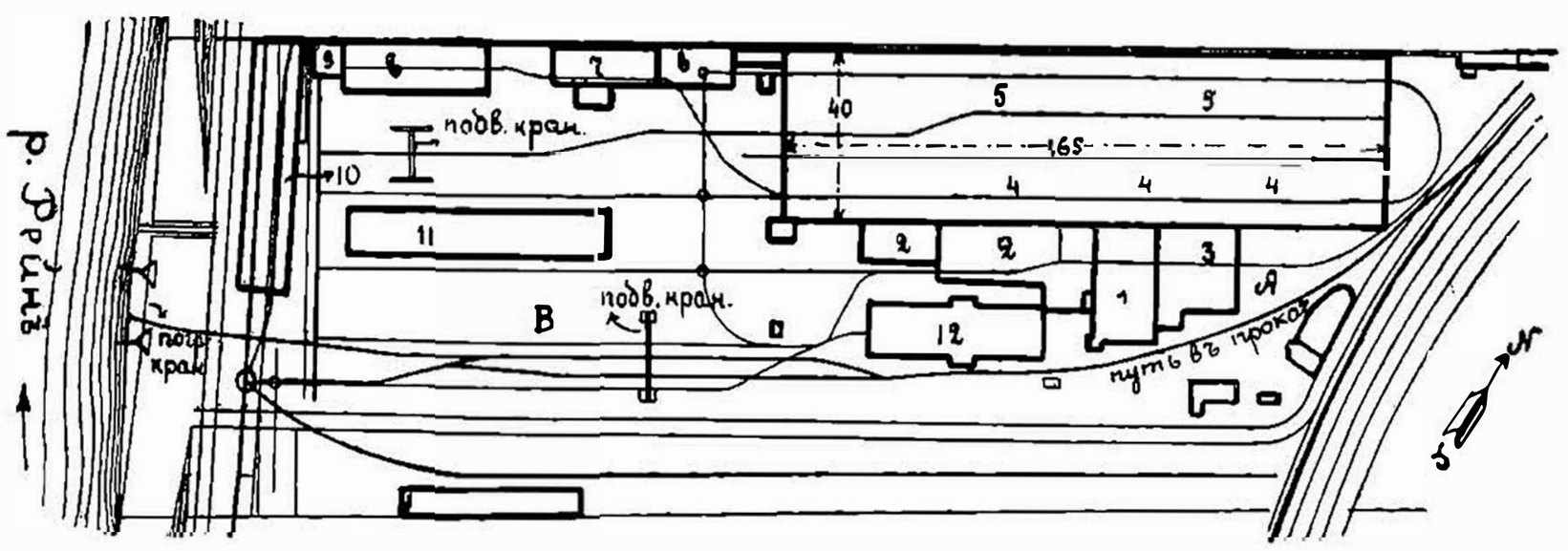


Рис. 94. Мостовая мастерская завода Гаркорт.

A — склад прибытия
B — » готовых изделий

1. Котельное и машин. отдел.
2. Кузница
3. Правка металла
4. Обработки металла
5. Сборка
6. Клепка
7. Очистка и окраска
8. Слесарная
9. Заклепочное отделение
10. Кладовые
11. Компресорное
12. Чертежная

Материал со склада (рис. 93) несколькими потоками соответственно сортам металла (листовой, полосовой, угловой и фасонный после правки (1) направляется в отделение для обработки (3), причем подача его производится помощью вагонеток или по роликам; часть материала, подвергающаяся кузнечной обработке, заходит в кузницу (5) и после этого поступает в мастерскую (3). Из мастерской материал проходит непосредственно на сборочные стелажи во второй зал (4). Обычно при такой планировке мастерских они в каждом своем зале обслуживаются мостовыми кранами, двигающимися по продольному пути. Такое крановое устройство

НБ УДУНТ (ДІІТ)

обеспечивает перемещение материала по площади, ограничиваемой его путями, но оно неудобно для передачи материала из отделения обработки на сборку, вследствие чего здесь приходится делать дополнительные устройства в виде консольных кранов с местным обслуживанием, мостовых кранов с вращающимися в них консольными подвесками (рис. 95) и т. п. Тот же недостаток имеет место и при передаче собранных частей в третий зал (6) для клепки и окраски.

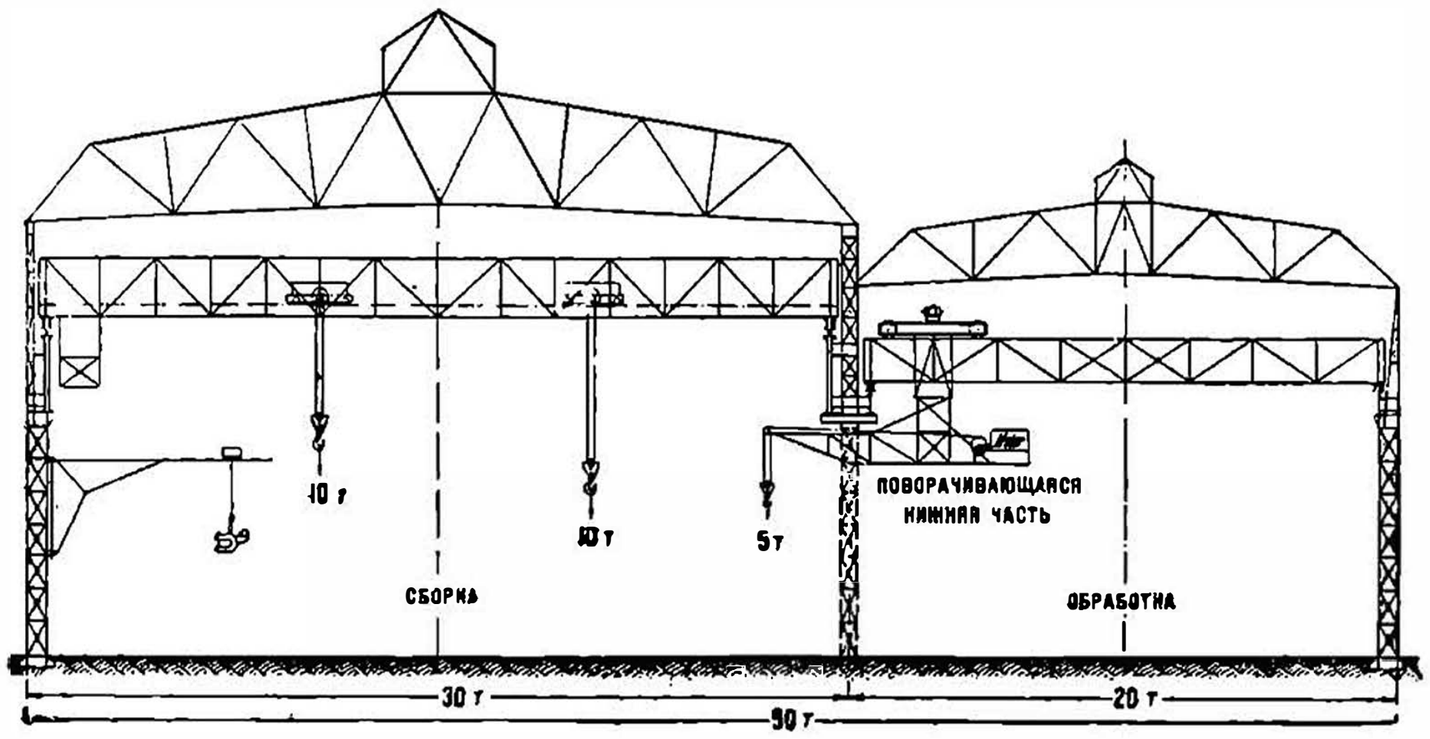


Рис. 95.

Этот недочет в передаче материала из района действия одного крана в район действия другого крана может быть устранен путем объединения всей площади мастерских в одном зале с заменой колонн подвесками к стропилам, по которым укладываются рельсы крановых путей (рис. 96); но при таком устройстве сильно

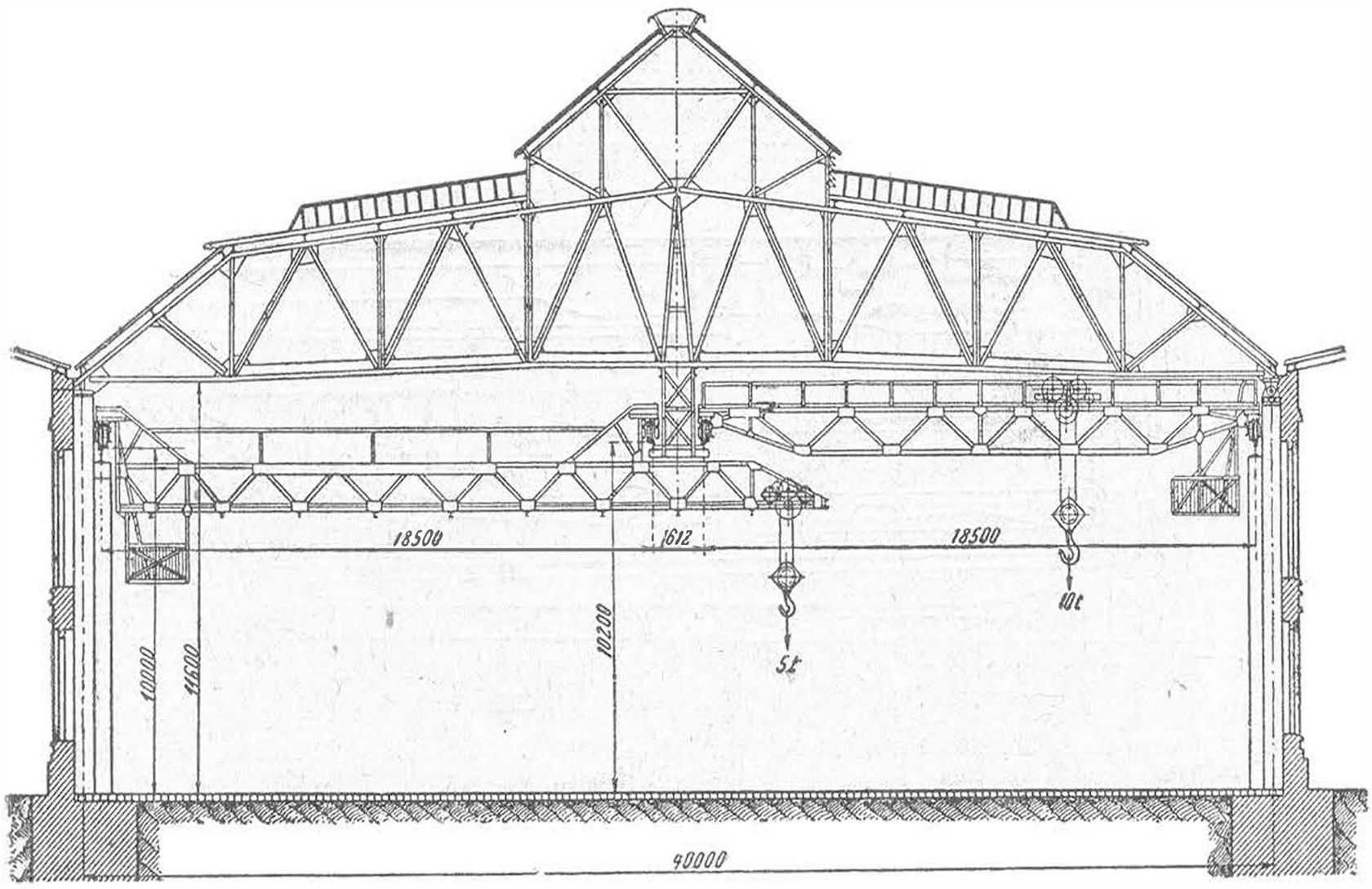


Рис. 96.

нагружаются стропильные фермы, так что применение его должно быть оправдано калькуляционными вычислениями.

Когда в основу планировки кладется продольное движение материала, склад сырого металла располагается с торцовой стороны здания; отсюда он, пройдя через правку, поступает в ту часть мастерской, где производится переметка обработка его под станками (рис. 97 — 98). При таком расположении все про-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

движение материала как по складу, так и при передаче в мастерскую удобно обслуживается продольными мостовыми кранами.

Материал, рассортированный на складе по сортам: листовое, полосовое, угловое и фасонное, проходит переметную и мастерскую отдельными потоками, соответственно чему планируется рядовое расположение станков для последовательной обработки каждого сорта; при такой планировке станков материал, независимо от обслуживания кранами, без затруднения продвигается от станка к станку на роликах или специальных каретках (см. рис. 102).

Из отделения обработки материал вывозится в отделение сборки, помещающееся в том же здании. Рациональная постановка работ по сборке требует предварительной сортировки металла по маркам, что вызывает необходимость выделения перед сборочными стелажами площади для сортировки. На некоторых заводах развитие этой площади, равно как и площади стелажей, делают путем уширения здания (рис. 98); такое уширение можно считать рациональным, так как при узкой, удлиненной форме площади сортировки и сборки имеет место большая переброска материала, поступающего из обработки и идущего на сборочные стелажи. Удобство сортировки металла требует свободного перемещения его как в продольном, так и в поперечном направлениях; последнее не удовлетворяется при обслуживании

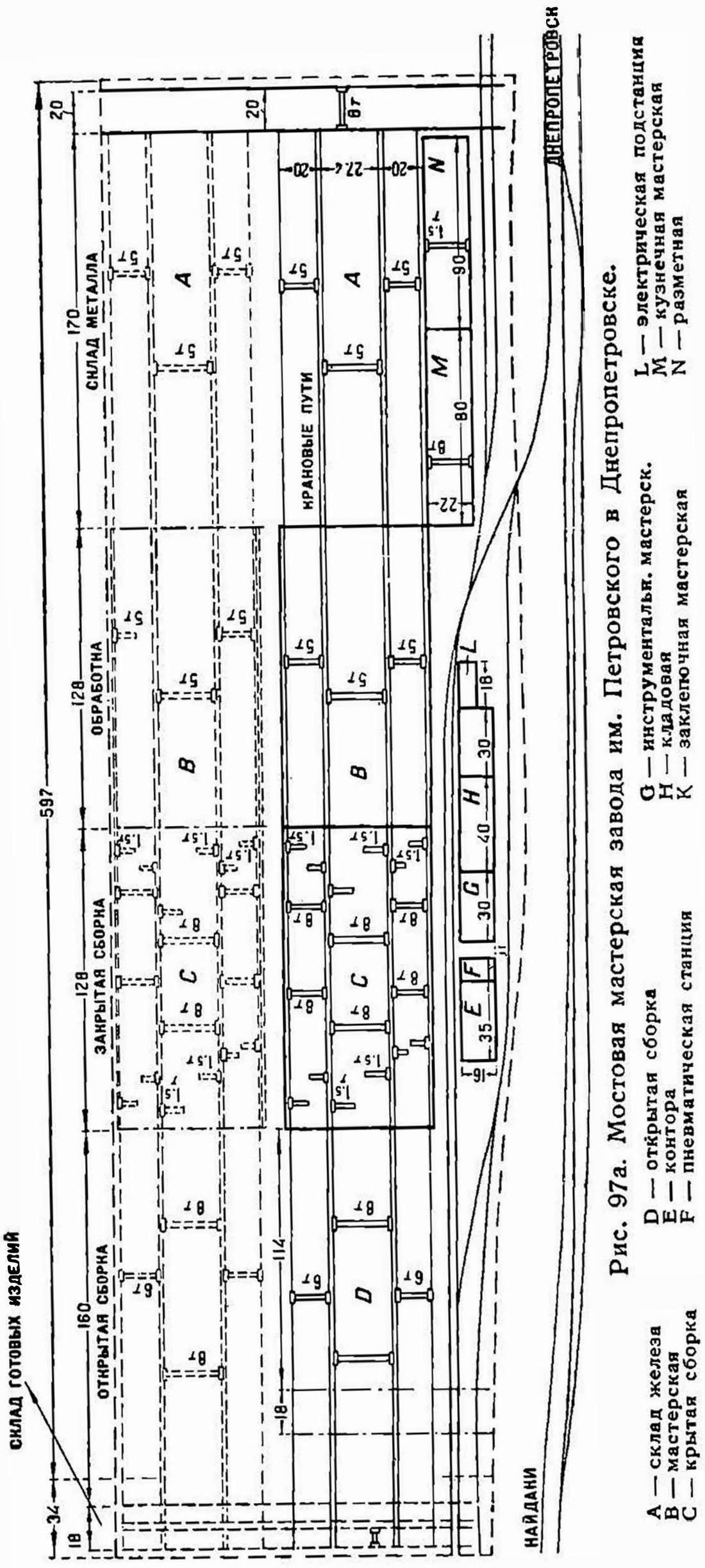


Рис. 97а. Мостовая мастерская завода им. Петровского в Днепропетровске.

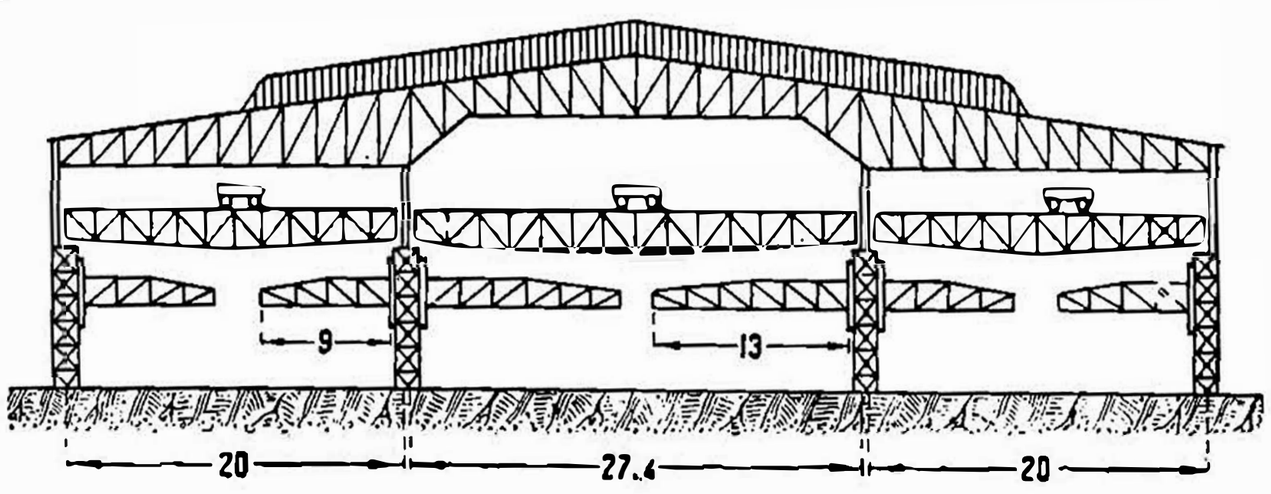


Рис. 97б. Поперечный разрез.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

площадки только рядом параллельно работающих мостовых кранов, поэтому эту часть сборочного отделения снабжают или рельсовыми путями, перпендикулярными к направлению кранов, или дополнительными крановыми устройствами, допускающими переброску материала из-под одного мостового крана под другой. Что касается сборочных стелажей, то при хорошо оборудованной сортировке обслуживание их только продольными кранами является удовлетворительным. Со стелажей собранные части передаются продольными кранами под сверлильные и фрезерные станки и под клепальные машины, которые все располагаются по длине здания сообразно последовательности производства работ. Склепанные части выносятся под окраску и на склад отправления.

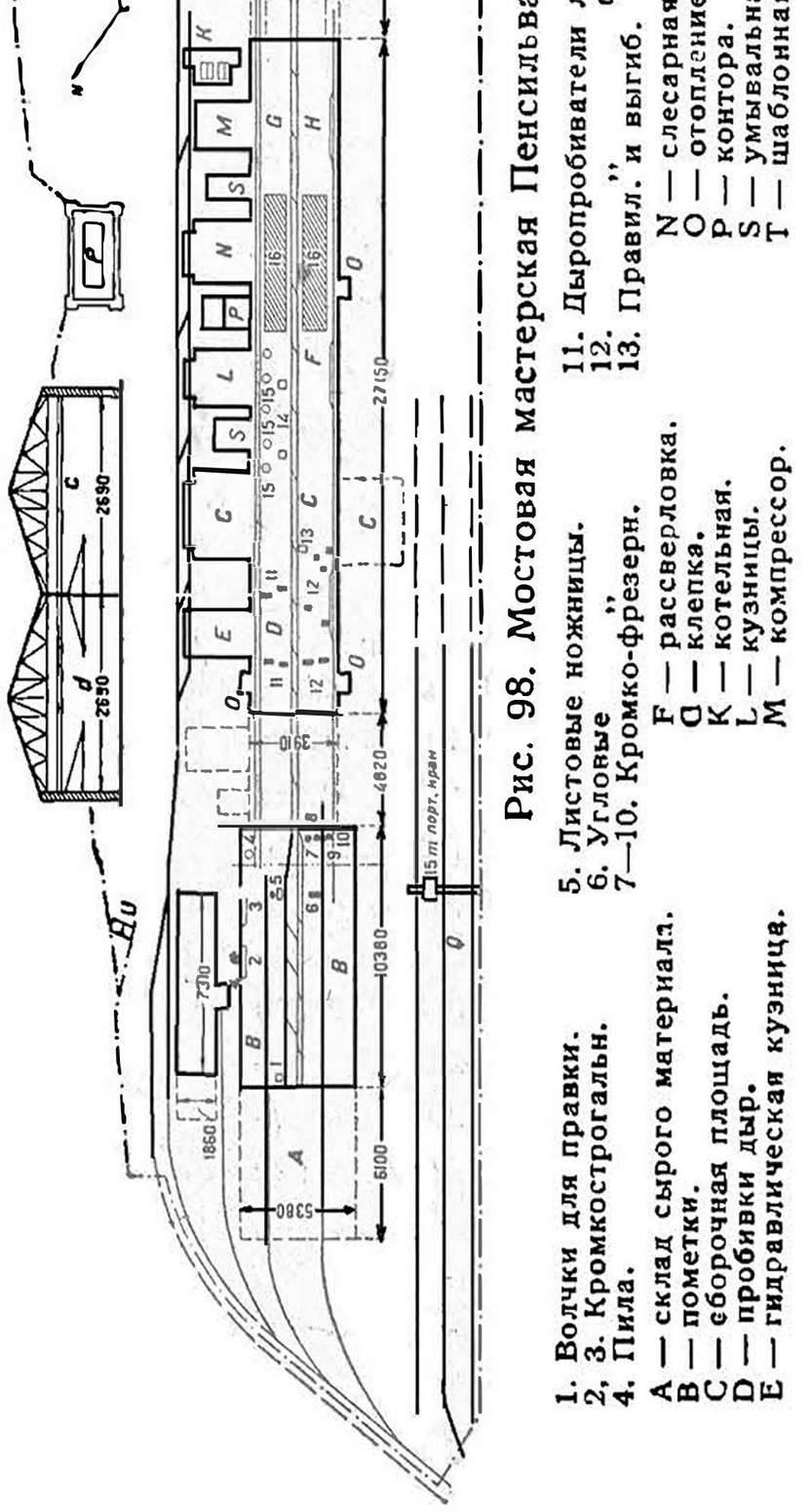


Рис. 98. Мостовая мастерская Пенсильванского о-ва.

Из сделанного описания видно, что при долевом движении материала обслуживание мастерской должно производиться рядом продольных мостовых кранов, обслуживающих отдельные фазы обработки и перемещающихся по одному пути, что заставляет ограничивать работу кранов определенными участками, так как в противном случае продвижение отдельных кранов может вызывать загон других кранов, сопровождающийся простоем последних.

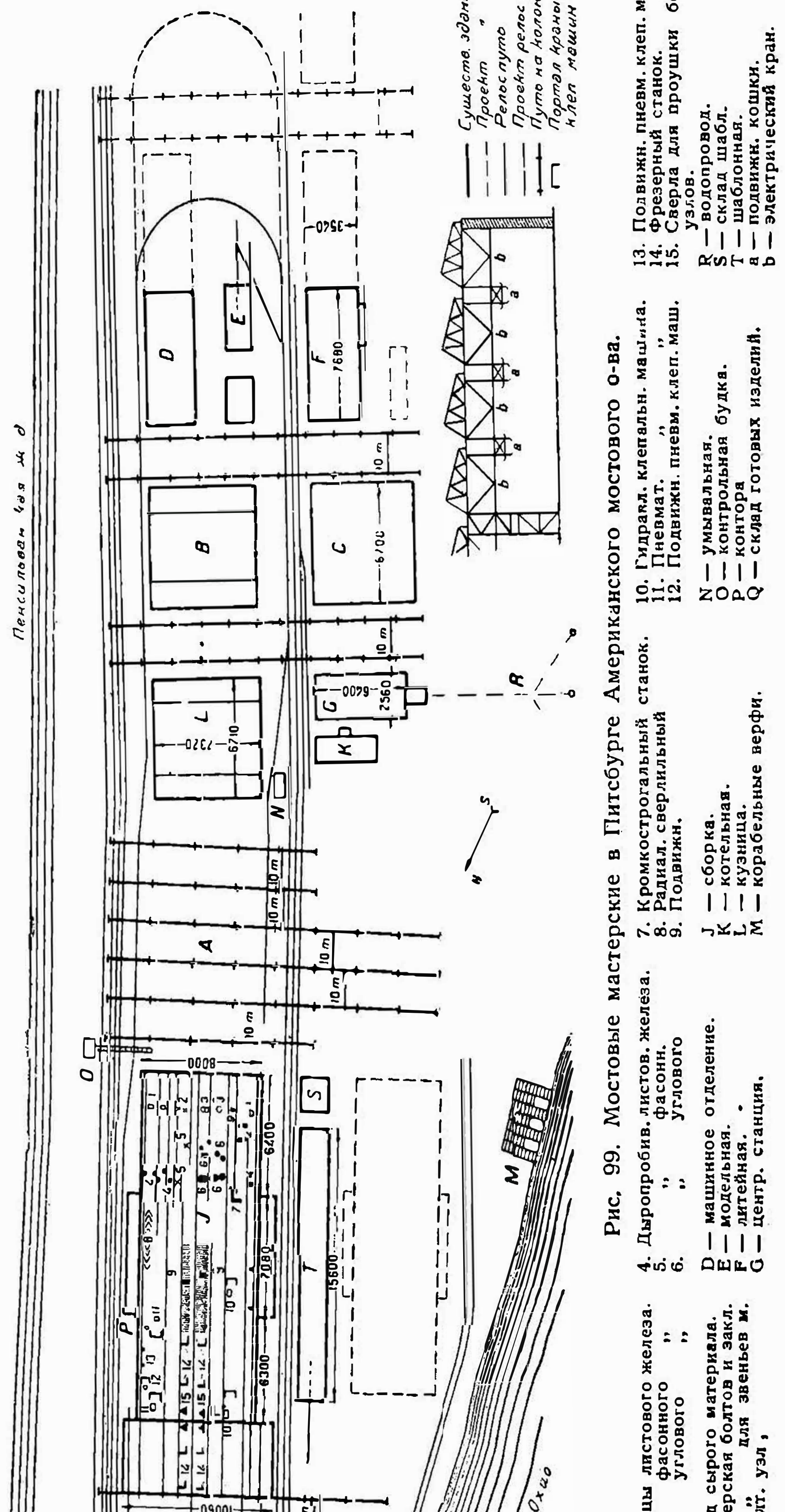
В новейших американских мастерских обслуживание площади работ делается комбинацией продольных рельсовых путей с мостовыми кранами, работающими в поперечном направлении, что обеспечивает возможность ступенчатого движения материала. Примером такого устройства могут служить мастерские Американского мостового о-ва (Ambridge Company) (рис. 99).

Внутри всего здания этих мастерских, начиная со склада прибытия и до склада отправления, материал проходит по нескольким рельсовым путям, обслуживаемым вагонетками с электромоторами. Над всем зданием располагается ряд поперечных мостовых кранов, которые принимают материал с вагонеток, распределяют его в поперечном направлении, убирают и грузят на вагонетки. Такое обслуживание при урегулированном движении вагонеток надо признать наилучшим, так как оно обеспечивает удобную передачу материала во всех отделениях, но оно является несомненно наиболее дорогим, так как требует не только большого числа кранов, но и отзывается на увеличении веса покрытия, на которое передается давление кранов, пути которых при таком устройстве подвешиваются к стропилам.

Если мастерские планируются для параллельного большого производства тяже-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

лых и легких конструкций, то представляется целесообразным разделять эти производства, располагая их в двух параллельных зданиях, которые соответственно



13. Подвижн. пневм. клеп. маш.
14. Фрезерный станок.
15. Сверла для проушки болт. узлов.

R — водопровод.
S — склад шабл.
T — шаблонная.
a — подвижн. кошки.
b — электрический кран.

Рис. 99. Мостовые мастерские в Питсбурге Американского мостового о-ва.

1. Ножницы листового железа.
2. " фасонного "
3. " углового "
4. Дыропробив. листов. железа.
5. " фасонн. "
6. " углового "
7. Кромкострогальный станок.
8. Радиал. сверлильный "
9. Подвижн. "
10. Гидравл. клепальн. машина.
11. Пневмат. "
12. Подвижн. пневм. клеп. маш.

A — склад сырого материала.
B — мастерская болтов и закл.
C — " для звеньев м. с болт. узл.;
D — машинное отделение.
E — модельная.
F — литейная.
G — центр. станция.
J — сборка.
K — котельная.
L — кузница.
M — корабельные верфи.
N — умывальная.
O — контрольная будка.
P — контора
Q — склад готовых изделий.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

производству оборудуются разными станками и кранами, как это сделано, например, в мастерских завода Гэри (Gary) Америк. мостового о-ва (рис. 100). Но площадь сортировки перед сборкой в обеих частях таких мастерских следует объединять в своем обслуживании, что позволит в случае надобности перебрасывать материал между сборочными стелажами обеих частей здания.

При продольной планировке мастерских вспомогательные отделения — шаблонная, кузница, механическая мастерская, заклепочное отделение и другие — располагаются с боков главного здания с таким расчетом, чтобы выпуск из них продукции вливался в основные потоки производства, без нарушения движения последних [1]).

Каждое из отделений мостовых мастерских характеризуется производимой в нем работой, для производства которой оно соответствующим образом приспособляется и оборудуется.

Склад материала. Основная задача этого отдела заключается в том, чтобы весь металл, поступающий из прокатных, своевременно рассортировывался по раз-

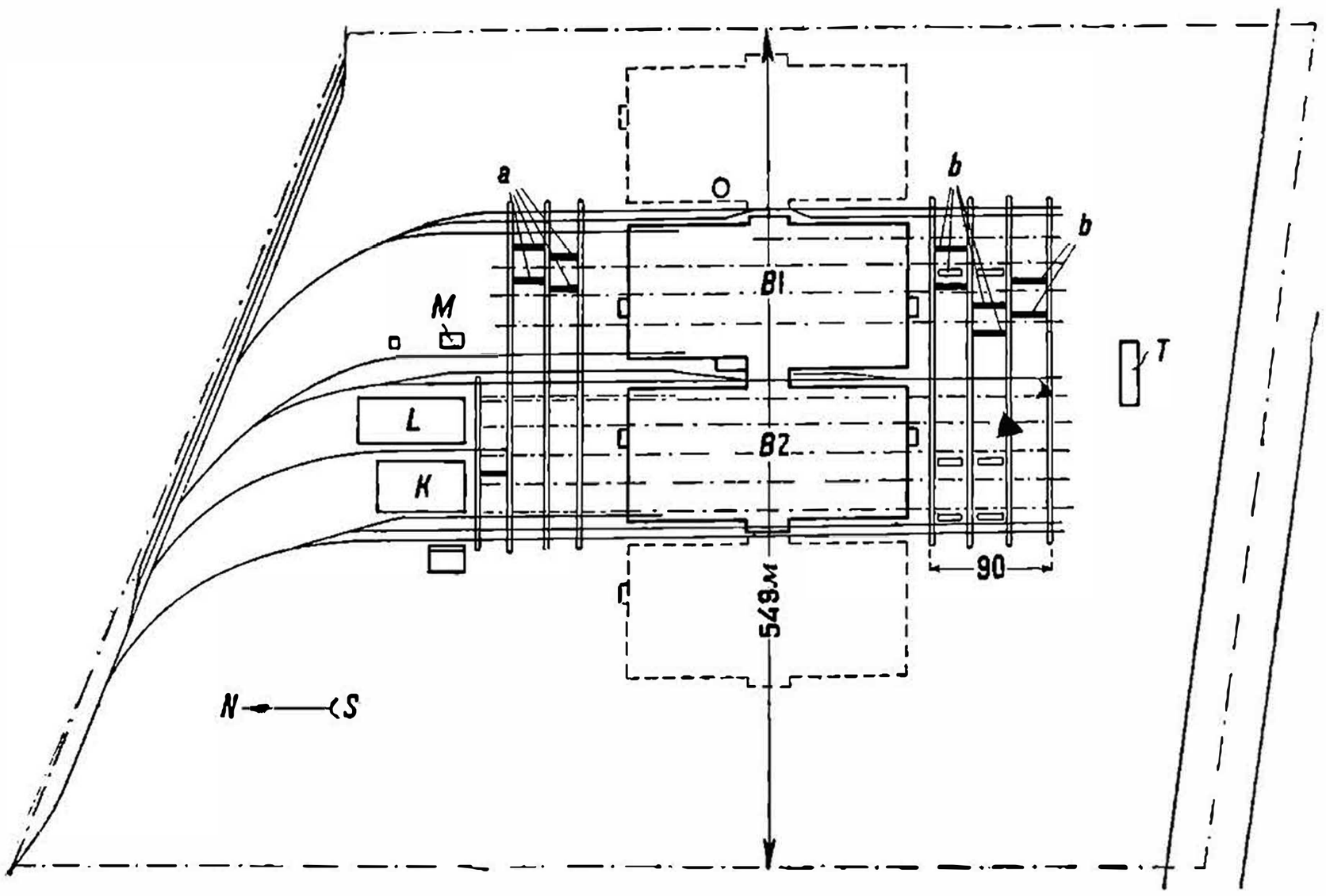


Рис. 100а. Мостовые мастерские Гэри Американского мостового о-ва.

a — 30 m кран.
b — 10 m кран.
B1 — мостовая мастерская.
B2 — мостовая мастерская.
T — контора.
L — кузница.
K — машинное отделение.
M — окраска.

мерам и по принадлежности к конструкции. Работа склада может итти успешно только при условии хорошего оборудования его кранами, что лучше всего обеспечивается портальными мостовыми кранами с подъемной силой в 5 — 10 *m*, которая определяется по весу отдельных листов и профилей металла. При небольших размерах склад лучше всего обслуживается, если кран своим пролетом охватывает всю площадь склада (рис. 101). При больших размерах склада такое устройство становится недостаточным по обслуживанию и слишком дорогим, что заставляет переходить на несколько параллельных линий кранов, которые планируются сообразно принятой схеме подачи и передачи материала (рис. 97 и 99). Оборудование склада кранами со стрелами нецелесообразно, так как устройство путей под них занимает около 20% полезной площади.

На складе помещаются станки для правки металла, обслуживаемые теми же кранами.

---

[1]) В этом отношении помещение шаблонной в мастерских Амбриджской компании (рис. 98) нельзя признать удачным, так как ее лучше было бы передвинуть к складу прибытия.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Размеры склада выбираются с таким расчетом, чтобы на нем мог поместиться

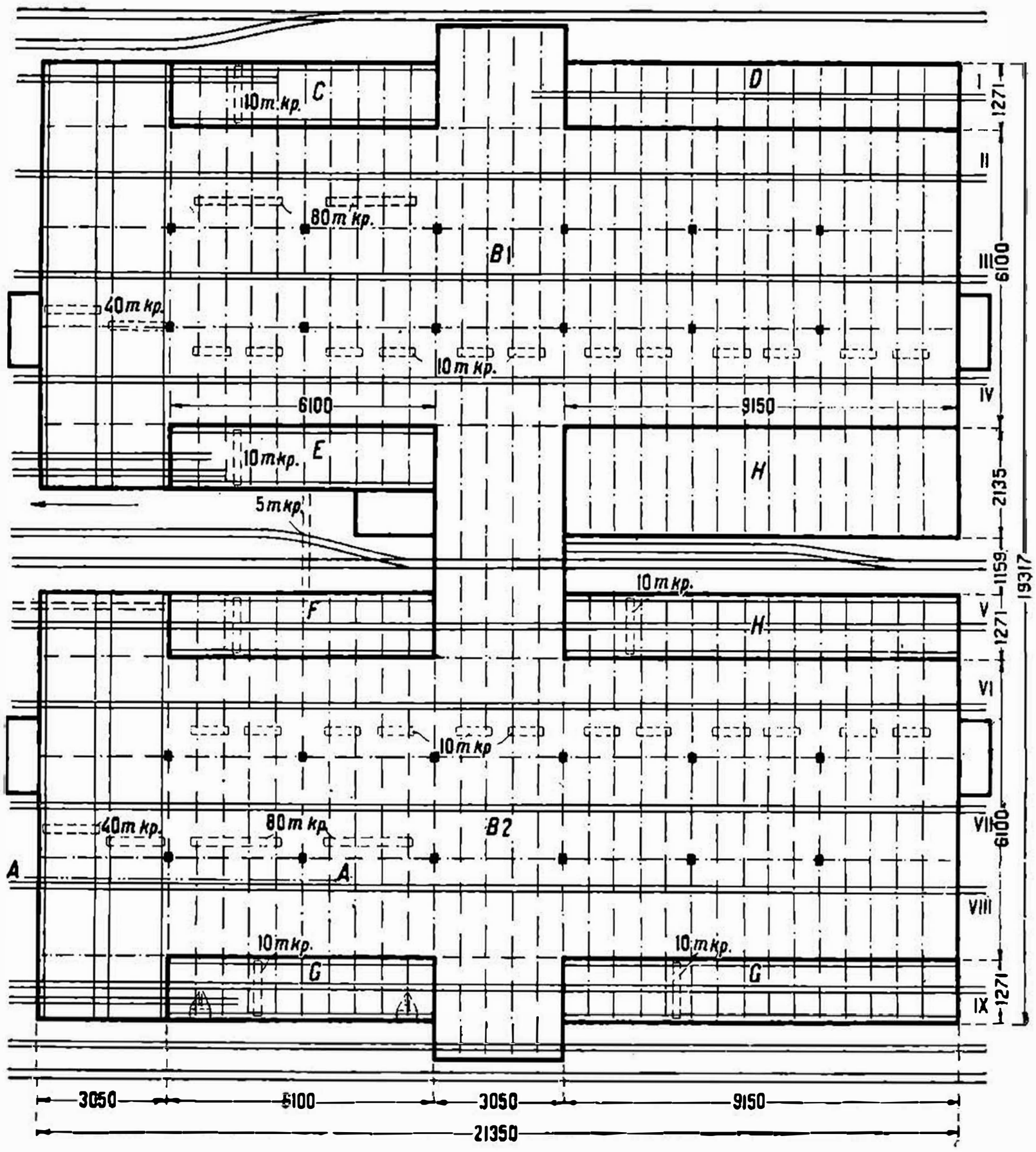


Рис. 100б. План мастерской.

B1 — мостовая мастерская.
B2 — мостовая мастерская.
C — силовая.
D — гнутье.
E — заклепочная.
F — шаблонная.
G — изготовление балок.
H — подготовка частей элементов.

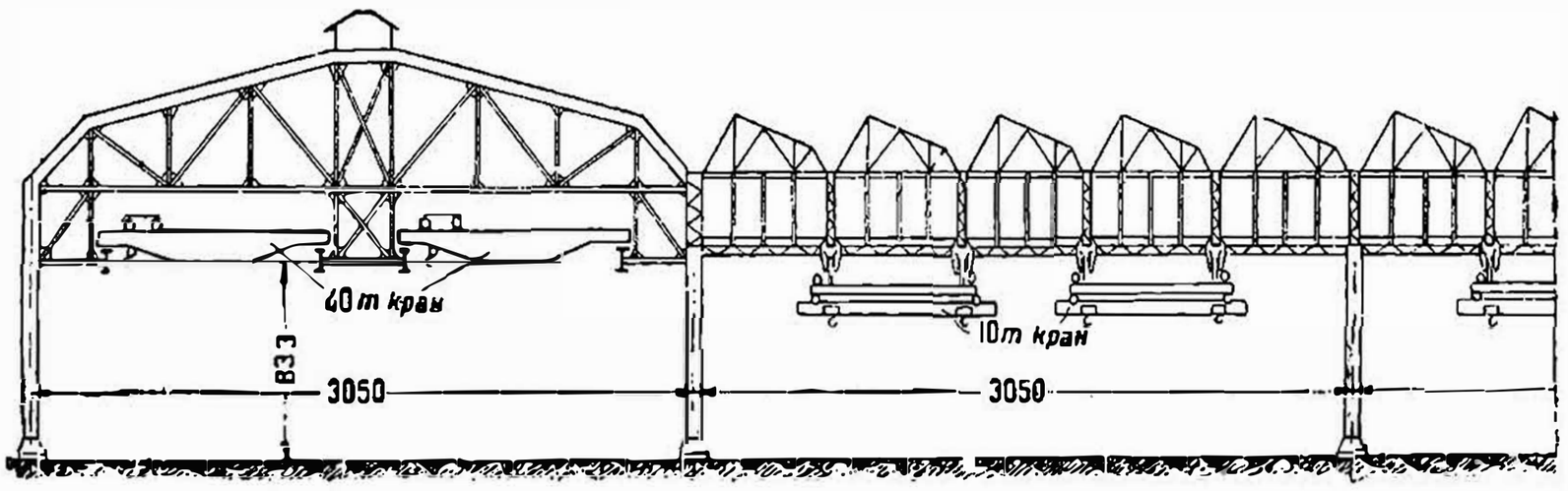


Рис. 100с. Продольный разрез по АА.

некоторый запас материала, обеспечивающий производительность мастерской. Снижение запаса можно допустить только в том случае, если подача металла из прокатных будет очень хорошо согласована с порядком работы мастерской.

Ниже приведены данные о размерах складов, обслуживаемых кранами, на некоторых заводах.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Наименование завода	Готовая производительность в тоннах	Площадь склада в кв. метрах	Нагрузка склада при месячном запасе в $т/м^2$
Пенсильванской компании в Стильстоне (Америка) .	75 000	61×53,8≅3 290	1,83
Американской мостовой компании в Питсбурге	240 000	∼16 200	1,25
Американской мостовой компании в Гэри	120 000	∼18 900	0,53
Завод им. тов. Петровского в Днепропетровске .	24 000	67,4×170=11 458	0,17

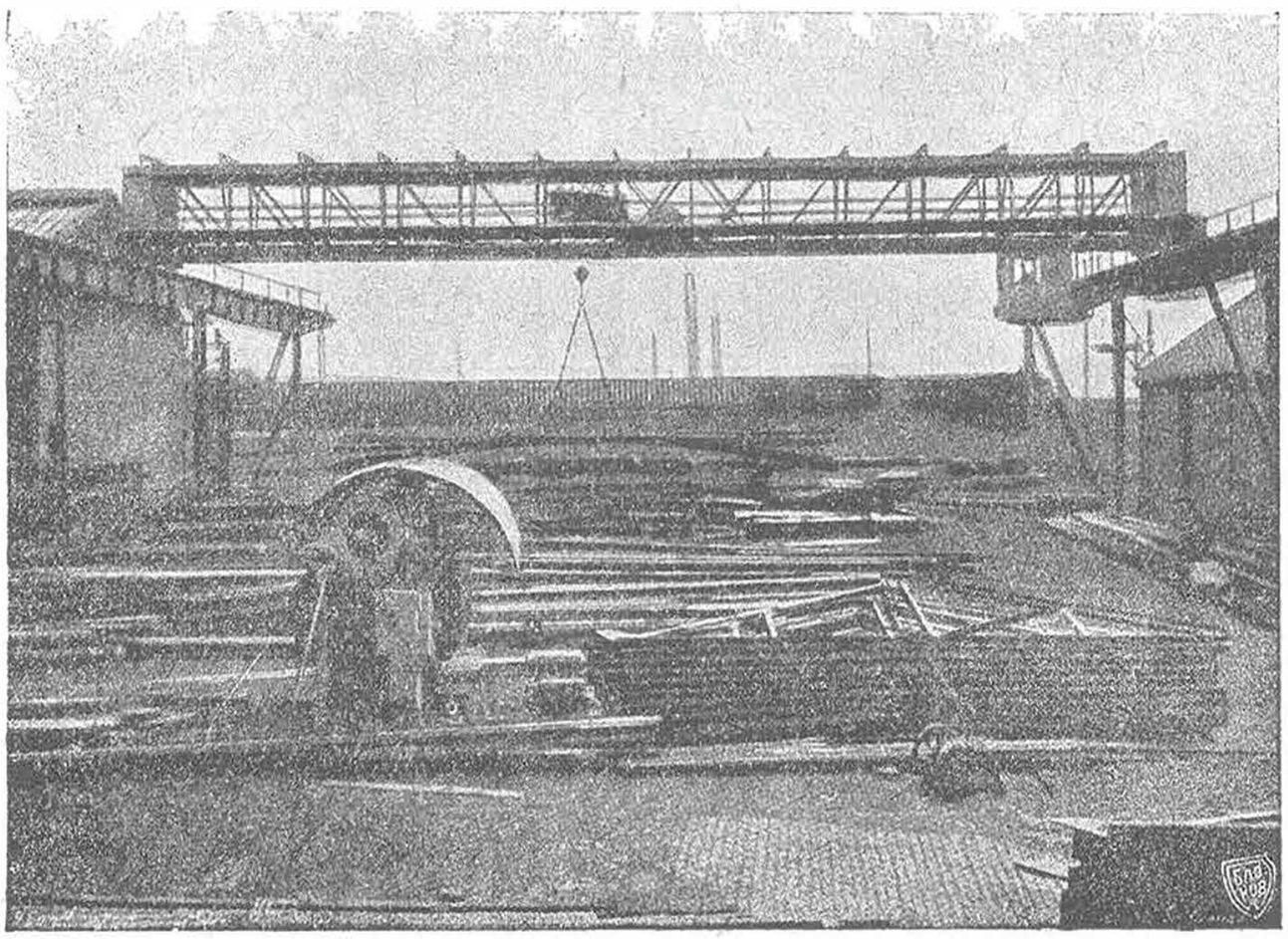


Рис. 101. Склад сырого железа на заводе Вил. Ароля в Глазгове (Англия).

Эта таблица с достаточной ясностью показывает, как колеблются единичные нагрузки складов. Сравнительно низкая нагрузка завода имени тов. Петровского объясняется не только общей отсталостью оборудования и организации, но также тем, что на этом заводе общая нагрузка склада рассчитана с 3-месячным запасом, и сам склад разделен на две части: склад правленного и неправленного металла.

По проекту развития этого завода склад неправленного металла рассчитывался по месячному запасу производительности с нагрузкой в 1,25 $т/м^2$; склад же правленного металла — на 2,5 с 3-месячным запасом со средней нагрузкой 0,5 $т/м^2$.

Можно рекомендовать разбивать склад на мелкие участки в виде шахматной доски, давая им порядковое обозначение в поперечном и долевом направлении, благодаря чему каждый участок получает свое обозначение, например в виде 8d, 10 k. и т. д. Такая планировка облегчает отыскание материала, особенно во время

НБ УДУНТ (ДІІТ)

заноса его снегом. При поступлении материала на склад и его сортировке должны делаться соответственные записи о его местонахождении в ведомости заказов (см. таблицу в § 1).

Отделение разметки. Разметочная мастерская, или шаблонная, обыкновенно отделяется от здания мастерской и помещается в особом, хорошо освещенном и отапливаемом помещении, что обусловливается характером производимой в ней работы, требующей безусловной точности, за которую нельзя было бы ручаться при больших колебаниях температуры в помещении.

Размеры разметочных значительно изменяются в зависимости от принятых приемов вычерчивания шаблонов и их проверки.

В нижеследующей таблице приведены данные о размерах разметочных нескольких заводов, с указанием их годовой производительности и характера производства разметки.

Наименование завода	Годовая производительность в тоннах	Размеры разметочной в кв. метрах	Производство разметки
Завод им. тов. Петровского в Днепропетровске . .	23 000	22×90=1 980	Изготовляются все шаблоны
Пенсильванский завод (Америка) .	75 000	18,5×73=1 366	Вследствие применения автоматических станков упрощается изготовление шаблонов
Завод в Питсбурге (Америка) . .	240 000	18,3×156,1=2 875	
Вил Ароль (Англия) . .	—	42×310=13 020	Шаблоны изготовляются раскладкой (рис. 17)

Современные разметочные устраиваются с обслуживанием их мостовым краном силой 5 — 8 *m*.

На тех заводах, где применяются деревянные шаблоны, при разметочных мастерских делаются специальные отделения для изготовления и хранения этих шаблонов.

Отделение обработки. В этом отделении обычно сосредоточивается переметка металла по шаблонам и его последующая обработка. Так как приемы переметки и характер станков зависят и приспособляются по характеру профиля металла, то является целесообразным так планировать все отделение, чтобы металл продвигался по нему потоками, соответственно поперечным профилям. На заводах с крупным производством выделяются потоки: крупнолистового металла, требующего острожки кромок, полосового (универсального) металла, углового металла и фасонных профилей; на заводах с малой производительностью обычно наблюдаются два потока: листового и полосового металла, углового и фасонного металла. Такая планировка отделения обработки позволяет достигнуть движения однотипного материала между специально приспособленными станками, располагаемыми в ряд, в зависимости от последовательности обработки. Движение материала между станками в этом случае легко осуществляется вручную при помощи специальных роликов или кареток (рис. 102), что значительно облегчает оборудование крановыми устройствами.

Можно отметить, что лучшее оборудование отделения обработки передаточными и подъемными приспособлениями соответствует такой планировке, когда материал потоками продвигается между станками на роликах или вагонетках; крановые же

НБ УДУНТ (ДІІТ)

устройства имеют передвижение поперек указанных потоков материала и служат для переброски его в поперечном направлении, а если понадобится, и между потоками. Примером такого обслуживания являются новейшие американские заводы (рис. 99 и 100).

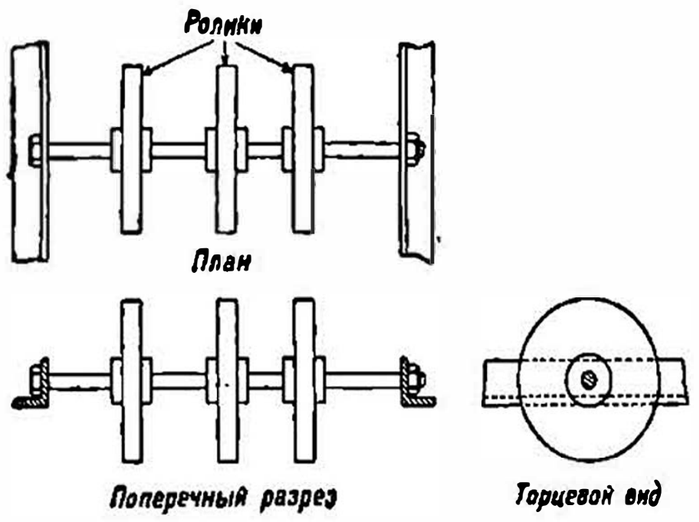


Рис. 102а. Неподвижные рамки.

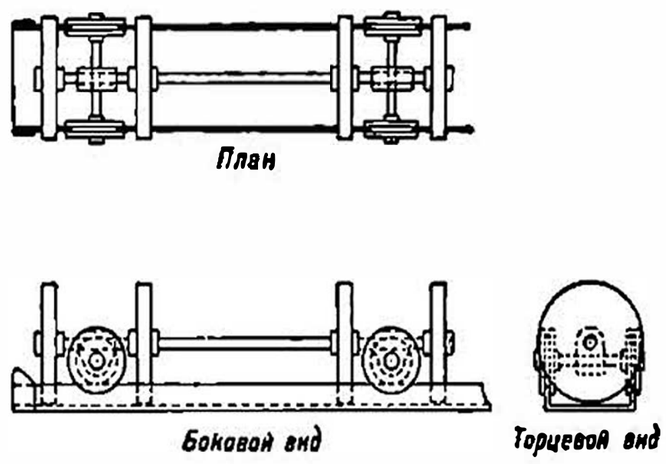


Рис. 102б. Ролики с поперечной подвижностью

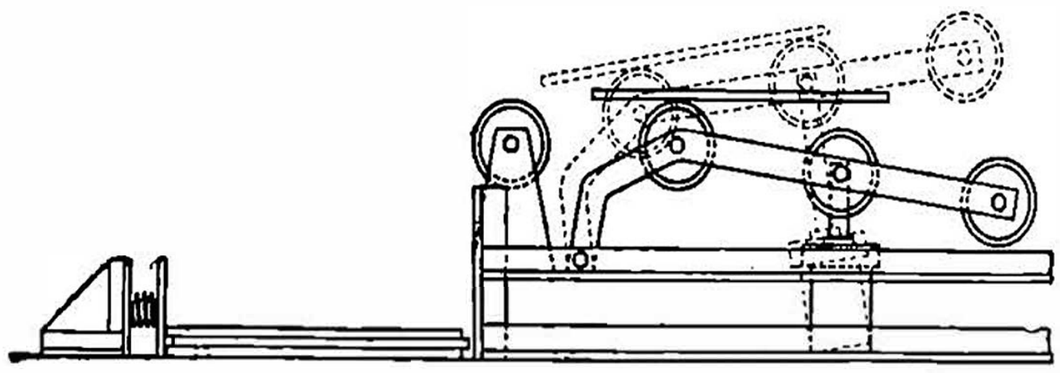


Рис. 102с. Ролики с приспособлением для сбрасывания материала.

При определении числа станков, необходимых для производства того или иного вида обработки, в основу расчета кладется задаваемая производительность завода и данные о средних процентных соотношениях основных сортов металла, приведенные в таблице 5.

Количество работ разного вида (пробивки, сверловки, клепки, резки и пр.) определяется по статистическим данным о среднем количестве этих работ на тонну металла. Это количество меняется в зависимости от проектов, проходящих через обработку, но можно руководиться средними данными из них.

Ниже приведены статистические данные секции мостостроения ВСНХ, составленные по наиболее ходовым современным проектам НКПС.

Пролетное строение			Количество на 1 *т* металла							Средн. толщ. дыр *см*
Характеристика	Пролет *м*	Вес *т*	Резка пог. *м*	Строжка пог. *м*	Фрезеровка *см²*	Тело дыр шт.	Отверст. шт.	Клепка		
								Завод шт.	Монт. шт.	
Сплошное .	23	39	3,40	4,33	754	381	102	66	36	3,73
Сквозное . .	33,6	77,5	10,32	7,68	760	813	303	221	82	2,68
Сквозное .	55	180	8,38	8,77	646	752	247	186	61	3,04
Сквозное .	109	626	6,93	6,41	505	489	164	109	55	2,98
Среднее для сквозных.	—	—	8,64	7,62	637	685	238	172	66	2,90
								72%	28%	

В этих данных подсчет количества резки и строжки сделан в предположении наличия универсального металла шириной 120 *см*.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

По данным заводов СССР, выработанным на основании производства за последние годы, среднее количество работы считается:

количество	отверстий	. 240 шт. на *m*
»	тело-дыр .	. 680 » » »
»	строжки	40 *пог. м.* на *m*
»	. заводской клепки	65% всего количества.

Значительное увеличение количества строжки объясняется тем, что в настоящее время универсальные листы имеют ширину не более 80 *см*.

Можно отметить еще, что среднее количество тело-дыр на *m* металла в угловом и листовом несколько разнится, а именно:

в листовом мет. оно ~ 660
в угловом » » ~ 700.

Таким образом, если задана производительность K завода, известна производительность κ станка, то примерами определения необходимого числа $П$ станков могут служить следующие расчетные выражения:

1) Число станков для пробивки дыр в листах мостов:

$$П = \frac{0{,}54 \cdot K \cdot 670}{\kappa} + 25\%.$$

2) Число станков для сверления дыр в уголках:

$$П = \frac{0{,}42 \cdot K \cdot 700}{\kappa} + 20\%$$

и так далее.

В этих выражениях коэфициенты 0,54 и 0,42 определяют количество листов и уголков в общем производстве и берутся из таблицы 5.

Число станков принимается с увеличением расчетного числа станков на 20—25%, что необходимо в предвидении неизбежного ремонта станков, влекущего простой их.

Аналогичное число станков и приборов, потребное для острожки кромок листов, исчисляется из условия, что на одну тонну металла приходится в среднем M — *пог м* строжки, которое, как указывалось выше (§ 6), меняется в зависимости от возможности получения универсального железа.

Необходимое число станков для резки, правки и тому подобного рода работ определяется по их средней дневной производительности (см. § 6), которая при определении годовой непрерывной производительности помножается на 360 дней. Кроме того должен быть учтен простой станков на случай их ремонта.

При расчете количества потребных станков всегда следует придерживаться того положения, чтобы число станков было не менее двух; это важно в том отношении, что в случае выхода одного из них в ремонт другой мог бы временно пополнять выход первого усилением производительности, например введением дополнительной смены для работы на нем и т. п. Исходя из этих соображений, иногда следует при расчетах останавливать выбор на станках с меньшей производительностью.

Кузнечное отделение мастерской имеет своим назначением производство горячей обработки, как-то: выгибов, высадок и пр. Оно снабжается специальными наковальнями и плитами (см. § 4). Количество установок в нем определяется по годовой производительности завода, исходя из соображений, что на каждом горне в течение 8 часов в среднем вырабатывается 20 штук выгибов и высадок обычного типа, а также из данных о числе выгибов и высадок, приходящихся на 1 *m* металла; последнее определяется по статистическим данным из рассмотрения применяемых типовых пролетных строений. По данным 1928 г. число высадок и выгибов составляет в среднем 3 штуки на 1 *m*; в новейших проектах замечается стремление к снижению числа горячих обработок.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Обычно кузнечное отделение объединяет в себе также работу по обслуживанию ремонта инструмента и, если не полному, то частичному изготовлению заклепок и болтов. Вопрос о развитии этой стороны работы кузнечного отделения всегда связывается с вопросом о целесообразности приобретения нового инструмента и заклепок на специальных заводах.

Сборочные площадки. Оборудование сборочных площадок зависит от метода сборки, применяемого на заводе.

Если завод производит полную сборку отдельных ферм или даже пролетных строений, то такому заводу естественно иметь сборочные стелажи с большою площадью. Размеры этой площади зависят не столько от годовой производительности, сколько от предельных размеров конструкций, которые предполагается собирать на заводе. Так, например, если на заводе предполагается собирать пролетные строения длиной 158 *м* и высотой 25 *м*, то соответственно этому сборочные площадки должны иметь площадь длиной и шириной не менее указанных, с добавлением к ним такой же площади на сборку элементов проезжей части, связей и пр. При большой годовой производительности, связанной с одновременной сборкой нескольких ферм, площадь сборочных стелажей должна быть увеличена, что конечно невыгодно, а потому естественно, что заводы переходят на сборку отдельными элементами.

Площадь, потребная для сборки отдельных элементов, зависит от годовой, или, вернее, суточной производительности завода и отчасти от предельных размеров отдельных элементов. Величина ее может быть приближенно определена из следующих соображений: если дневная 7-часовая производительность завода — Fm и средний вес элементов — Pm, то общее число элементов, выпускаемых за день, равно $F:P$; так как длина фасонного железа в мостах доходит до 14 *м*, а средняя ширина листового железа может быть принята 0,7 *м*, то площадь, потребная для сборки каждого элемента, должна быть принимаема не менее как $14\cdot(0{,}8+2\cdot 0{,}5)=25\ м^2$; таким образом общая площадь сборки отдельных элементов определяется величиной, равной $25\cdot\frac{F}{P}\ м^2$; для обеспечения же расчетного выпуска необходимо, чтобы число сборщиков было равно $\frac{F}{0{,}75\,P}$, где 0,75 — дневная производительность сборщика.

Тщательная пригонка частей собираемых в целом виде конструкций возможна только при безусловно горизонтальном положении их и неподвижности их во время сборки. При укладке собираемых конструкций непосредственно на пол между ними

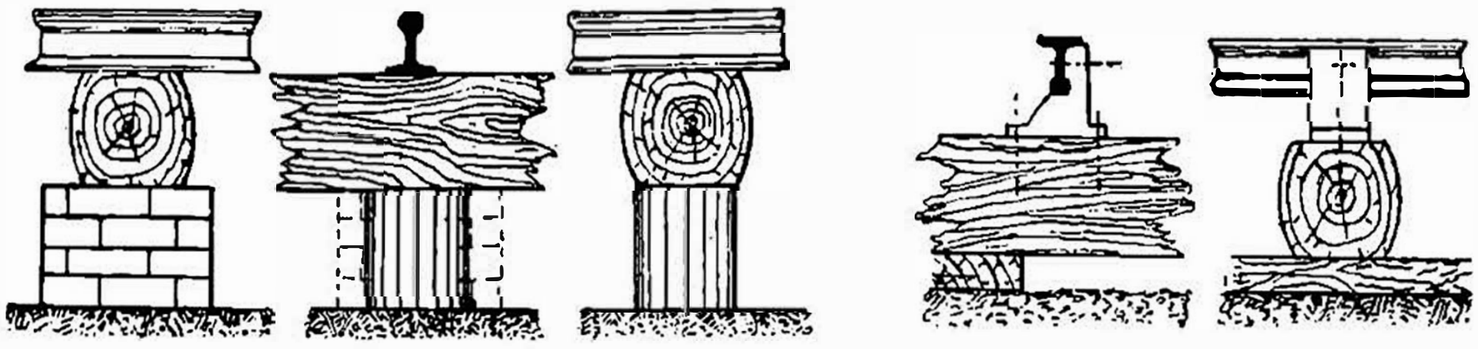


Рис. 103.

не остается свободного пространства, необходимого для удобной постановки сборочных болтов, инструмента и пр. Более рационально устройство специального рельсового настила на каменных или деревянных столбах по одному из типов, показанных на рис. 103. Сваи и столбы этого настила расставляются на расстоянии 2,00 *м* и перекрываются в долевом направлении насадками из 20 — 22-*см* леса. По этим насадкам кладется настил из рельс с расстоянием между ними от 0,70 до 1,00 *м*; при большем расстоянии отдельные листы металла могут провисать и затруднять производство работы. При сборке отдельными элементами устройство больших стелажей не является уже необходимым, так как нет пригонки между отдельными элементами; они с успехом заменяются короткими металлическими козлами (рис. 104).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Успешность сборки в существенной степени зависит от своевременной подачи материала к месту работ, для чего необходимо, чтобы материал, идущий в сборку, предварительно рассортировывался по маркам, легко отыскивался, и подача его была обеспечена хорошими подъемными средствами.

Правильная сортировка материала, поступающего на сборку, возможна только при условии выделения ее в особый процесс и отвода для этого особой части площади непосредственно у места выхода материала из обработки. Эта площадь должна быть достаточна для раскладки материала по маркам и для накопления на ней некоторого запаса материала для обеспечения непрерывности сборки. Обычно исходят из расчета 10-дневного или 2-недельного запаса производства и из предположения, что на 1 $м^2$ может располагаться 0,4 — 0,5 $т$, что соответствует примерно четырем толщинам мостового металла. Обслуживание таких сортировочных площадок

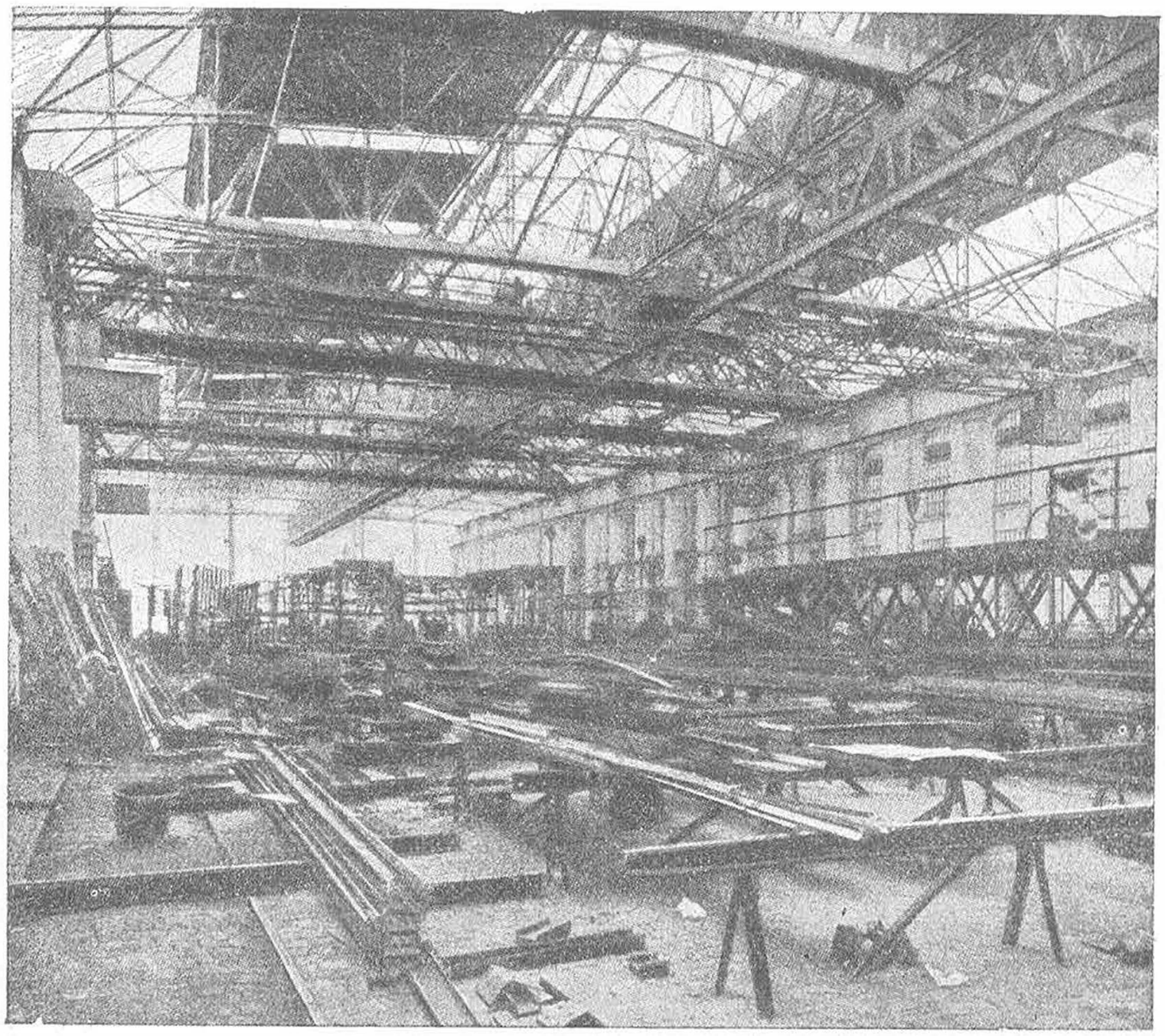


Рис. 104. Сборочная мастерская на заводе Гумбольда.

лучше всего мостовыми кранами с подъемной силой 5—10 $т$, перемещающимися в направлении, перпендикулярном выходу потоков материала из обработки. В связи с таким обслуживанием представляется целесообразным уширять эту площадку по сравнению с поперечными размерами отделения обработки, как это сделано, например, в мастерских Америк. о-ва в Гэри (рис. 100).

При введении химической и пескоструйной очистки металла, перед выходом на сборку необходимо предвидеть в непосредственной близости от склада сортировки особых изолированных помещений для производства указанной очистки, которая является вредной для здоровья рабочих и недопустима в общем здании мастерской.

Правильное обслуживание сборочных площадок осуществимо только при условии оборудования их мостовыми кранами. В большинстве существующих заводов это обслуживание делается мостовыми кранами, имеющими продольное движение над сборкой. Такое устройство связано с большой переброской материала со склада сортировки над работающими и с большими пробегами кранов. Лучшим является оборудование сборки продольными путями для подачи материала со склада сортировки

НБ УДУНТ (ДІІТ)

и обслуживание сборки поперечными мостовыми кранами, как это делается в новейших американских заводах (рис. 100).

Подъемная сила кранов, обслуживающих сборку, принимается в 15 — 25 *m* в соответствии с предполагаемыми размерами и весами отдельных собираемых частей.

К оборудованию сборочных площадок относится также приспособление их для производства рассверловки, выклепки и прочего.

На заводах и в мастерских нашего Союза эта часть обработки почти исключительно производится при помощи ручных переносных пневматических и электрических машинок, а зачастую даже вручную, как например клепка. Это оправдывается тем, что при сохранении требования сборки целых ферм не представляется возможным использовать для окончательной рассверловки станки, которые в этом случае должны быть укреплены только к мостовому крану и перемещались бы с ними над неподвижно собранными фермами. То же имело бы место и в случае применения клепальных машин.

При производстве сборки отдельными элементами, которые могут быть подаваемы кранами под сверлильные, клепальные и фрезерные станки, представляется возможным

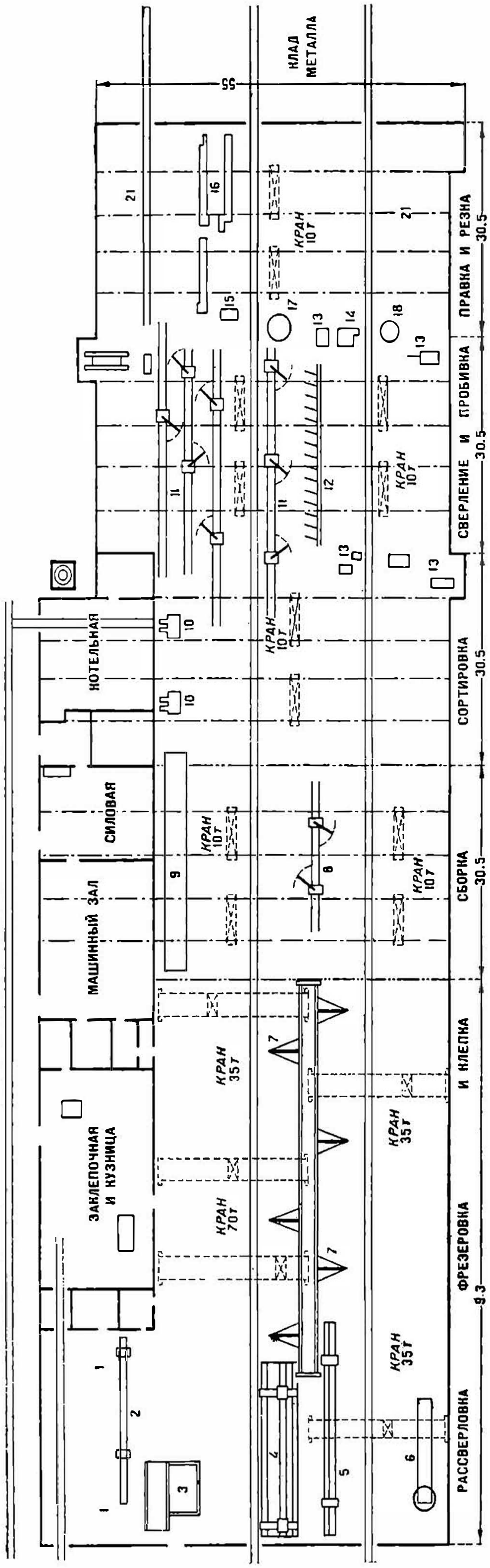


Рис. 105. Мастерские для обработки металла для Квебекского моста.

1. Изготовл. звеньев с проушинами.
2. Сверление дыр в проушинах.
3. Сверлильный станок.
4. Строгальный станок.
5. Сверлильный станок,
6. Фрезерный станок.
7. Клепальные машины.
8. Подвижные сверлильные станки.
9. Двухсторонний фрезерный станок.
10. Листострогальный.
11. Подвижные сверлильные станки.
12. Неподвижные сверлильные станки.
13. Дыропробивные станки.
14. Строгальный станок.
15. Правка уголков,
16. Листострогальный.
17. Листовые ножницы.
18. Угловые ножницы.
19. Листоправка.
20. Печь. 21. Переметка.

НБ УДУНТ (ДІТ)

отказаться от ручных переносных машинок и приборов и перейти к обработке на станках, как это делается на лучших современных заграничных заводах и даже во временных мастерских (рис. 105).

На этих заводах в непосредственной близости от сборочных площадок устраиваются отделения для окончательной обработки с оборудованием специальными станками. В этих отделениях обычно сверлильные станки помещаются на подвижных портальных станинах (рис. 76), что облегчает перемещение станков над собранными элементами; клепальные машины применяются специального типа с продвижением под ними элементов (рис. 106), фрезерные станки устанавливаются парными (рис. 107), что позволяет производить обработку концов, не переворачивая элементов.

Несомненно, что отделка собранных частей на станках лучше по качеству и дешевле, чем та же обработка на переносных неустойчивых машинках (рис. 73 и 74); поэтому и в этом отношении прием сборки отдельными элементами является более желательным, чем сборка целыми фермами и частями.

При применении сборки целыми фермами отдается предпочтение оборудованию стелажей пневматическими приборами. Не уступая электрическим приборам в смысле стоимости основной установки, которая ограничивается установкой компрессора и устройством разводящего трубопровода, пневматические инструменты превосходят их своей портативностью и возможностью применения этого вида энергии ко всем видам обработки, как-то: сверление, клепка, рубка и зачистка, тогда как применение электрической энергии обеспечивает только сверление.

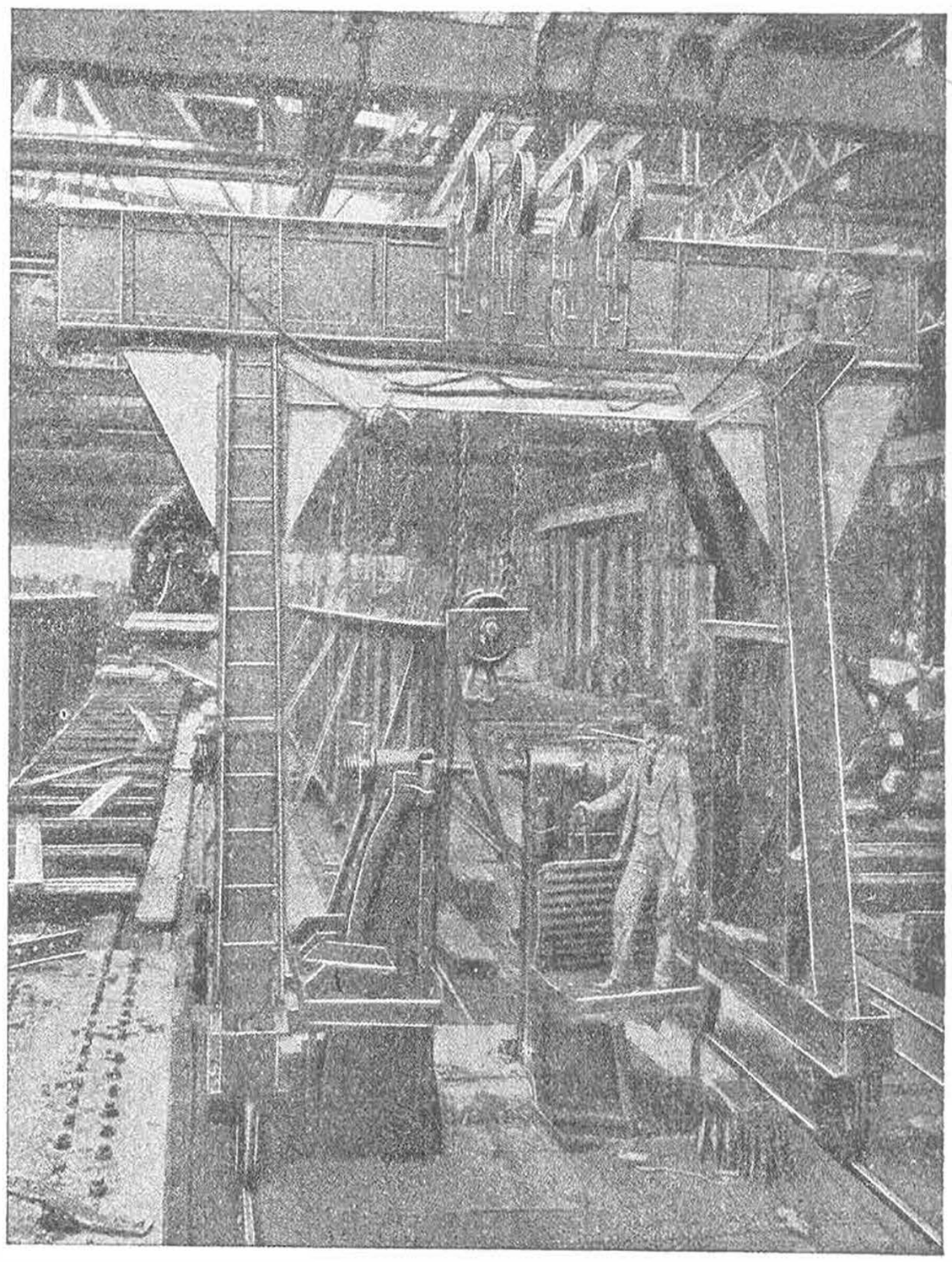


Рис. 106. Стационарная клепальная машина с портальным для ее обслуживания.

Определение числа сверлильных станков, потребных для производства рассверловки, клепальных машин и приборов для выклепки делается, исходя из данных, приведенных выше о среднем числе заклепок и заклепочных отверстий, приходящихся на одну тонну выпускаемого металла. Расчет числа сверлильных станков и приборов делается в предположении рассверловки всех дыр на заводе. Полученные расчетные числа станков и приборов увеличиваются в запас на случай ремонта: станков на 20%, электрических и пневматических машинок — на 40%, как более капризных в работе.

Расчет необходимого числа клепальных машин и приборов делается в предположении, что на заводе выклепывается 65% всех заклепок с увеличением числа их на 5% подлежащего переклепке брака. Полученные расчетные числа машин и приборов увеличиваются в запас на случай ремонта: машин — на 25%, а пневматических приборов — на 40%.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Склад готовых изделий. Этот склад рассчитывается на 2-дневную производительность цеха на случай задержки с подачей вагонов для вывозки. Обычно он используется также для производства окраски; поэтому следует хотя бы часть его делать закрытым от действия непогоды и влажности воздуха.

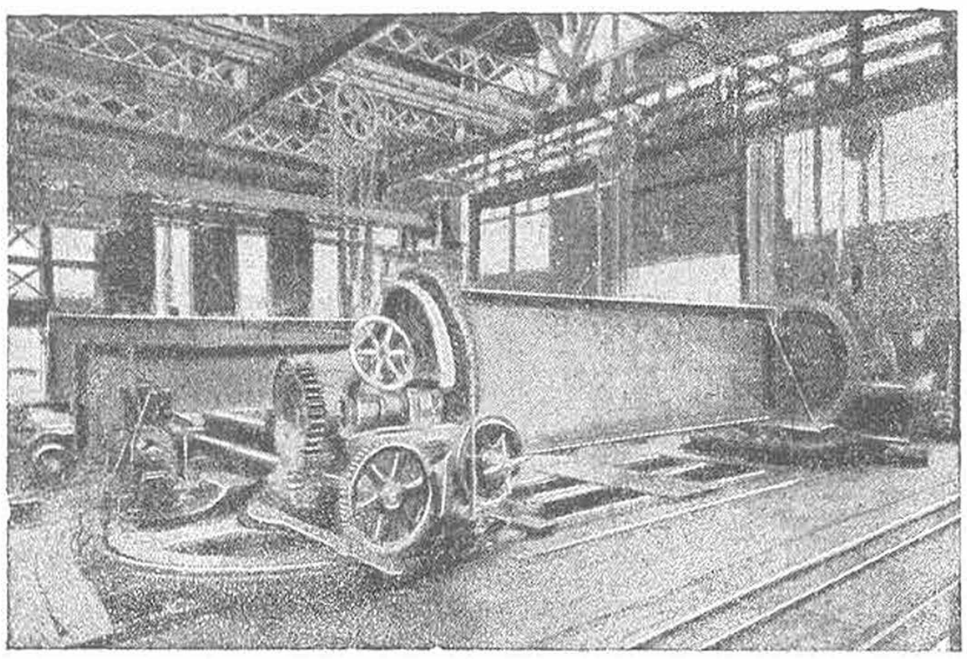


Рис. 107. Двухсторонний фрезерный станок для обработки торцов.

При продольном движении материала по сборке удобнее направлять путь для подачи вагонов перпендикулярно к указанному движению (рис. 100b), так как этим обеспечивается возможность большого фронта погрузки без продвижения материала. При таком расположении склад с успехом обслуживается портальным или мостовым краном, имеющим движение вдоль погрузочного пути.

Крановое оборудование. Из вышеизложенного можно видеть, что крановые устройства имеют большое значение в деле обслуживания мостовых мастерских как в смысле повышения производительности, так и экономичности, что заставляет обращать особое внимание на целесообразность проектировки их.

По своему устройству краны могут быть разбиты на следующие: краны-дерики, имеющие движение по путям, краны мостовые, перемещающиеся по особым подкрановым балкам, укрепляемым на колорнах, или подвешенных к стропилам (рис. 100c), и краны стенные, вращающиеся — они могут быть подвижными и неподвижными.

Краны-дерики могут быть применяемы только с устройством для них особых путей, что значительно стесняет рабочую площадь, по данным Майера [1]). Это стеснение рабочей площади надо принимать в 20%. Эти краны обслуживаются паром, вследствие чего нецелесообразно применение их в закрытых помещениях мастерских. Работа их сравнительно медленная.

Стенные поворотные краны (рис. 97b) имеют своим назначением местное обслуживание отдельных станков или операций по передаче материала от станка к станку, из отделения в отделение. Иногда они делаются подвижными, но в пределах малого пространства. Их преимущество заключается в том, что они легко устанавливаются и легко обслуживаются персоналом рабочих, работающих на станках, обслуживаемых этими кранами. К недостаткам их относится небольшая подъемная сила (5 *m*) и вызываемое ими утяжеление конструкции здания.

Наибольшее распространение в мостовых мастерских имеют мостовые краны. Они обычно проектируются с пролетами 20—25 *м* и подъемной силой до 20 *m*. При большой величине пролета вес крана становится слишком большим по сравнению с полезной нагрузкой его, что делает работу его неэкономной. При необходимости обслуживания ширины более 25 *м* представляется целесообразным или вводить дополнительные колонны или делать пути, подвешенные к стропильным покрытиям (рис. 96). Современные мостовые краны проектируются со скоростью долевого движения 100 *м* в минуту и скоростью поперечного движения тележки по крану 30 *м* в минуту; скорость подъема доводится до 7 *м* в минуту. При проектировке целесообразно предусматривать быстро двигающиеся краны, так как медленная работа крана производит впечатление медленно ведущейся работы, что психологически действует на рабочих.

---

[1]) Bautechnik. 1929. H. 3, Seite 590.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Отдельные мостовые краны хорошо обслуживают длину 75 *м*. При большей длине мастерской приходится ставить добавочные краны. Однако ставить на одних и тех же путях боле 2 кранов не следует, так как они начинают стеснять работу один другого. Отсюда можно сделать вывод, что длина отдельных мастерских более 150 *м* становится нецелесообразной в смысле обслуживания ее кранами.

Попытки применения мостовых кранов с движением их один над другим по разным путям показали, что работа их значительно стесняется необходимостью передавать тяжелые части над нижним краном. Самое же устройство не экономично в том смысле, что вызывает значительное повышение здания.

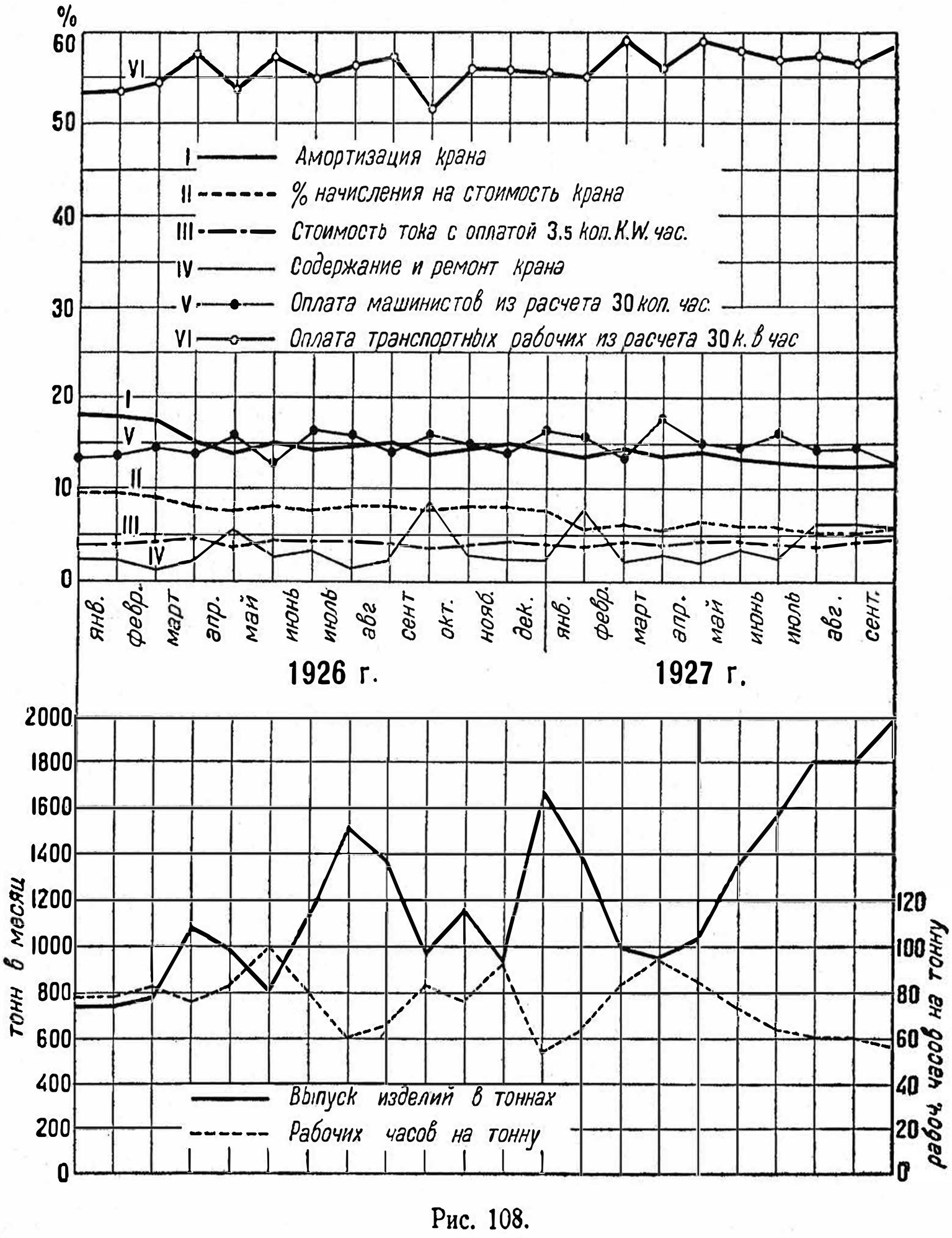


Рис. 108.

Лучшим является комбинирование мостовых кранов с подвижными стенными. Последние не стесняют прохода в средней части материала, поднимаемого мостовым краном.

При выборе кранового оборудования необходимо считаться со стоимостью его работы, последняя слагается из:

1) стоимости амортизации 10%
2) » процентов на затраченный капитал 5%
3) » потребления тока
4) » материалов и содержания крана
5) » обслуживания

НБ УДУНТ (ДІІТ)

На диаграмме рис. 108 показано изменение указанных стоимостей на одну тонну выпуска изделий по отчетности одного из германских заводов.

Из всех указанных стоимостей только стоимость потребления тока находится в прямой зависимости от нагрузки крана. Все остальные стоимости остаются постоянными и в случае неполной нагрузки крана они ложатся повышенным накладным расходом на тонну выпускаемых изделий.

Характерным является также то, что оплата рабочих, обслуживающих краны (подача материала от станков, нагрузка и разгрузка крана) составляет более 50% всей стоимости обслуживания транспорта кранами.

Отсюда приходится сделать вывод, что при расчете кранового оборудования необходимо внимательно учитывать возможную нагрузку его и возможно полное использование его. Излишнее крановое оборудование с неполным использованием ложится большим накладным расходом на выпускаемое изделие.

По данным Мейера, стоимость транспортного оборудования при нормальном использовании кранов должна составлять 2 р. 50 к. на тонну.

Наличие большой стоимости рабочей силы по обслуживанию кранов приводит того же автора к мысли, что не при всякой производительности мастерских обслуживание кранами оправдывает себя. Это, конечно, должно особо учитываться при организации временных мастерских, в которых при небольшой производительности может оказаться выгодным пользоваться ручной подачей и вагонетками без затрат на дорого стоящее крановое оборудование.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

II. СБОРКА И УСТАНОВКА МОСТОВ.

§ 16. Виды сборки. Мосты благодаря своим размерам большею частью не могут быть доставляемы на место установки в целом виде, а отправляются из мастерских завода в разобранном виде и уже на месте установки собираются в одно целое.

Производство этой работы отчасти зависит от конструкции устанавливаемого моста, но главным образом от местных условий, среди которых должна производиться вся постройка, изменяющихся в зависимости от бытовых условий реки, расположения моста, свободы проезда под ним и т. д.

Применяемые способы сборки и установки мостов на место могут быть разбиты на следующие основные группы.

a. Доставка и установка ферм в готовом виде.

b. Сборка мостов на подмостях над местом установки и установка их.

c. Сборка мостов вблизи места установки и различные виды установки их на место.

d. Сборка мостов на месте установки без подмостей (навесная сборка).

Эти основные виды сборки в свою очередь подразделяются на отдельные методы производства работы, которые указаны ниже при рассмотрении каждого вида сборки.

Все методы сборки могут быть применяемы для балочных мостов различных конструкций, не исключая подъемных и поворотных, так как особенности установки последних заключаются в установке специальных механизмов, а не самих ферм. Что же касается арочных и висячих мостов, то вследствие особенности конструкции их некоторые методы производства работ, как это выяснится по ходу описаний, для них не применимы.

Какой из методов сборки будет в каждом отдельном случае наивыгоднейшим, сказать заранее нельзя. Решение этого вопроса требует тщательного, всестороннего обсуждения и известной опытности. Правильное решение этого вопроса влияет не только на успешное производство работы, но и на удешевление ее.

Американские заводы, поражающие необыкновенной быстротой и дешевизной по сборке мостов [1]), обращают особое внимание на предварительное обсуждение вопроса о сборке. Для этой цели большие заводы имеют специальные отделения,

---

[1]) Нередки случаи, когда американские заводы, несмотря на стоимость провоза, были в состоянии конкурировать с европейскими заводами на постройку мостов в Европе. Так, при заявлении цен в 1897 г. на постройку моста через Юссель в Голландии заводом «Pencoyd» (Америка) была заявлена цена в 2 011 500 марок, тогда как наименьшая цена немецких заводов, именно завода «Харкорт», была 2 067 200 марок. При заявлении цен на постройку моста через р. Атбару в Судане (английские колонии) наиболее дешевая цена английских заводов была 2,3 млн. марок при 3-годичном сроке выполнения, цена же американского завода — 1,3 млн. марок при 1 годе срока выполнения.

В Америке нередки случаи окончания сборки 60 *м*-ферм с болтовыми узлами в течение нескольких дней (2—4), с открытием по ним движения.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

которые заранее намечают метод сборки, составляют соответствующие описания, разрабатывают и предвидят необходимые приспособления и т. д. При тех же отделениях имеются специальные рабочие, часто дорого оплачиваемые, но привыкшие к имеющемуся инструменту и приспособлениям, благодаря чему затрата времени на производство вспомогательных работ сведена до минимума [1]).

Вопрос о выборе метода сборки, обусловливаемый техническим выполнением, всегда связан с экономической стороной вопроса, что вполне понятно, так как стоимость сборки и установки на место, зависящая от местных условий, составляет 20 — 30% общей стоимости моста. Понижение этой стоимости достигается понижением отдельных расходов по сборке, которые могут быть подразделены на:

1. Стоимость рабочих рук и расходы, связанные с рабочей силой.
2. Стоимость сборочных приспособлений, как-то: подмостей, кранов и другие.
3. Стоимость приспособлений для установки на место.
4. Стоимость накладных расходов.

Часть этих расходов в некоторых методах сборки совершенно отпадает, в других методах сокращение расходов по одной рубрике повышает расходы по другой.

Стоимость оплаты рабочих рук и содержания рабочих на месте является расходом, неизбежным при всяких видах сборки. Понижение его может быть до-

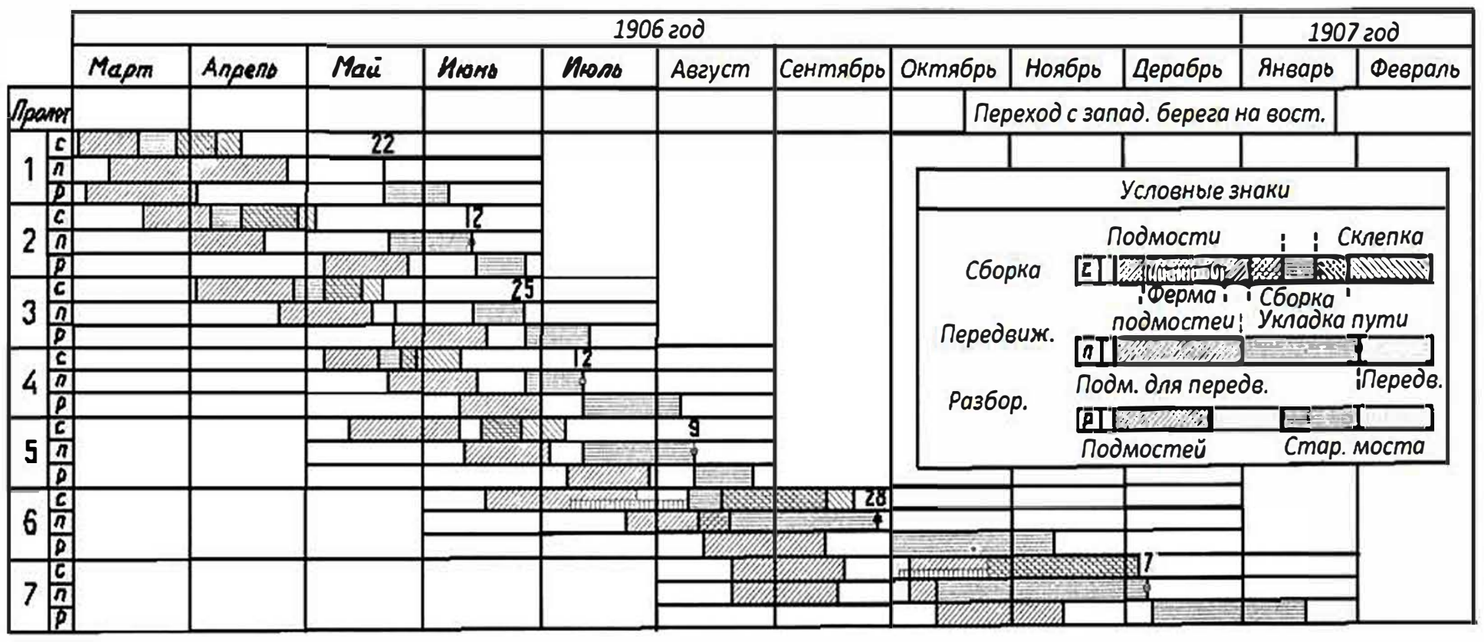


Рис. 109. График работ по замене пролетных строений моста через р. Эльбу.

стигнуто только сокращением работы на месте установки и увеличением ее на заводе, где она обходится на 30 — 40% дешевле, чем на месте установки. Такой результат достигается отправкой ферм и частей их в возможно более склепанном виде.

При сборке пролетных строений на месте установки и в непосредственной близости расходы на вспомогательные устройства (краны, их оборудование, инвентарь и пр.) неизбежны, как бы сборка ни производилась. Что же касается расходов на устройство подмостей и на собственно установку, то здесь возможны большие варьирования. При сборке на подмостях на месте установки стоимость собственно установки ничтожна; но зачастую по местным условиям стоимость подмостей при таком производстве сборки становится настолько высокой, что приходится отказаться от этого способа сборки и перейти на сборку вблизи места установки с малой затратой на подмости, но зато с увеличением затрат на установку путем того или иного вида надвижки. Бывают случаи, когда представляется выгодным свести до минимума расходы на устройство подмостей на месте установки и произвести сборку навесу, что, однако, связано с увеличением расходов на оборудование инвентарем и на приспособления.

---

[1]) Портальный деревянный кран, служивший для установки мостовых ферм пролетом до 20 *м*, сам имевший длину около 21 *м* и высоту около 7 *м*, разбирался и грузился на вагоны 8 рабочими в течение 15 часов и в 1/4 этого времени тем же числом рабочих разгружался с вагонов и вновь собирался («Aufstellung der eisern. Brücken in Amerika»), Bernhard, 1899 г., стр. 5).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Вообще выбор метода сборки и установки всегда должен быть предварительно продуман и проработан в сметном отношении. Даже больше того, иногда условия возможности производства работ на месте бывают настолько ограничены, что заставляют делать выбор соответствующей системы пролетного строения.

Большую помощь при выборе метода сборки и установки на месте оказывает составление графиков распределения работ. На этих графиках намечается последовательность производства работ по установке подмостей, сборке, клепке, надвижке и т. п., прорабатывается время потребное на производство этой работы. Такого рода графики показаны на рис. 109 и 110. Соответственно этому выясняется количество потребного инвентаря и рабочей силы, возможность последовательной переброски инвентаря и наилучшего использования затрачиваемых на производство работ средств Графики эти составляются по отчетным данным о других аналогичных работах, по статистическим данным о соотношениях между весом и количеством заклепочных отверстий, по данным о производительности, по отдельным видам работ и по данным Урочного положения и т. д.

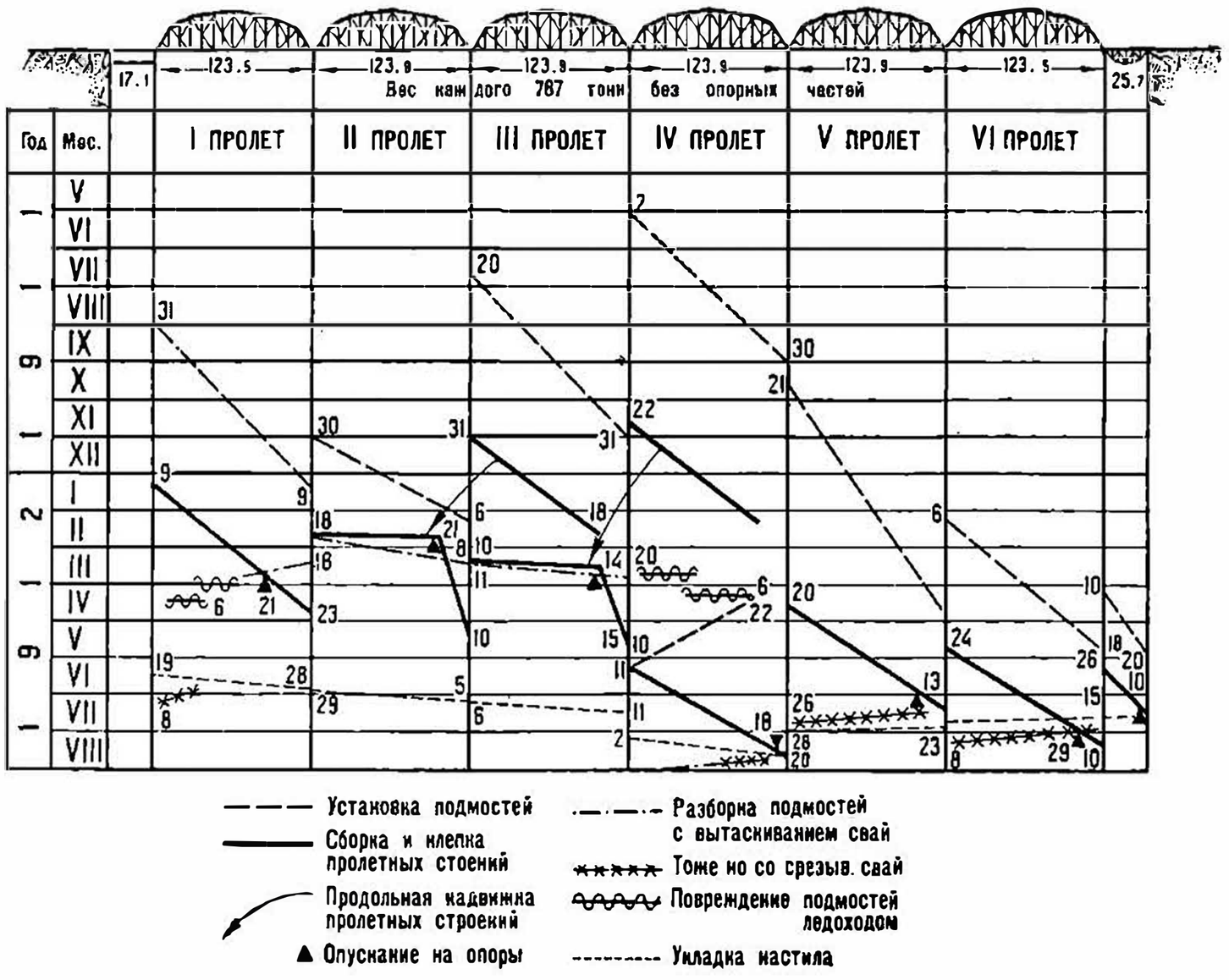


Рис. 110. График работ по сборке и установке пролетных строений моста через р. Оку.

Особую ценность получают эти графики для каждого из заводов, если во время производства самой работы составляются такие же графики, которые выясняют все недостатки и упущения, сделанные при разработке первоначального графика.

Доставка ферм в склепанном виде на место установки и установка их.

§ 17. Доставка ферм в склепанном виде. Характерную особенность доставки и установки ферм в готовом виде составляет совершенное сокращение или сведение до минимума всей слесарной работы, связанной со сборкой ферм, благодаря чему, во-первых, значительно сокращается время производства работ, что бывает иногда крайне важно по условиям движения, а, во-вторых, значительно сокращаются расходы на отправку и содержание на месте установки дорого оплачиваемых специальных мастеровых, на устройство подмостей и прочее.

При доставке ферм в целом виде производство работы несколько осложняется вопросом о разгрузке их и установке на место, однако правильно налаженная разгрузка и установка одного пролета обыкновенно производится в течение

НБ УДУНТ (ДІІТ)

нескольких часов, тогда как всякая сборка и склепка ферм пролетом даже 20 *м* требует не менее $1^1/_2 - 2$ недель времени. Эти преимущества доставки и установки ферм в готовом виде заставляют желать возможно большего применения этого способа, особенно для местностей, отдаленных и мало населенных.

У нас в Союзе этот способ широко применяется для мостов отверстием до 12 *м* и в редких случаях для ферм большего пролета. За границей не редки случаи перевозки ферм пролетов 30-*м* на расстояния в несколько сот километров. Ради выгоды доставки ферм в готовом виде американские заводы поступаются увеличением стоимости провоза и отправляют готовые фермы окружным путем по линиям с более выгодными очертаниями габарита, профиля пути, чем по линии кратчайшего расстояния.

В зависимости от веса, длины и высоты пролетных строений для перевозки их в целом виде пользуются или обычными железнодорожными платформами или специальными тележками.

Так как обычная железнодорожная платформа обладает предельной грузоподъемностью 20 *т* (нормальная — 16,5 *т*), и так как условия прохождения по кривым пути платформ, груженых пролетным строением, допускает опирание его только на две платформы, то этим ограничивается вес пролетного строения, возможного к перевозке ($2 \times 60 = 120$ *т*). Это ограничение в весе заставляет переходить к перевозке пролетного строения уже не в целом виде, а с разделением его на две главные фермы, оставляя таким образом постановку и приклепку связей до места установки, что обычно не представляет затруднений.

Второе условие, ограничивающее возможность перевозки пролетных строений и отдельных ферм, это габаритное очертание строений железнодорожного пути, внутри которого должны проходить груженые платформы. Высота пролетного строения, возможного к перевозке в пределах габаритного очертания, определяется следующими размерами: высотой габарита H, равной в существующих сооружениях — 6,4 *м*, высотой пола платформы над головкой рельса $h_1 = 1{,}29$ *м*, высотой приспособлений на полу платформы для погрузки ферм h_2, составляющей, примерно 0,25 — 0,35 *м*, и наконец, запасом в высоте между груженой фермой и габаритным очертанием, необходимым для прохождения по подъемам и т. д., обычно принимаемым в 0,20 *м*.

Таким образом высота h_0 ферм, возможных к перевозке, определяется из расчета:

$$h_0 = H - h_1 - h_2 - 0{,}20 \text{ м}$$

и приблизительно ограничивается высотой 4,6 *м*.

Фермы больших пролетов помещаются на двух или более платформах, но так как они должны опираться только на две платформы, то при движении по кривым пути ось фермы занимает положение хорды и очерчивает кривую, постоянно пересекая ее в двух точках (рис. 111), причем ось фермы в большей или меньшей степени отходит от оси кривой. Это отдаление в средней части фермы будет тем больше, чем больше будет расстояние между опорными точками фермы; при сближении этих точек к середине такое же уклонение от оси кривой получают концы фермы. Так как уклонение оси фермы от оси кривой должно быть по возможности наименьшее и равномерное, то точки опоры ее выбираются так, чтобы середина фермы и концы уклонялись от оси кривой на одинаковую величину y, что удовлетворяется следующим расчетом (рис. 111).

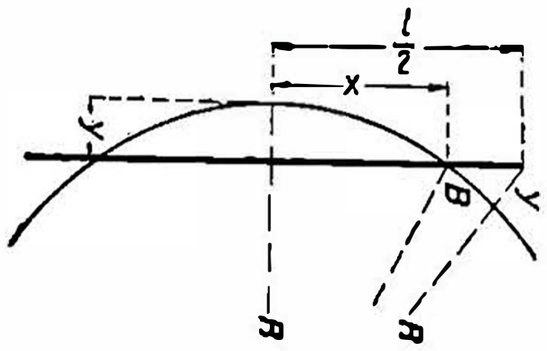


Рис. 111.

Вводя обозначения: R — радиус кривой, l — длина фермы, x — расстояние точки опоры от середины фермы, зависимость между этими величинами можно выразить уравнениями:

НБ УДУНТ (ДІІТ)

$$x^2 = R^2 - (R-y)^2 = 2Ry - y^2, \qquad (2)$$

$$\frac{l^2}{4} = (R+y)^2 - (R-y)^2 = 4Ry. \qquad (3)$$

Определяя из второго уравнения величину R и подставляя ее в первое, получим:

$$R = \frac{l^2}{16y}; \quad x^2 = \frac{l^2}{8} - y^2; \quad x = \sqrt{\frac{l^2}{8} - y^2}.$$

При достаточно большом по сравнению с пролетом радиусе кривой величина y незначительна, и с достаточной степенью точности можно принять:

$$x = \sqrt{\frac{l^2}{8}} = \frac{l}{2\sqrt{2}}. \qquad (4)$$

Величина отклонения y определяется из уравнения (3)

$$l^2 = 16Ry; \quad y = \frac{l^2}{16R}. \qquad (5)$$

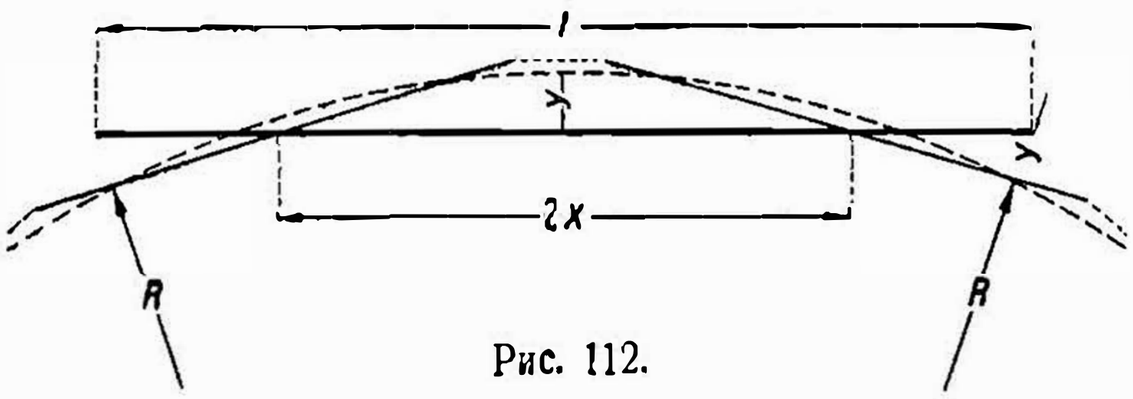
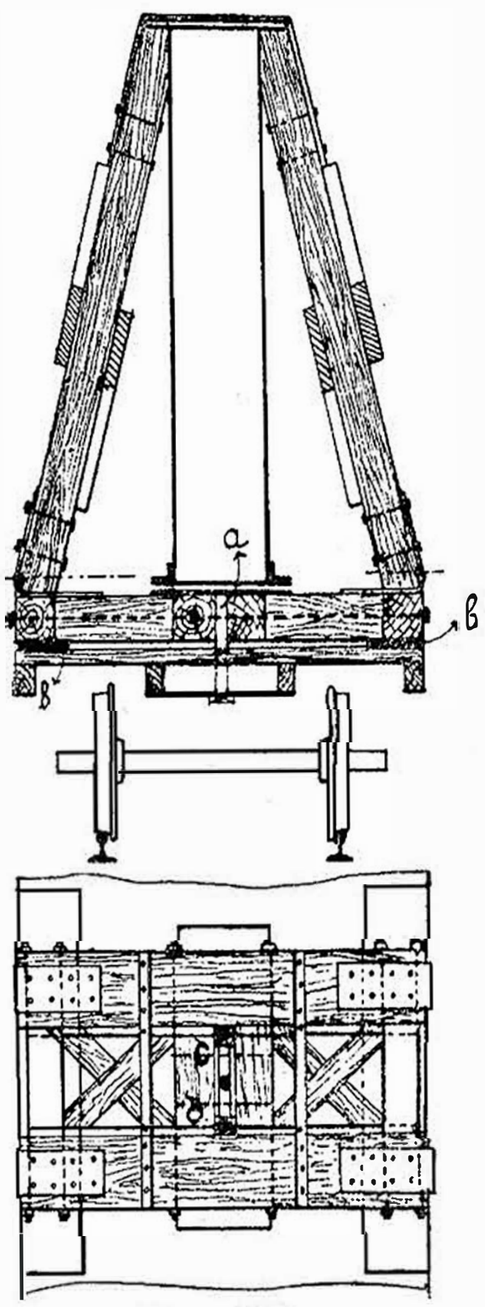


Рис. 112.

Вполне очевидно, что движение фермы по кривой возможно только при наличии свободного вращения оси вагона относительно оси фермы, что обеспечивается устройством в погрузочном приспособлении особых штырей, допускающих вращение опорных точек фермы.



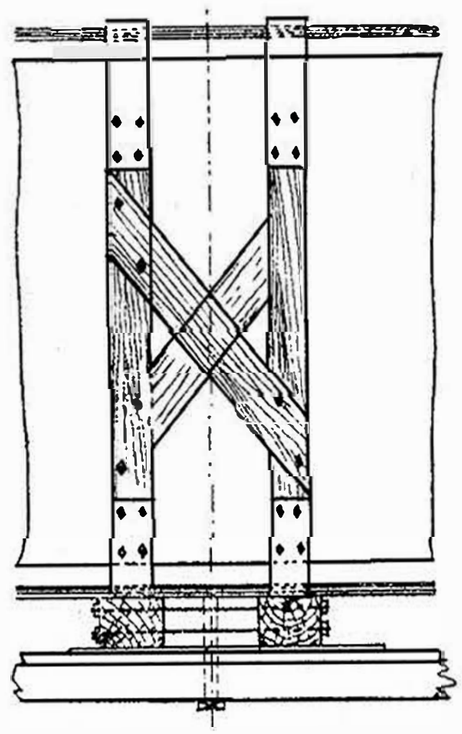


Рис. 113.

Вместе с тем при движении по кривой оси вагонов очерчивают ломаную линию, длина которой больше длины хорды, по которой располагается пролетное строение (рис. 112). Это увеличение длины многоугольника вагонов должно быть обеспечено устройством подвижности в погрузочном приспособлении; обычно это осуществляется устройством овальных дыр, в которых может иметь движение штырь опоры (рис. 113).

Длина свободного хода штыря может быть определена приближенно по разности длины дуги и хорды.

Если принять длину хорды — $2x$ и стрелу ее — y (см. черт. 111 и 112), то, как известно, длина дуги определяется приближенной величиной:

$$s = \sqrt{4x^2 + \frac{16}{3}y^2},$$

отсюда приращение Δs длины дуги

$$\Delta s = s - 2x = \sqrt{4x^2 + \frac{16}{3}y^2} - 2x$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Подставив значения x и y из формул 4 и 5 и сделав приведение, получим:

$$\Delta s = \frac{l}{4\sqrt{3}.R}(\sqrt{24R^2+l^2} - 2\sqrt{6}.R), \qquad (6)$$

или

$$\Delta s = 0{,}145\,\frac{l}{R}(\sqrt{24R^2+l^2} \quad 4{,}90.R). \qquad (7)$$

На рис. 113 показан тип установки и укрепления ферм на вагонах, применяемый в Америке. Фермы устанавливаются на деревянные рамы, вращающиеся около центрального штыря *a* и своими концами скользящие по железным пластинам *b*. На одном конце фермы рама устраивается только с вращательным движением вокруг

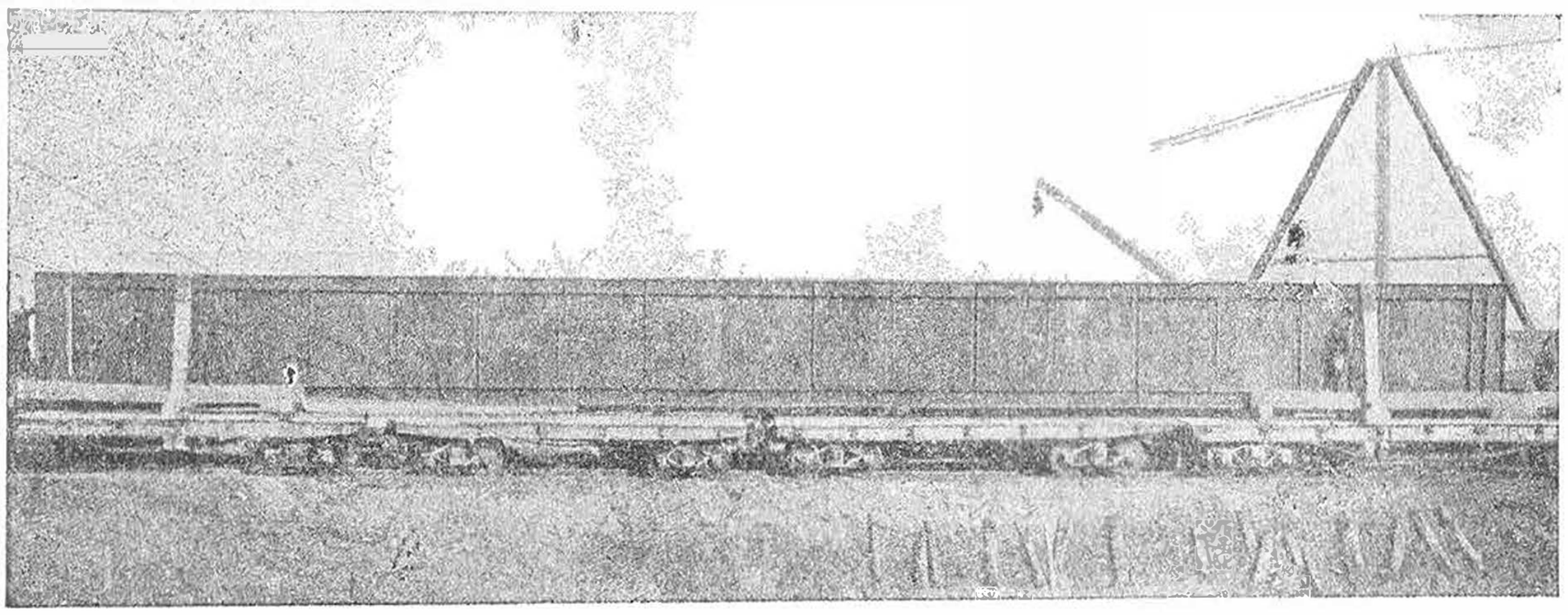


Рис. 114.

штыря, на другом же конце фермы рама снабжается овальным отверстием *cd*, в которое помещается штырь, благодаря чему вагоны могут иметь продольный сдвиг относительно рамы. В предупреждение опрокидывания фермы подпираются подкосами, связанными с опорными рамами. При помощи этого вида приспособления в Америке

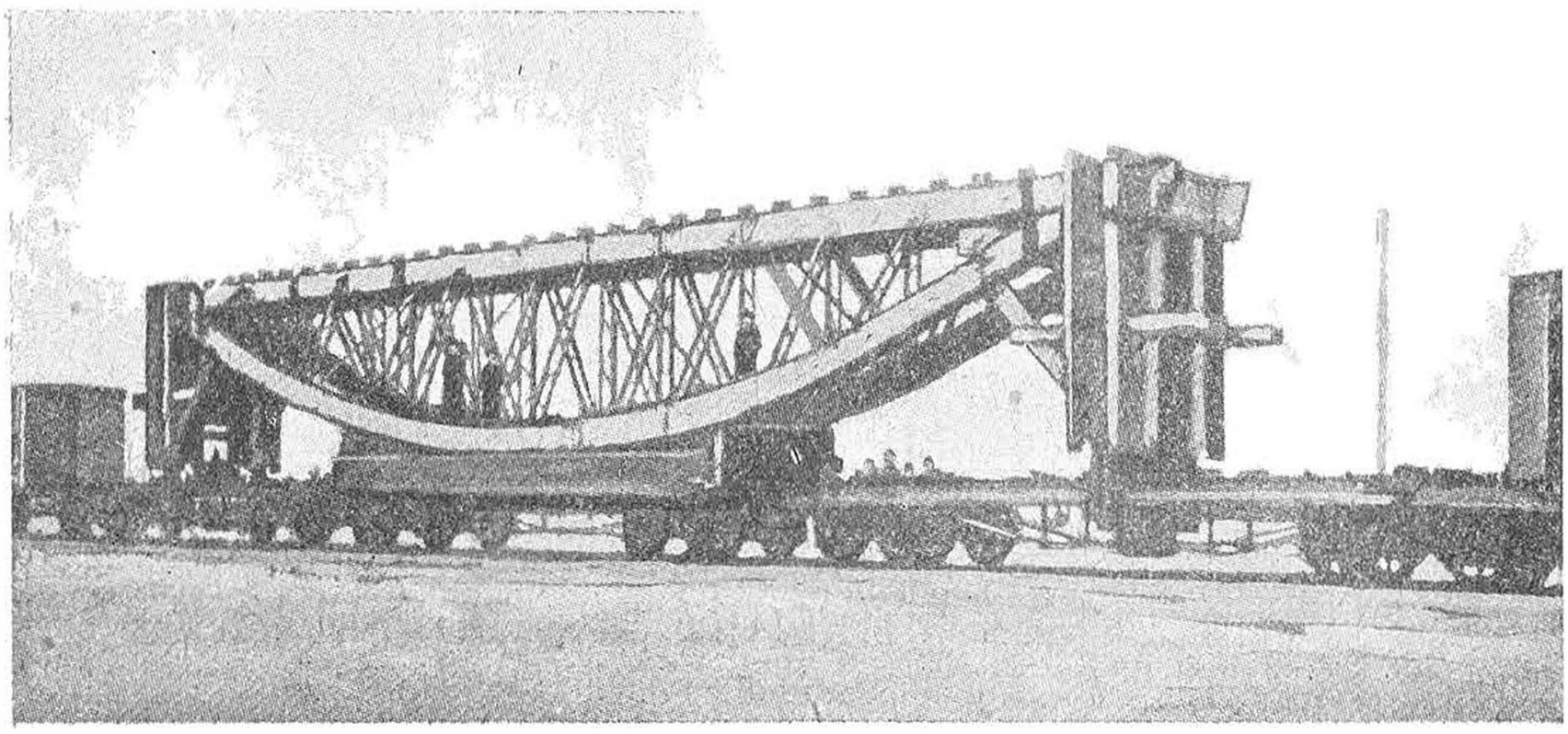


Рис. 115. Перевозка пролетных строений для моста через р. Рудас.

перевозятся фермы пролетом до 40 *м*, высотой до 3,2 *м* и весом до 60 *т* (рис. 114), причем перевозка производится по кривым с радиусом, равным 75 *м*.

Так как промежуточные вагоны во время перевозки остаются не загруженными фермой, то их используют для перевозки дополнительных частей пролетного строе-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ния: опор, перил, связей и пр. Ненагруженные промежуточные вагоны при проходе по кривым легко могут быть вытолкнуты с оси пути, в предупреждение чего они загружаются даже баластом.

На рис. 115 показан способ доставки пролетного строения в целом виде, который был выполнен для моста на р. Рудас, пролетом 25,0 *м*, весом около 39 *т*. Пролетное строение было установлено и наглухо связано со средней платформой и своими концами покоилось на специальных подставках над двумя крайними платформами. Концы пролетного строения, не будучи связаны с подставкой, имели свободное перемещение вдоль и поперек ее, чем обеспечивался проход всего сцепа по кривым участкам пути. Неподвижное укрепление пролетного строения относительно средней платформы имеет тот недостаток, что оно всегда сохраняет положение касательной к оси пути, концы же их имеют большую игру при проходе состава по кривым.

Величина этой игры определяется уравнением:

$$y = \sqrt{R^2 \quad \frac{l^2}{4}} \quad R,$$

которое при $R = 150\,м$ и l 25,0 *м* даст величину игры:

$$y = \sqrt{150^2 - \frac{25^2}{4}} \quad 150 = 0{,}69\,м.$$

Этот способ перевозки по своей грандиозности не может быть рекомендован для больших расстояний, но при массовых установках в одном районе при условии невозможности устройства подмостей или большой дороговизны их он с успехом может применяться для развозки ферм из определенного центрального пункта, чем облегчился бы надзор за сборкой и клепкой ферм, а вместе с тем сократился бы расход на перевозку с места на место мастеровых, инструментов и прочее.

При большом весе пролетного строения, передача которого на две обычные железнодорожные платформы невозможна, применяются специальные многоосные тележки. Тяговое устройство между такими тележками осуществляется через установленное на них пролетное строение, поэтому в опорных приспособлениях таких тележек не делается продольной подвижности; при таком способе перевозки пролетное строение при проходе по кривым пути вписывается в них в виде хорды.

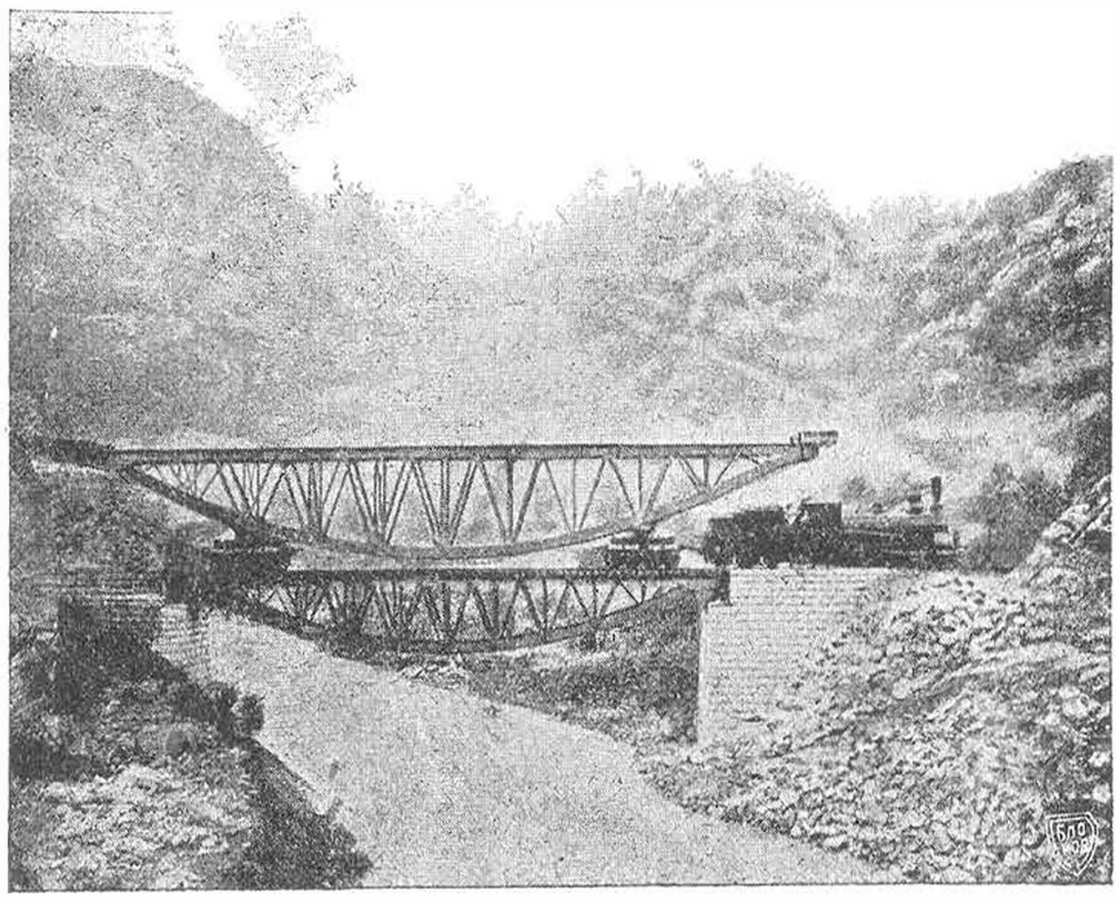


Рис. 116. Перевозка 42-*м* пролетного строения на Тифлис-Карской ж. д.

Подобный вид перевозки пролетного строения длиной около 40 *м* и весом около 130 *т* был выполнен при постройке Тифлис-Карской ж. д. Пролетное строение перевозилось при помощи двух четырехколесных тележек (рис. 116), давление на которые было рассчитано по 17 *т* на ось.

Каждые две оси тележек связаны (рис. 117) между собой двойными рамами из дубовых брусьев *s* и образуют, таким образом, как бы две полутележки; при

НБ УДУНТ (ДІІТ)

соединении последних в одну целую тележку между ними оставлялся зазор, обеспечивавший игру полутележек между собой при проходе их по кривым частям пути. Брусья *s* связаны между собой железными диафрагмами, служащими для укрепления

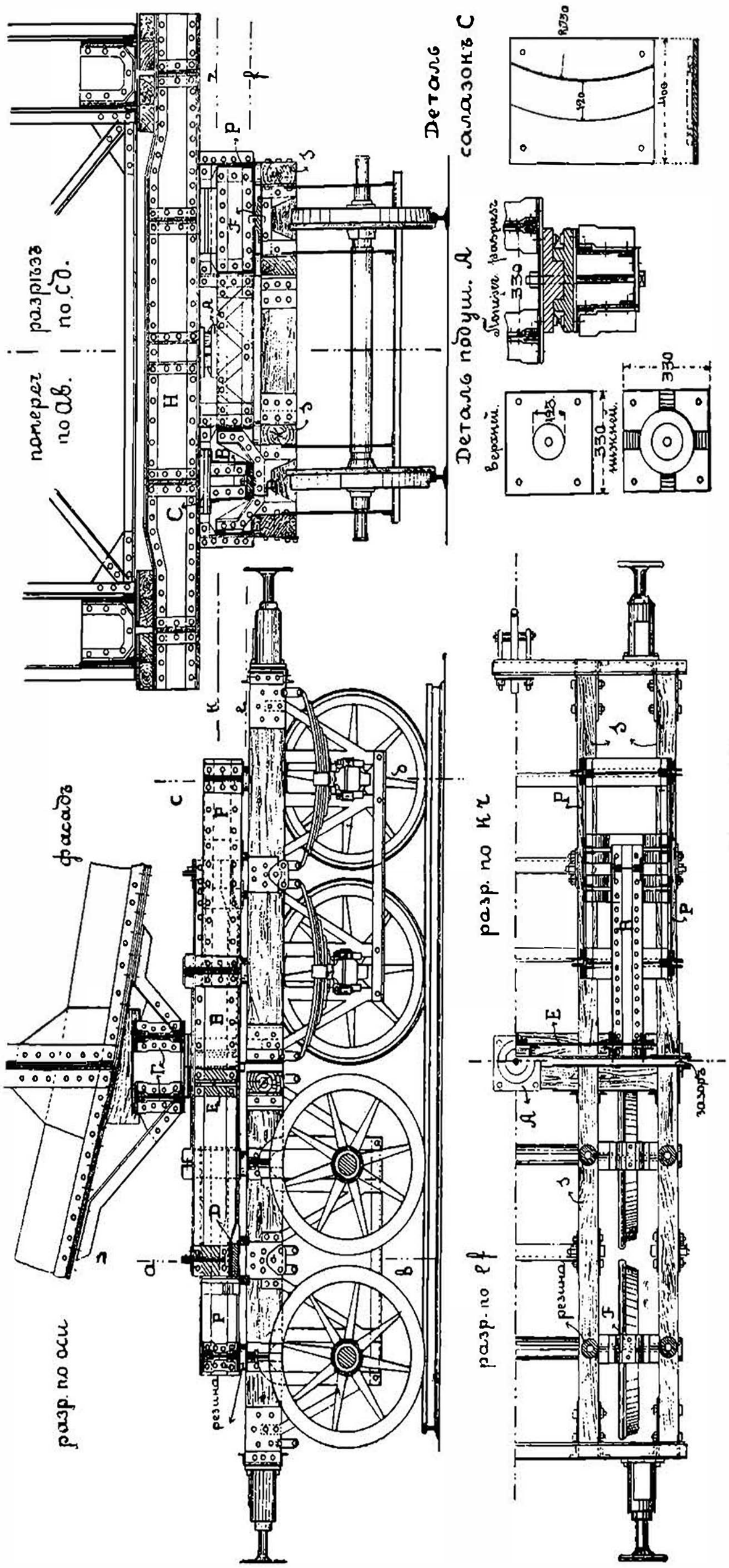


Рис. 117.

выпуклых подушек *F*. На эти подушки *F* и на резиновые прокладки, лежащие на брусьях *s*, установлены короткие железные балки *P*, связанные между собой четырьмя диафрагмами. Две средние из них поддерживают подушки *D* с установлен-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ными на них коробчатыми железными балками B, соединяющими в одно целое обе полутележки. В средней части тележки обе балки B связаны между собой двойной балкой E, в середине которой помещается подушка A со штырем вращения; над балками же B в средней их части помещаются салазки C. Как подушка A, так и салазки C служат для вращения балки H, поддерживающей все перевозимое пролетное строение моста. Зазоры между полутележками, свободное соединение подушками F и D железных рам тележки между собой и упругое соединение рам

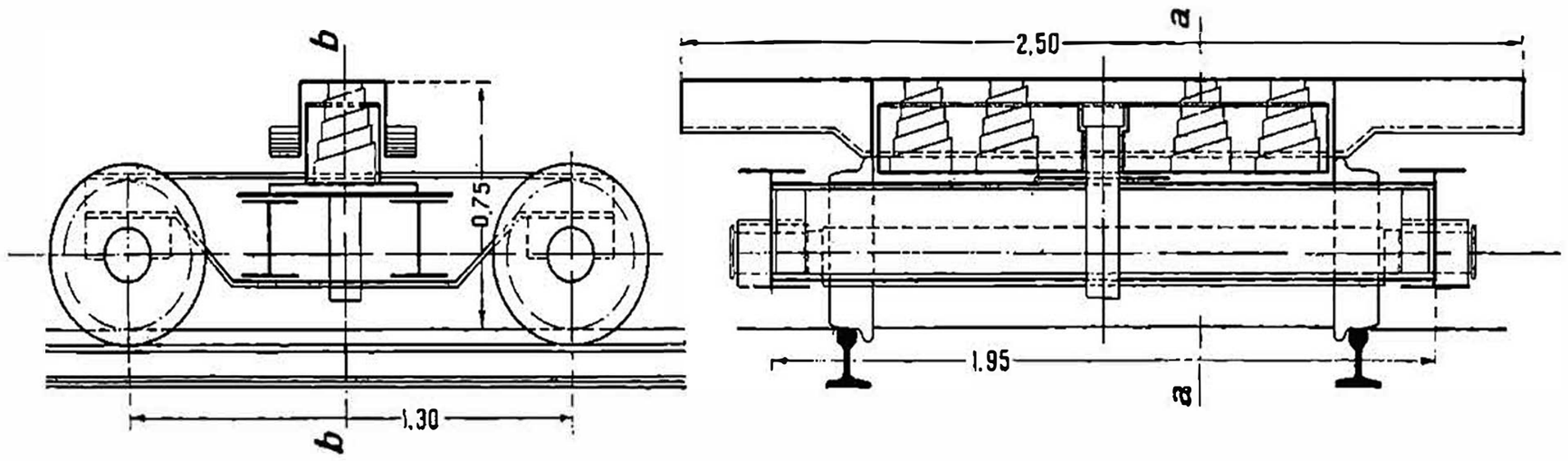


Рис. 118.

с брусьями s тележки помощью резиновых колец вполне обспечивают возможность прохода тележек по кривым и уклонам пути, что и подтверждается фактами перевозки ферм по незабаластированному пути с кривыми $R = 100\,м$; на прямых участках пути перевозка производилась со скоростью $15\,км$ в час при слое баласта в $10\,см$.

На рис. 118 показана схема конструкции тележки со сниженным полом. Балка AB, служащая для установки пролетного строения, опирается на четыре винтовых

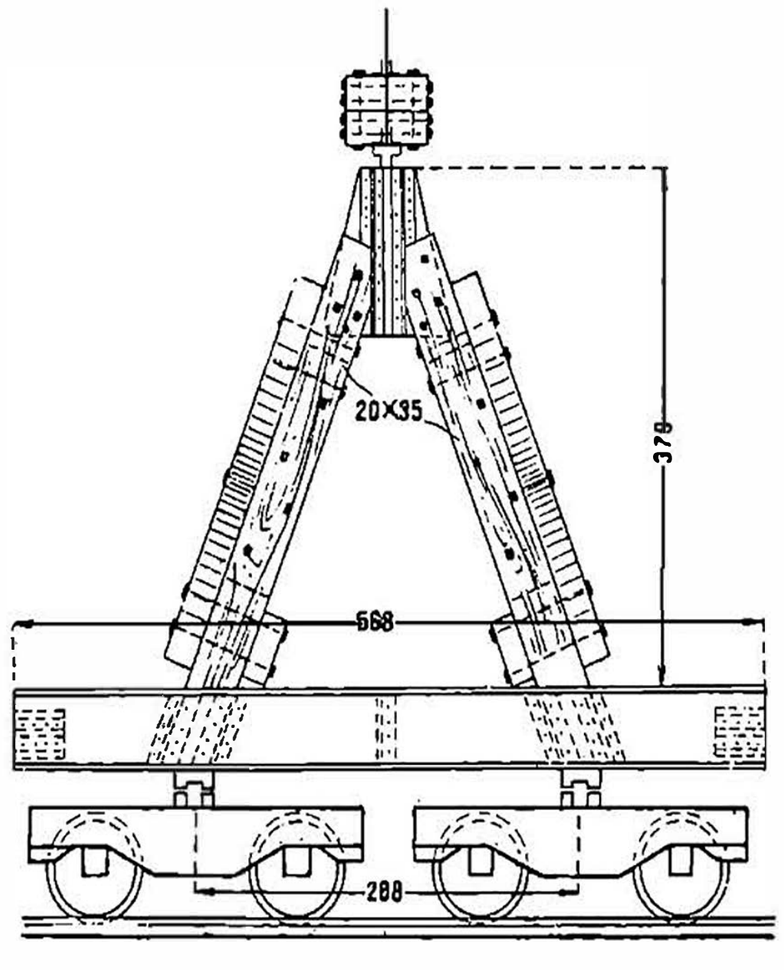


Рис. 119.

рессоры и имеет вращение вокруг стержня C; этим устройством обеспечивается проход по кривым. Подъемная сила такой тележки рассчитана на $25\,т$.

На рис. 119 показаны тележки, примененные для перевозки пролетных строений моста через р. Далавар (Пенсильвания). Пролетные строения этого моста длиной $46\,м$ и весом до $158\,т$ устанавливались на две специальные башни, помещавшиеся каждая на двух железных вагончиках. Основанием башни служили пять двутавровых балок № $46/a$, связанные между собой железными диафрагмами и опиравшиеся на две

НБ УДУНТ (ДІІТ)

стальные подушки *b*. Последние располагались в центре каждого из вагончиков и соединялись с ним штырем, чем обеспечивалось свободное движение вагончиков относительно башни. В верху башни помещались две двутавровые балки, служившие

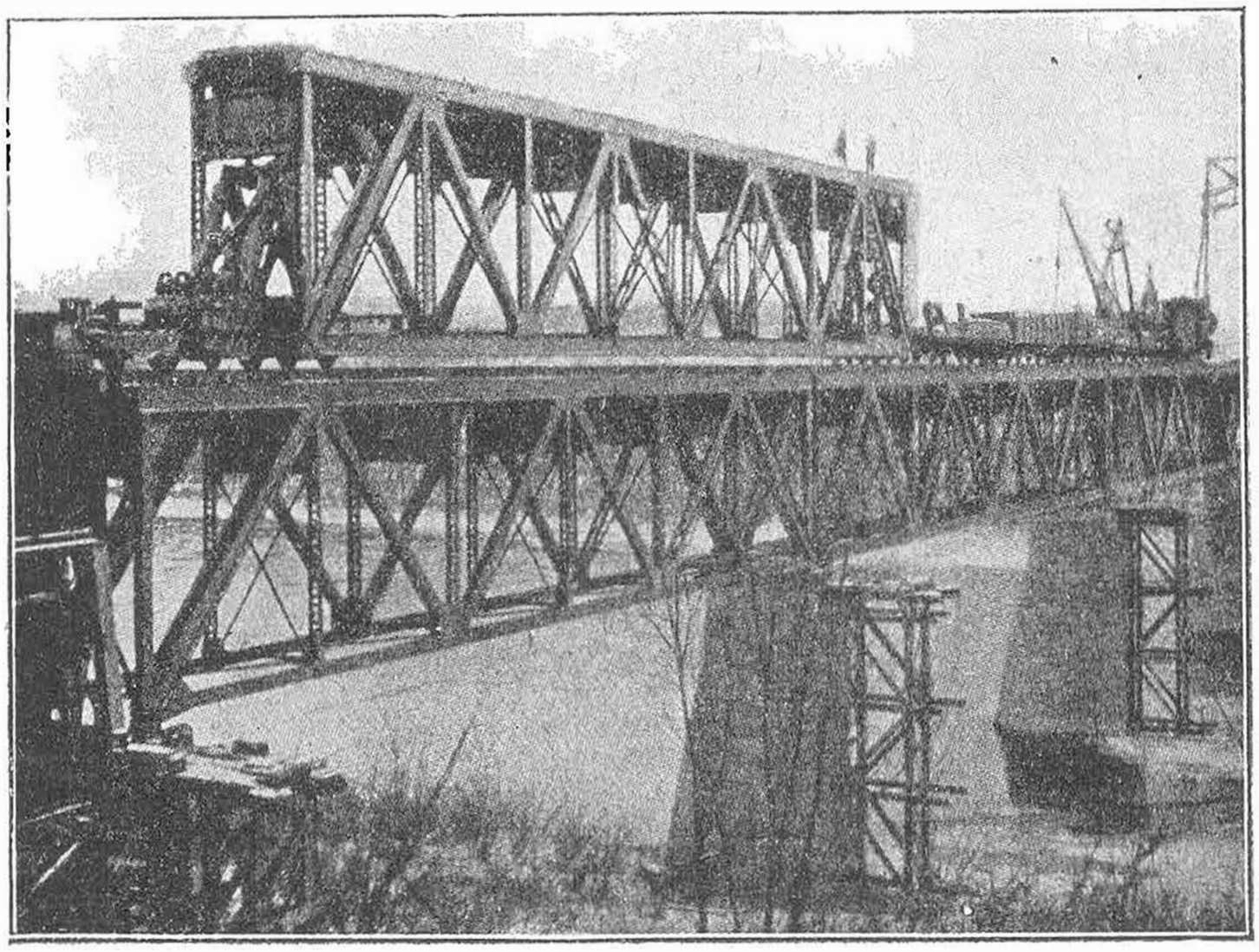


Рис. 120. Перевозка 40-*м* пролетного строения для моста через р. Делавар.

для установки в средней части их стальной сферической подушки со штырем по середине *c*, а по краям подушки скольжения *d*. Вся башня с вагончиками помещалась между фермами пролетного строения под концевыми поперечными балками (рис. 120).

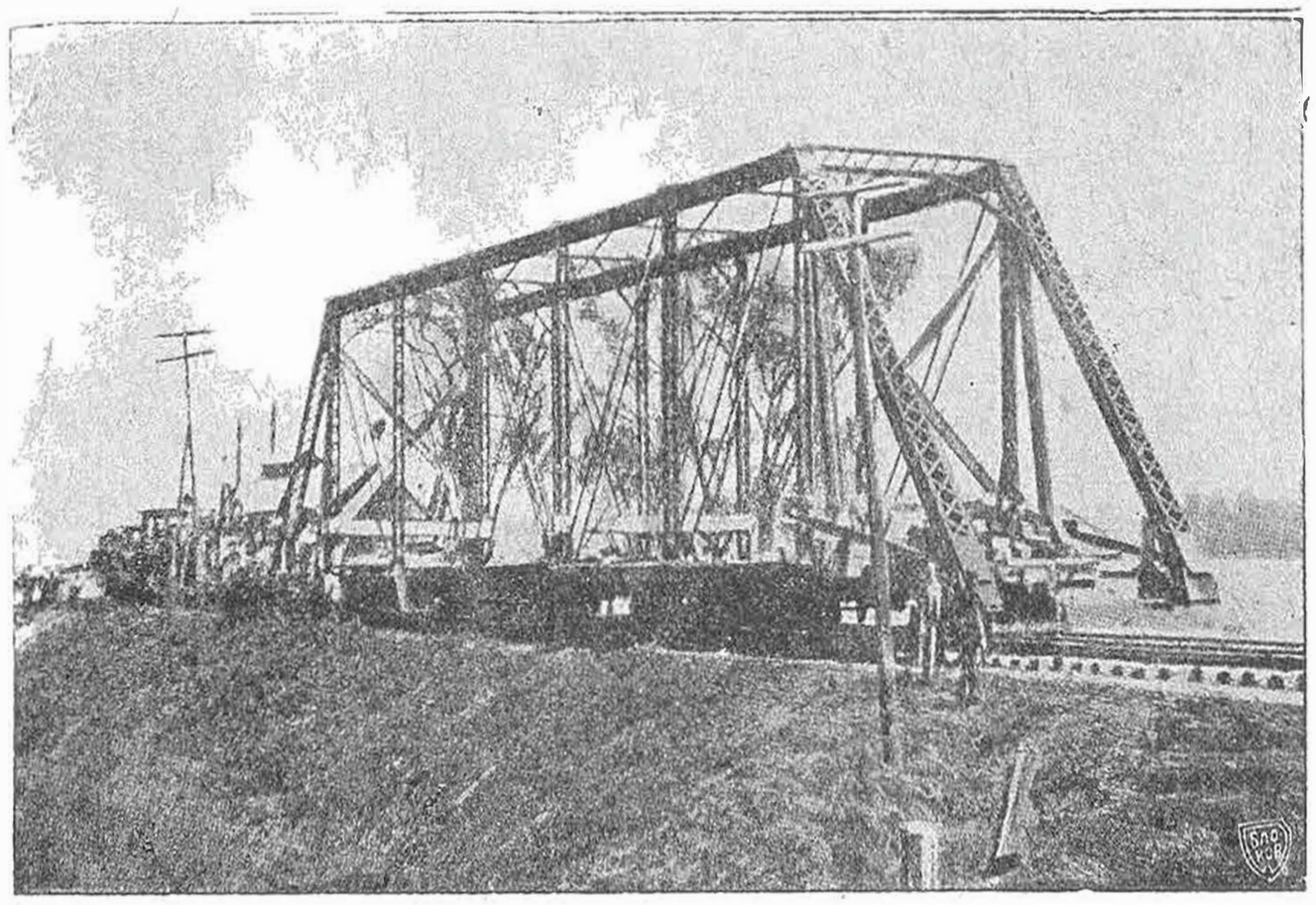


Рис. 121. Перевозка 30-*м* пролетного строения с ездою понизу.

Перевозка пролетных строений с ездою понизу возможна только там, где не препятствуют этому габаритные условия и профиль пути.

На рис. 121 показана перевозка пролетного строения длиной 38 *м*, весом 42 *т*., произведенная в Колумбии на протяжении 1 464 *м*. Перевозка производилась на

НБ УДУНТ (ДІІТ)

железнодорожных платформах (рис. 122), на которые были положены дубовые брусья $40 \times 20\ см^2$, имевшие свободное вращение около штыря, укрепленного в

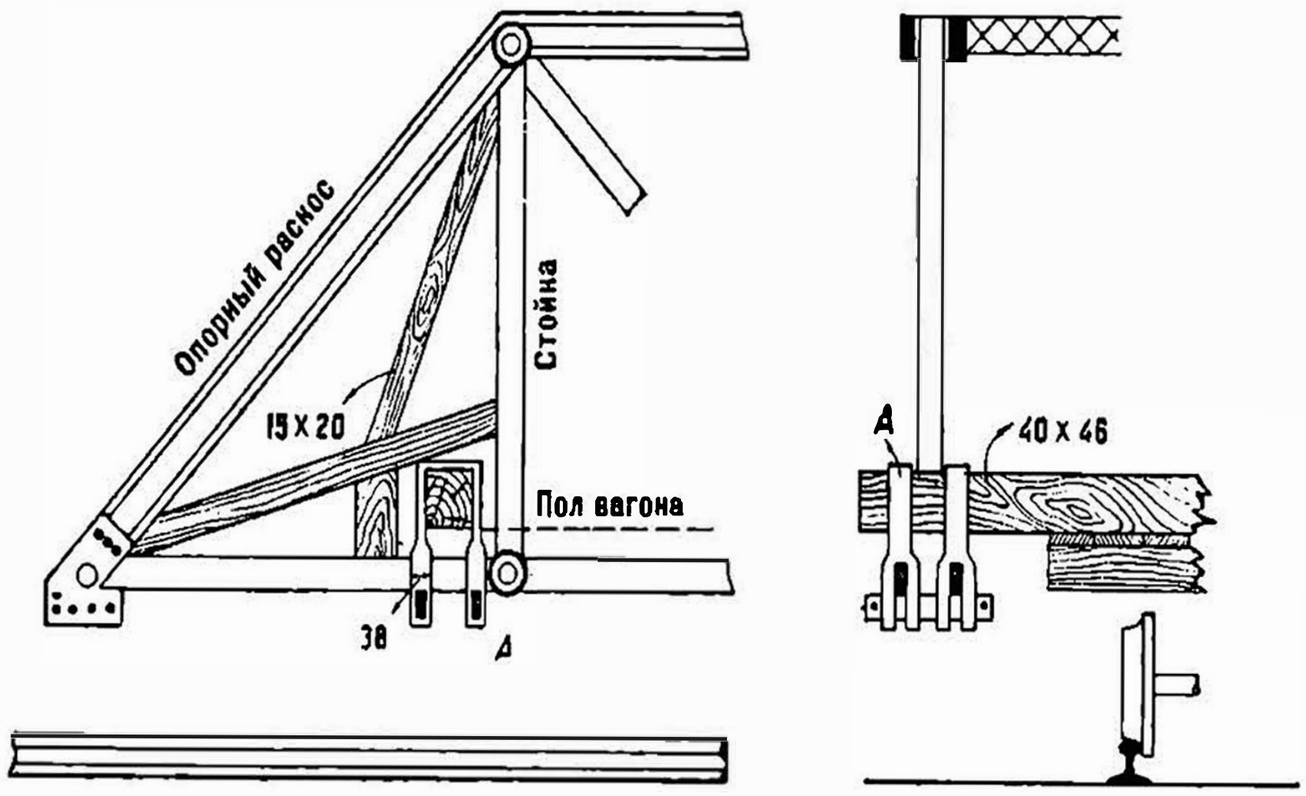


Рис. 122.

полу вагона гона. Эти брусья служили для поддержки пролетного строения, которое подвешивалось к ним своим нижним поясом при помощи особых подвесок.

Во время надвижки пролетное строение прошло четыре кривых в пути и два уклона в 0,008.

Выбранная в описанном случае система подвешивания пролетного строения является целесообразной в смысле повышения общей устойчивости. Но не исключается возможность и опирания пролетного строения на специальные балки, лежащие на платформе или на специальных тележках.

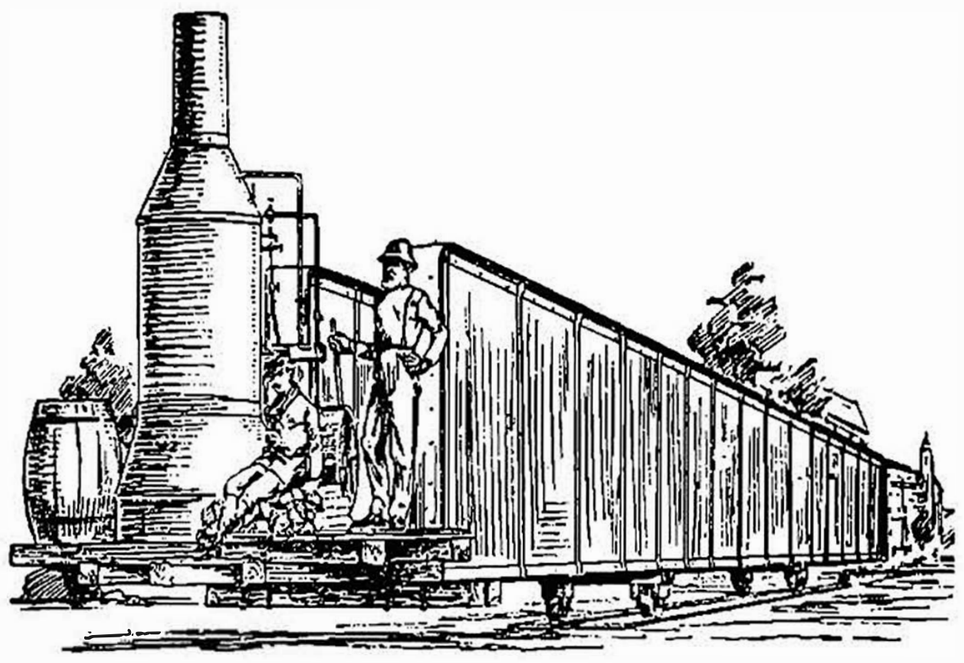


Рис. 123. Перевозка ферм по обыкновенным дорогам.

За границей не стесняются перевозкой больших ферм в склепанном виде и по обыкновенным дорогам, применяя для этого, смотря по обстоятельствам, конную, пароходную и тракторную тяги. В случаях плохого состояния дороги или большого давления на катки и колеса, по дорогам укладывается временный переносный настил из толстых досок.

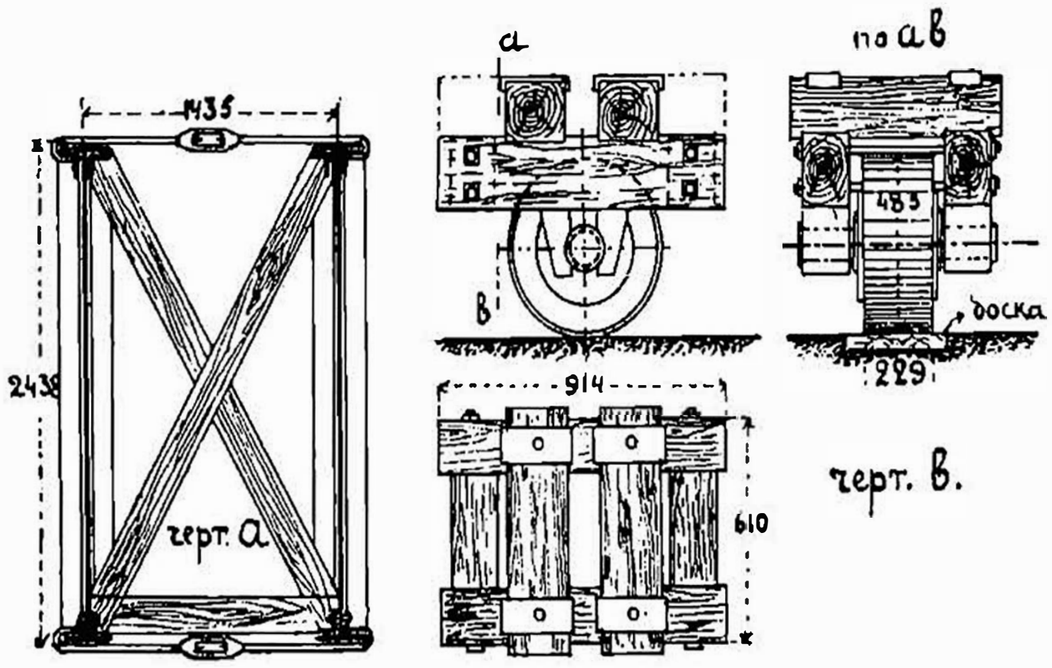


Рис. 124.

На рис. 123 показан интересный случай перевозки по городским улицам на протяжении $1\ км$ ферм пролетного строения для моста через р. Вобаш. Каждые две фермы этого моста длиною $28{,}5\ м$ и весом около $40\ т$ связывались в одно целое крестообразными деревянными распорками и железными стяжками. Под каждую ферму помещалось по два колеса, конструкция которых показана на рис. 124. Колеса помещались ближе к середине фермы, что облегчало проход фермы на углах улиц. Для более плавного

НБ УДУНТ (ДІІТ)

прохода по мостовым и для более равномерного распределения давления колес на грунт под них подкладывались доски толщиной 10 *см*. Перевозка была совершена при помощи паровой машины, помещенной на выстилке, сделанной по нижним поясам спаренных ферм [1]).

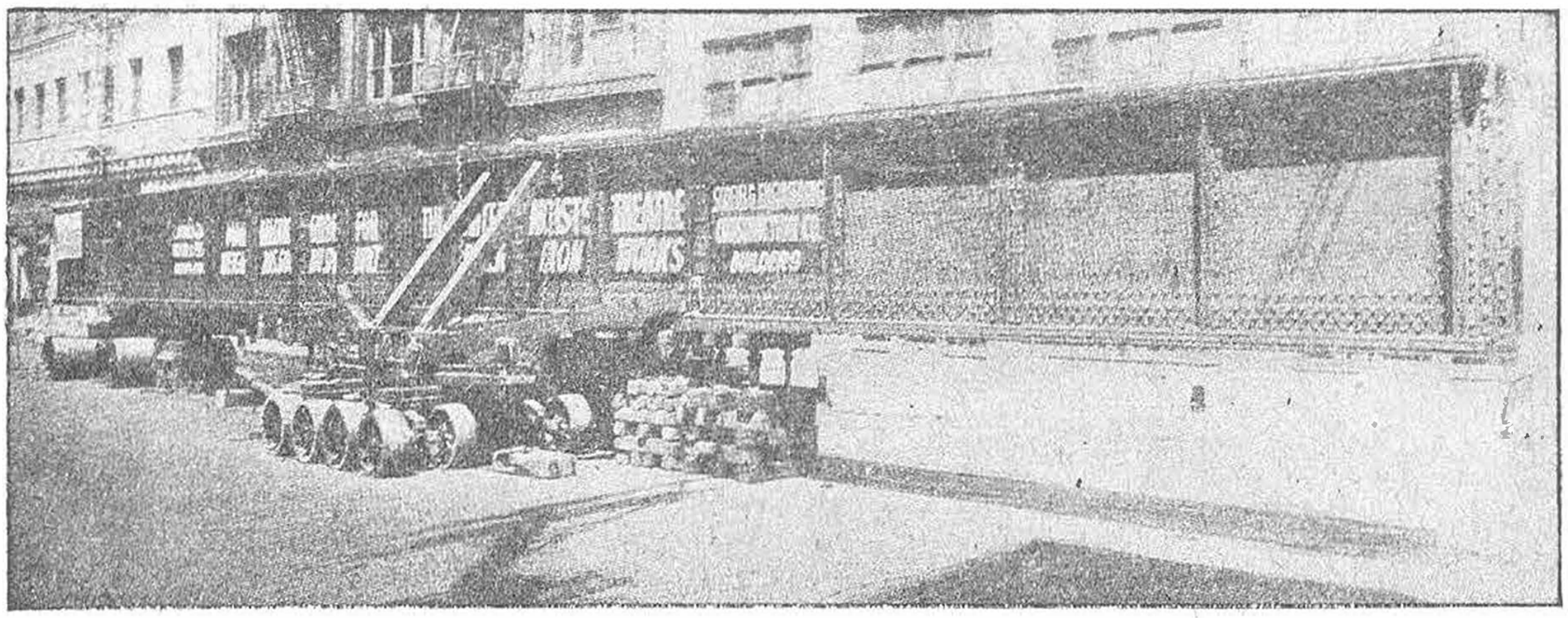


Рис. 125. Перевозка ферм по улицам Лос-Анжелос.

На рис. 125 показана перевозка по улицам города Los Angelos в Калифорнии фермы длиной 30,5 *м*, высотой 2,13 *м* и весом 103 *т*. Перевозка была сделана при помощи двух тележек с 44 катками, диаметром около 60 *см* и шириной обода около

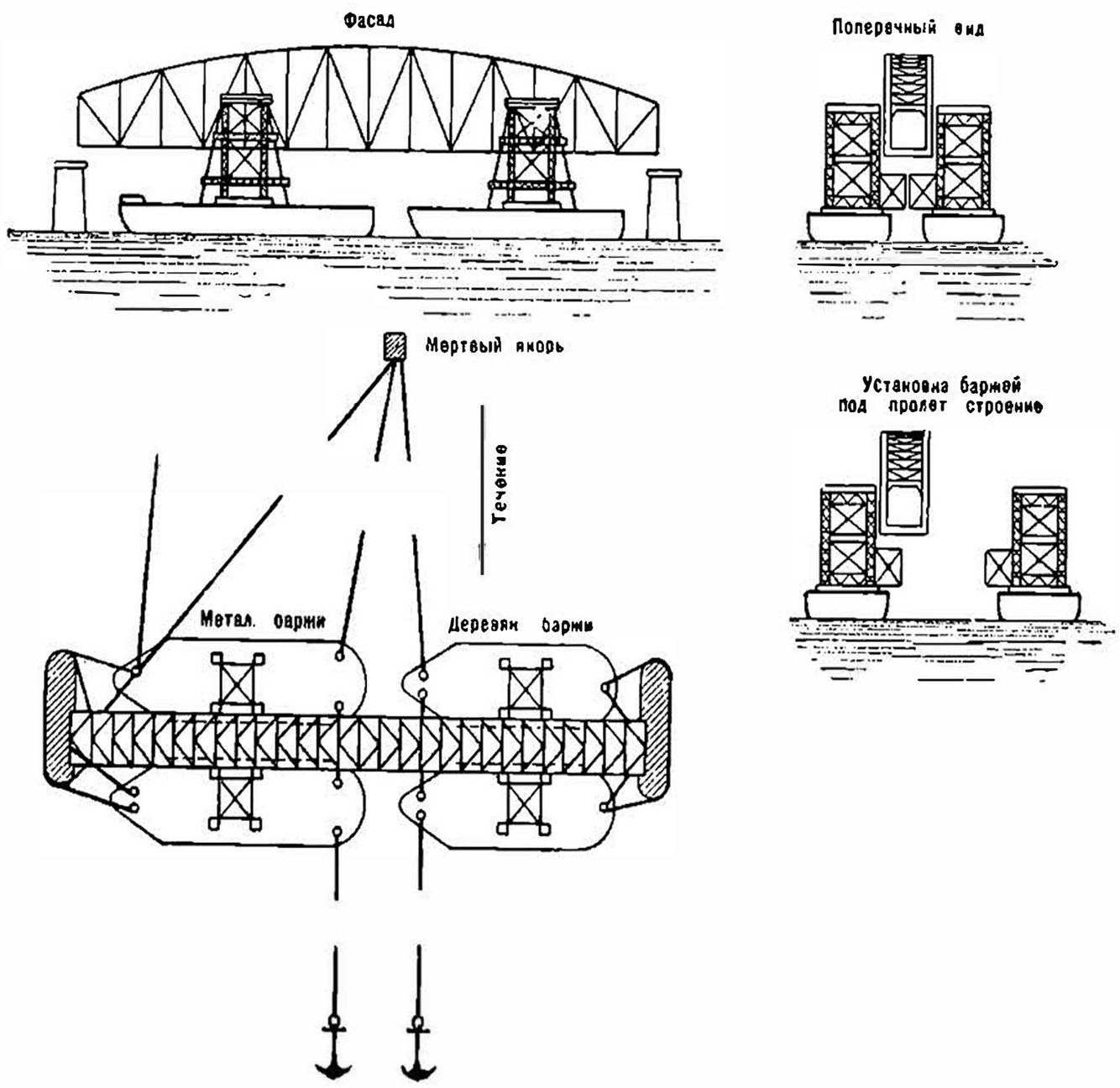


Рис. 126. Перевозка пролетных строений на баржах.

40 *см*. Перевозка совершалась в ночное время от 1 часа до 5 часов, чтобы не стеснять уличного движения [2]).

Условия восстановления мостов после империалистической и гражданской войн

---

[1]) «Eng. News», 1897, стр. 326.
[2]) «Eng. News Record», 1927, № 21.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

выдвинули вопрос о перевозке в целом виде больших пролетных строений по воде с одного моста на другой.

Такая перевозка была выполнена инж. А. Ф. Эндимионовым, когда по условиям восстановления моста на р. П. потребовалось перевезти с моста у К. три 109-метровых пролетных строения весом каждое 574 *т*.

Для перевозки были приспособлены 4 баржи, соединявшиеся попарно и в таком виде служившие для снятия и перевозки каждого пролетного строения (рис. 126). На каждой барже [1]) была сделана железная вышка для установки винтовых домкратов, к которым при помощи цепей из плоских звеньев подвешивались пакеты, служившие для установки на них пролетного строения. Домкратные винты имели диаметры от 62 до 80 *мм* и были рассчитаны на напряжение в 1 100 *кг/см*^{2}.

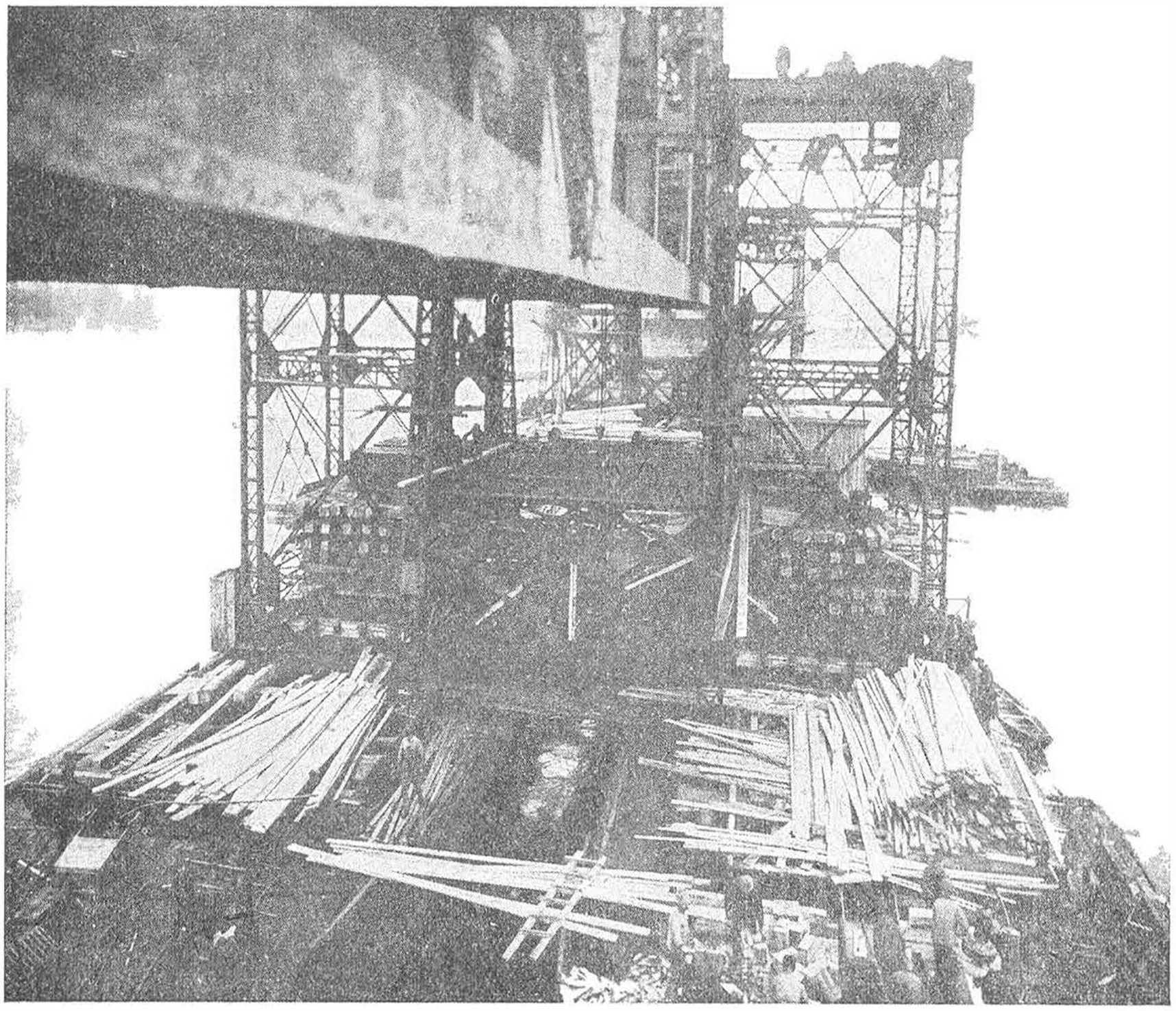


Рис. 127.

Конструкция вышек была запроектирована так, чтобы подвески с пакетами имели ход по высоте в 8 *м*, чем обеспечивалась возможность изменять по высоте положение пролетного строения.

Баржи с устроенными на них вышками подводились к пролетному строению с двух сторон (рис. 126) — с верховой и низовой и расчаливались к опорам моста и неподвижным якорям, после чего каждая пара барж была связана между собой жесткими поперечными фермами, образовавшими из них общую пловучую опор- (рис. 127). Расположение спаренных барж вдоль оси моста обеспечивало правильное движение их вдоль реки с пролетным строением, имеющим вполне устойчивое долевое положение; вместе с тем широкая база спаренных барж обеспечила устойчивое положение в поперечном направлении. По расчету крен при ветре 120 *кг/м*^{2}

---

[1]) Расчет усиления барж и их устойчивости при перевозке пролетных строений см. § 34.

НБ УДУНТ (ДІТ)

мог доходить до 3°49′, что составляло одну треть расчетной устойчивости спаренных баржей.

Закрепление барж в пролетах моста было рассчитано по двигающей силе течения:

$$W = \varphi \cdot \gamma \cdot f \cdot \frac{v^2}{2g}, \qquad (8)$$

где φ — коэфициент, зависящий от очертания корпуса баржи, принимаемый при установке барж бортами вдоль течения равным 0,525, при установке бортами поперек течения равным 0,77; f — площадь проекции смоченной поверхности судна на плоскость нормальную к направлению течения; v — скорость течения; $g = 9{,}81$ *м/сек*, γ — вес 1 $м^3$ воды = 1 000 *кг*.

Для снятия и перевозки на баржи пролетных строений служили пакеты из двутавровых балок, своими концами подвешенные к домкратным винтам (рис. 128); пакеты имели пролеты равные 10,5 *м* между центрами подвесок. Пролетное строение,

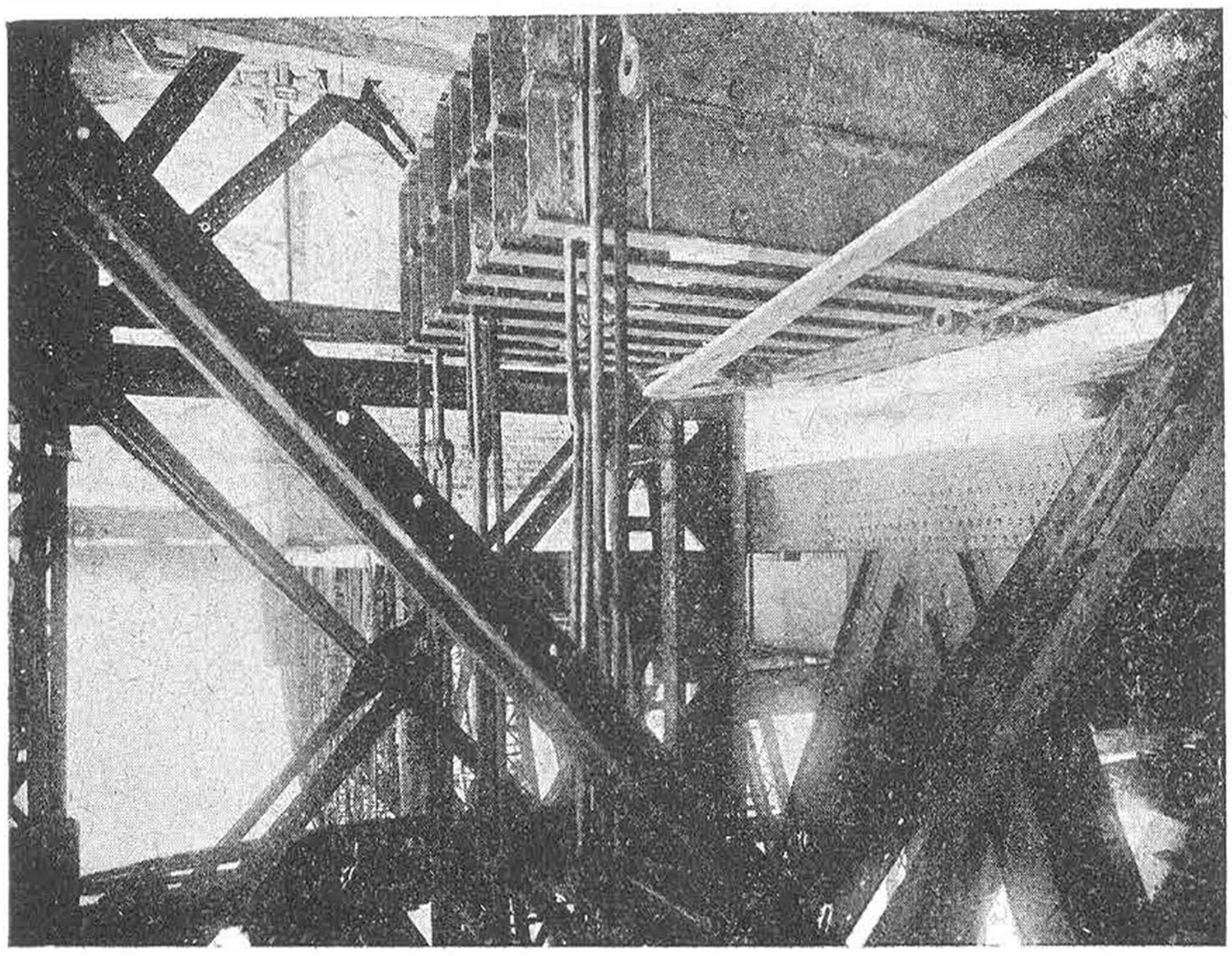


Рис. 128.

установленное на пакеты, имело возможность легких покачиваний на них; для того чтобы эти покачивания не могли вызвать во время перевозки удара пролетным строением по вышкам барж, между ними были заложены дубовые брусья.

После того как пролетное строение было снято с опор на баржи, производилось поворачивание всей установки на 90° для последующей буксировки его вдоль реки. Это поворачивание производилось путем постепенного ослабления одних закрепительных тросов и натягиванием других из них. На поворот первой фермы было затрачено 3 часа, на поворот второй — 1 час 15 минут и третьей — 50 минут.

Буксировка барж с пролетным строением производилась пятью пароходами с общей мощностью 1 100 индикаторных лошадиных сил; три более мощных парохода шли гусем по оси барж, два других шли по бокам и служили одновременно для регулировки движения барж (рис. 129). Измерения показали, что при скорости течения 0,75 *м/сек* и скорости движения 2,1 *м/сек* тяговое усилие всех пароходов доходило до 7 500 *кг*. Осадка барж при второй перевозке была 2,13 *м*, при третьей — 2,28 *м*.

В процессе всей перевозки наибольшие затруднения имели место при крутых поворотах реки, особенно в узких местах, где радиус кривизны доходил до 200 *м*;

НБ УДУНТ (ДІІТ)

в этих местах приходилось тормозить движение барж путем выбрасывания с задних барж цепи, волочившейся по дну и этим умерявшую разгон всей системы. Известное опасение представляло также прижимание барж ветром и течением к берегу и отмелям, что приходилось регулировать маневрированием пароходов.

Буксировка производилась только в дневные часы. Скорость движения изменялась от 0,64 до 5,8 *км* в час, что зависело от условий реки и скорости течения, которая изменялась в пределах от 0,2 до 1,55 *км/сек*. Весь путь в 296,5 *км* был совершен вторым караваном в течение 86 часов 10 минут (с остановками 119 часов 30 минут) и третьим караваном в течение 81 часа (с остановками 110 часов).

По отчетным данным стоимость этой перевозки с учетом накладных расходов, слагается из следующих сумм.

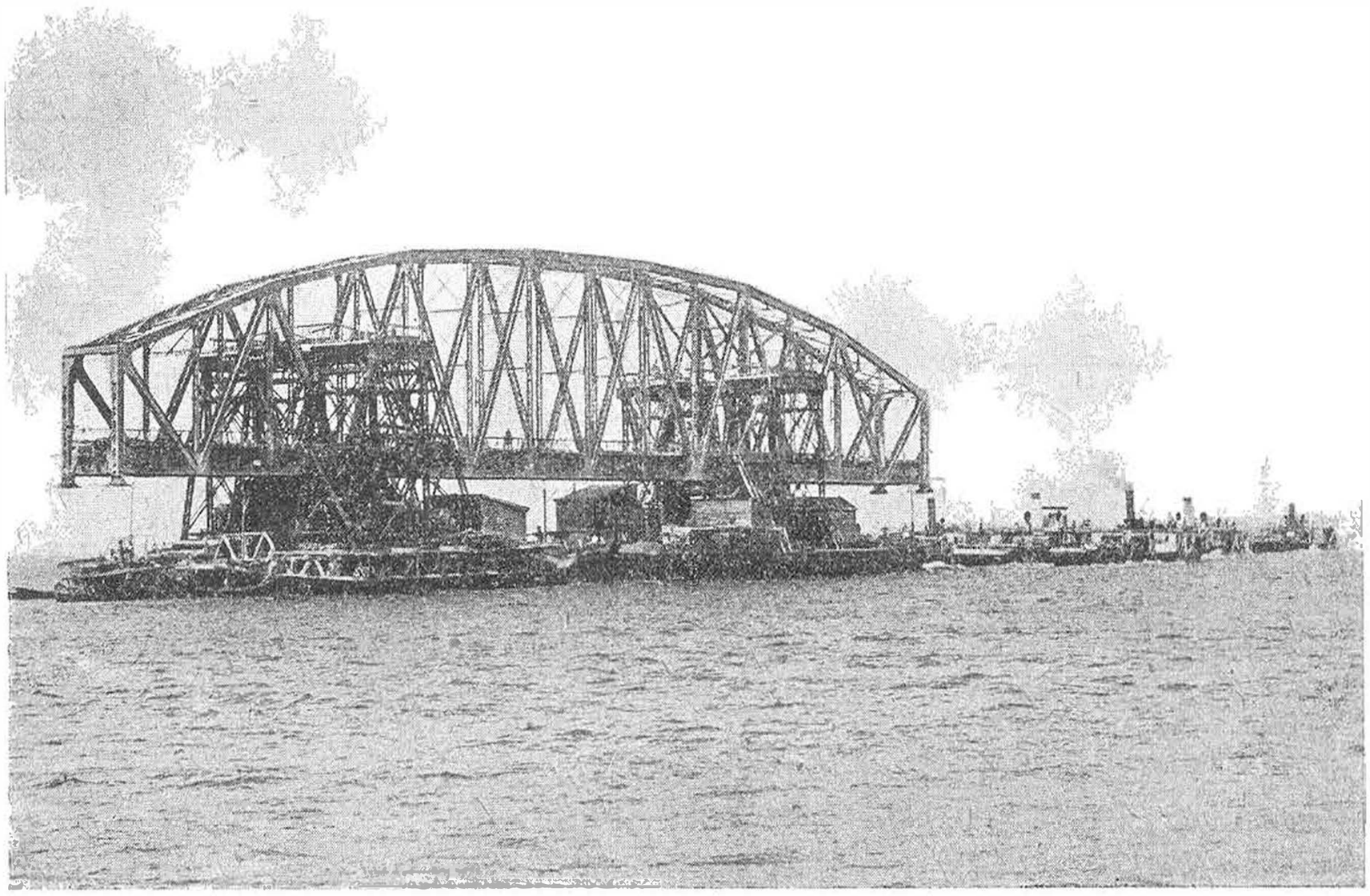


Рис. 129. Общий вид перевозки пролетного строения на баржах на большое расстояние.

1) Подготовка барж с устройством вышек, подъемных приспособлений и пр. . . .	82 р.	35 к. за тонну
2) Установка плавающих опор и съемка пролетных строений	12 »	20 »
3) Перевозка с содержанием пароходов и рабочей силы, с обратной буксировкой барж .	75 »	03 » »
4) Подъемка пролетных строений и установка их на опоры	21	96 »
5) Разные вспомогательные работы .	135	42 »
6) Землечерпание на перекатах и в пролетах моста	109 »	19 » » »
Всего .	436 р.	15 к. за тонну.

Опыт производства этой перевозки показал, что при расположении завода на большой реке с хорошим водным путем, не требующим специальных работ по землечерпанию и больших вспомогательных работ, такого вида перевозки могут оказаться рентабельными при перевозке нескольких пролетных строений.

§ 18. Постановка пролетных строений на место. Постановка на место пролетных строений, доставляемых к месту работ в целом виде, состоит из двух процессов работ: введение пролетного строения в отверстие и собственно постановка на место. Наибольшие затруднения всегда имеют место именно в первом процессе, возможность выполнения которого в существенной степени зависит от местных

НБ УДУНТ (ДІІТ)

условий, т. е. высоты моста, возможности устройства подмостей и т. п., от размеров и веса пролетного строения и, наконец от того, куда подвозится пролетное строение, т. е. подвозится ли оно по насыпи к верху устоев, или по путям к низу устоев.

Установка вагами и по настилу. Мосты малых пролетов до 10 *м* и весом до 5 *т* легко устанавливаются на место, независимо от высоты устоев. Платформа с погруженным на него пролетным строением подается по насыпи к верху устоев, после чего пролетное строение при помощи ваг и ломиков сдвигается по двум-трем лежням, укладываемым наклонно: одним концом на платформу, а другим — на подферменную площадку противоположного устоя; когда сдвигаемое таким образом пролетное строение своими концами займет положение над устоями, лежни убираются, и пролетное строение опускается на подферменные площадки. Опытные рабочие в количестве двух мастеров и двух подручных производят такую установку в течение 1,5 — 2 часов.

Мосты больших пролетов и большого веса требуют для введения их в отверстие более солидного приспособления. Простейшими из них являются устройства подмостей с прогонами или выкладка клеток.

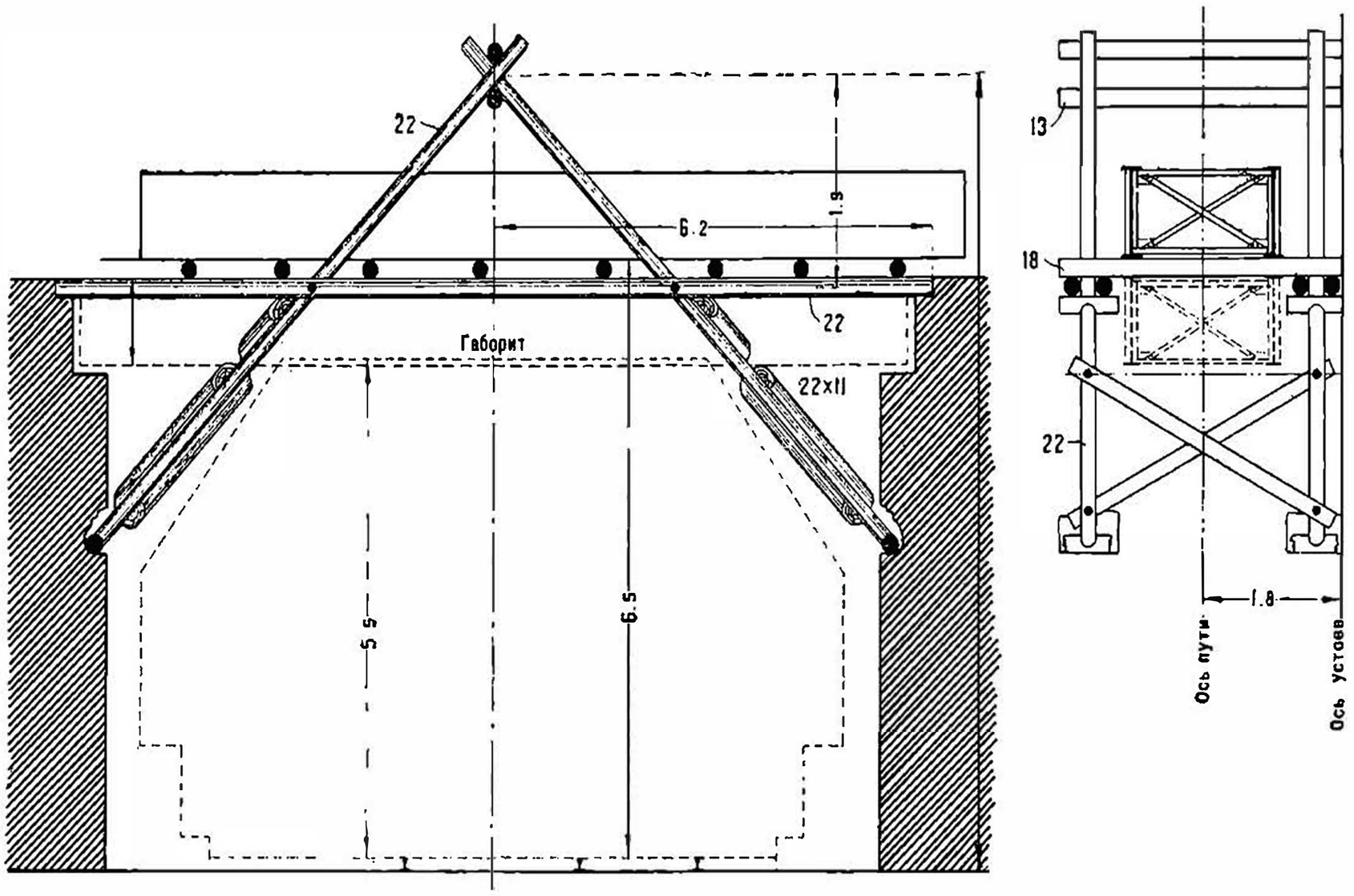


Рис. 130. Установка по настилу.

Обычно подмости делаются легкого типа, наподобие показанных на рис. 130.

До накатки на устоях устанавливаются две деревянные подкосные стропилины, которые своими концами упираются в устои, в специальные гнезда или в подферменные площадки. Расстояние между стропилинами делается шире устанавливаемого пролетного строения; к стропилам подвешиваются в нескольких точках на болтах или схватках продольные лежни, по которым надвигается устанавливаемое пролетное строение. Когда пролетное строение достигнет своего проектного положения над устоями, катки с лежнем убираются, и пролетное строение при помощи ваг и домкратов опускается на опорные площадки.

При установке пролетного строения на путепроводе Моск.-Каз. ж. д. над путями Моск.-Нижегор. ж. д. подвесные подмости прирубленные заранее были установлены на место в продолжение 6 — 7 часов, накатка и установка пролетного строения длиной около 13 *м* продолжалась $3^1/_2$ часа.

Если представляется возможным, то подвесные стропильные ноги в подмостях могут быть заменены одним или несколькими поперечными рядами стоек с насадками, по которым укладываются прогоны. Во всяком случае уровень верха насадок

НБ УДУНТ (ДІІТ)

должен быть не выше уровня подферменных площадок, так как иначе они будут препятствовать опусканию пролетного строения на место. Это условие заставляет делать по таким подмостям выстилку из клеток или козелков для заполнения пространства по высоте между верхом прогонов и уровнем рельсов, по которым подвешивается пролетное строение.

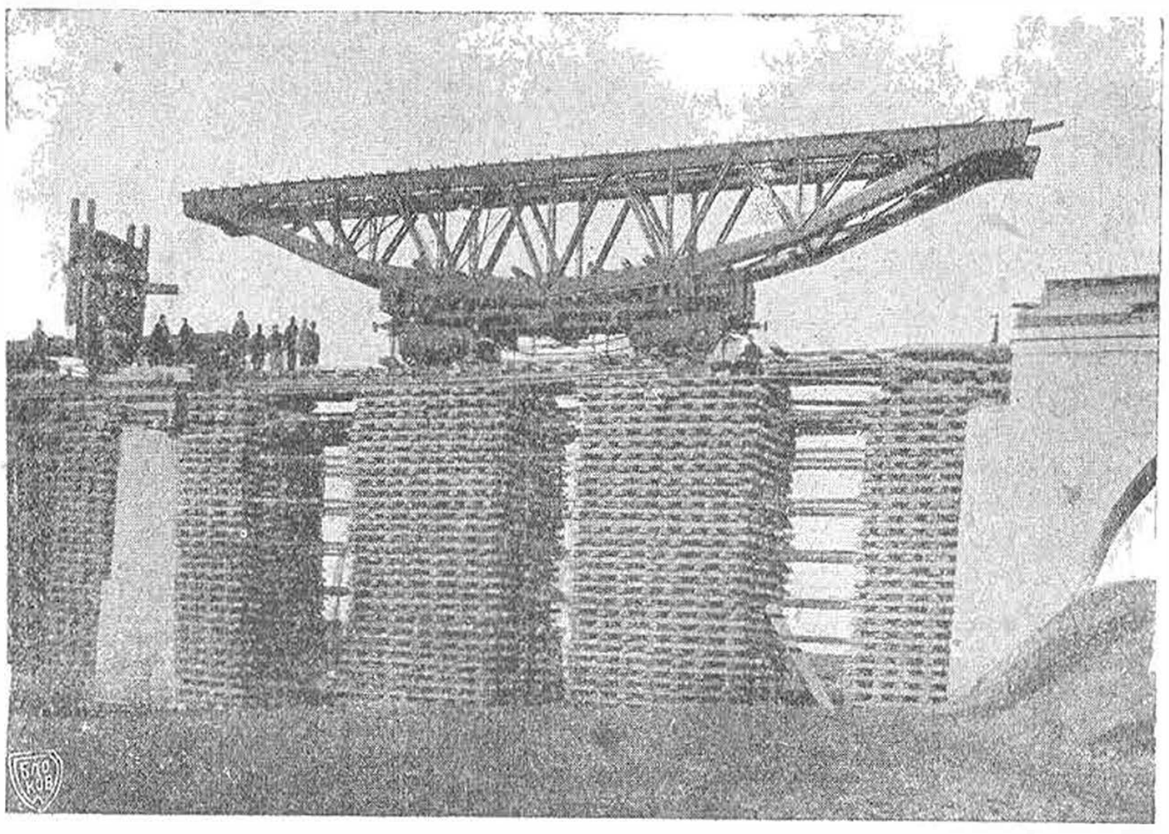


Рис. 131. Установка при помощи клеток.

Установка помощью клеток. На рис. 131 показана типичная установка пролетного строения при помощи выстилки из клеток, выполненная при установке 25,2-*м* пролетного строения весом около 35 *т* на мосту через р. Рудас Петр.-Бак. ж. д. Пролетное строение моста, погруженное на вагоны, непосредственно вводилось на мост по пути, уложенному на клетках из шпал, заполнявших все отверстие моста.

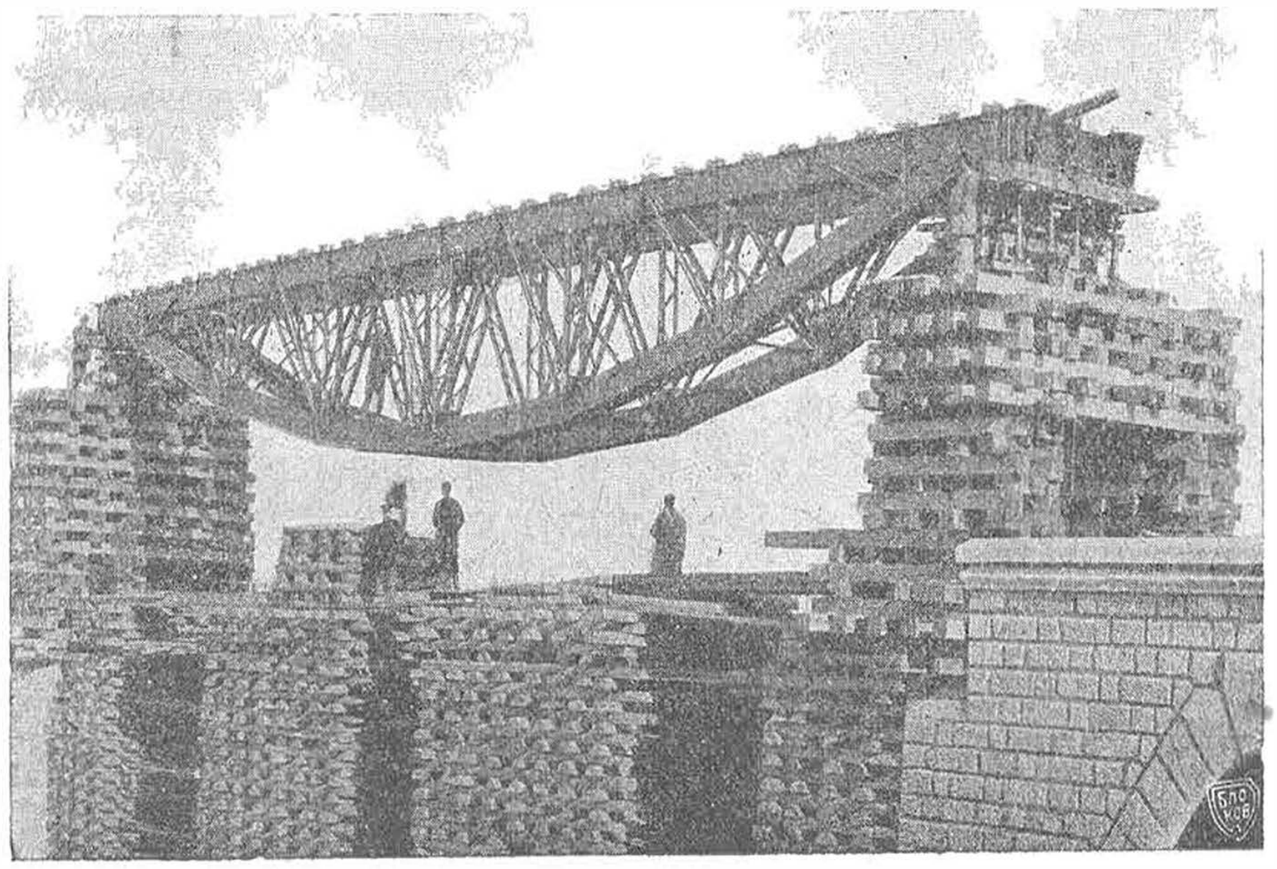


Рис. 132. Опускание при помощи клеток.

Снятие пролетного строения моста с вагонов было произведено при помощи клеток, возводившихся под концами ферм; в одной из этих клеток (правой) было оставлено отверстие достаточное для выводки вагонов (рис. 132). Вслед за уборкой вагонов все пролетное строение путем последовательной разборки клеток было опущено на домкратах до уровня подферменных площадок.

Процесс установки пролетных строений на опоры помощью клеток и домкратов отличается большой медленностью. Клетки под давлением домкратов дают большую

НБ УДУНТ (ДІІТ)

упругую осадку, вследствие чего коэфициент полезного действия домкрата значительно снижается, причем это снижение увеличивается в зависимости от высоты клеток. Упругая осадка клеток зависит от величины нагрузки и приближенно может определяться по формуле:

$$\Delta h = 0{,}0003\, nh \qquad (9)$$

где n — напряжение от смятия по плоскостям пересечения в клетках, h — высота клеток.

Опыт производившихся установок показал, что величину просадки приближенно можно определить из условия:

$$\Delta h = (\text{от } 0{,}006 \text{ до } 0{,}008)\ h \qquad (10)$$

Нижний предел следует брать для высоких клеток, в которых вес самих клеток уже вызывает обжатие нижней части клетки.

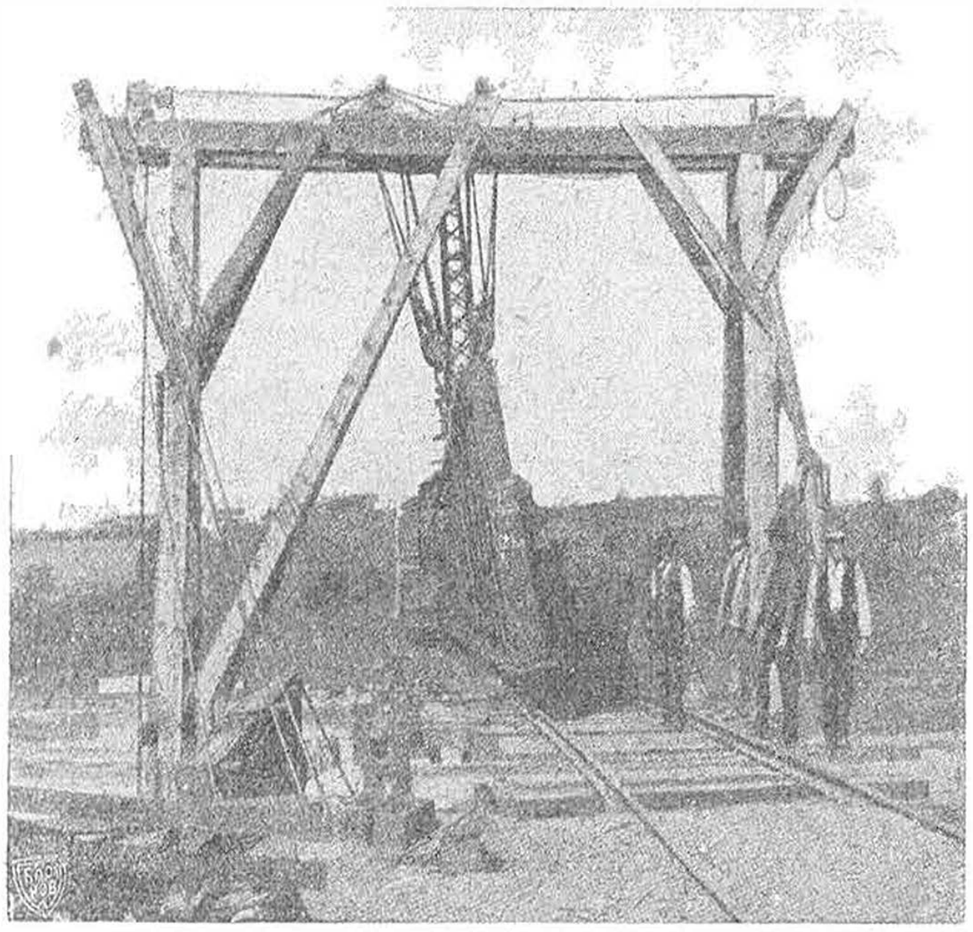


Рис. 133. Установка при помощи портальных рам.

Так, например, для клетки высотой 10 *м* величина упругой просадки после обжатия ее в пересечениях первыми установками будет равна примерно 7 *см*. Если ход гидравлического домкрата равен 15 *см*, то в этом случае коэфициент полезного действия $= \frac{15-7}{15} = 0{,}53$. При высоте клеток 15 *м* тот же коэфициент полезного действия $= 0{,}3$.

Можно считать, что на каждую перестановку домкрата и перекладку клетки требуется в среднем 1,5 часа. Этим временем и коэфициентом полезного действия определяется суточная производительность опускания и подъемки на клетках, которая в общем очень невысока. Так, например, при установке ферм на мосту через р. Дивенку (Ленингр.-Варш. ж. д.) 19-*м* пролетные строения этого моста, имевшие вес 15,5 *т*, были подняты на высоту 3,0 *м* в течение двух дней при работе двух слесарей и 12 чернорабочих [1]).

Установка портальными рамами. Более удачным приспособлением для разгрузки и установки пролетных строений отдельных ферм на место служат портальные опорные рамы. Эти рамы, в виде буквы П, устанавливаются над опорами моста и укрепляются против опрокидывания канатами или подкосами, причем им дается наклон к середине пролета. По своей ширине рамы охватывают весь путь, по кототому подвозятся фермы, или оба пути, если фермы подвозятся по одному пути и устанавливаются по другому (рис. 133).

Верхняя поперечная балка рамы служит для установки на ней подъемных приспособлений в виде винтов, талей, подвижных тележек и т. п. и, как подвергающаяся большой нагрузке, укрепляется подкосами, шпренгелями и пр. Высота расположения поперечины в опорных рамах обусловливается свободным проходом под ней фермы груженой на вагоны, и пространством над верхом фермы, необходимым для подъемных приспособлений.

---

[1]) «Инженер», 1900 г. (Киев), ст. инж. С. Романовского.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Среди различных установок, произведенных этим способом, можно указать на работу по замене деревянных мостов железными на Клевеландской ж. д. в Канаде (рис. 134). Деревянные портальные рамы (рис. 135), усиленные боковыми консолями жесткости, укреплялись на устоях канатными тягами. Новое пролетное строение на вагонах вводилось на существующий мост и подвешивалось к рамам,

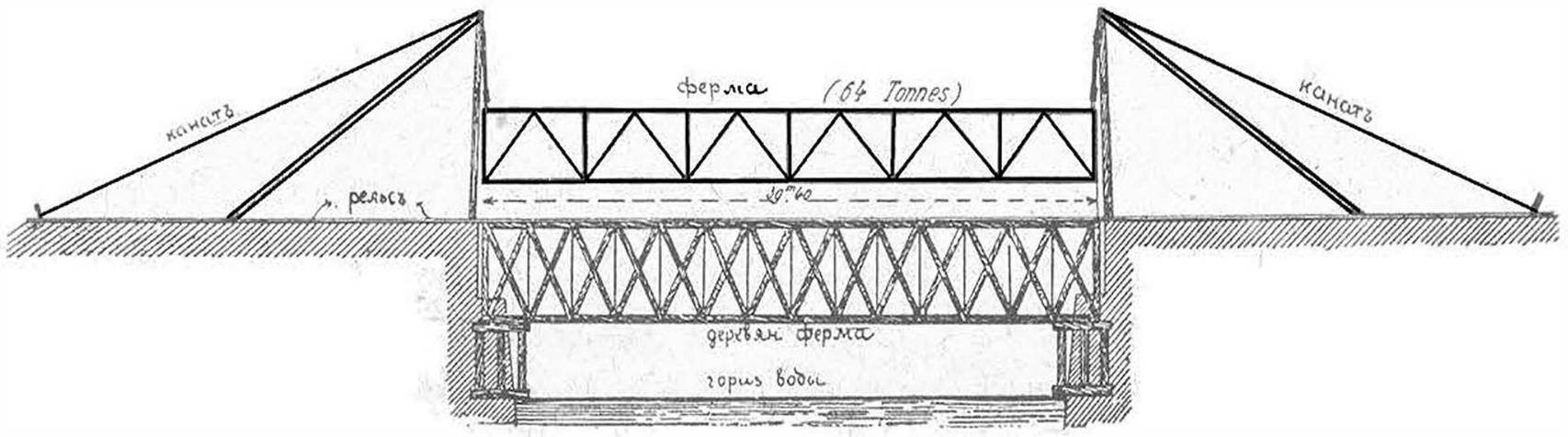


Рис. 134. Установка при помощи портальных рам при смене деревянных пролетных строений.

после чего состав поезда уводился с моста Фермы старого моста перерубались в середине верхних поясов и сваливались вниз, на их же место опускалось на талях новое пролетное строение. На установку 30-*м* пролетного строения весом около 60 *т* требовалось времени:

1)	На подвозку и подвеску к рамам . .	2 часа
2)	» разборку пути и снятие поперечин	1 »
3)	» сломку старого моста	1/4 »
4)	» установку нового пролетного строения	3/4 »
5)	» укладку поперечин и пути . . .	2 1/2 »
	Всего .	6 1/2 часов

Выгода применения портальных рам увеличивается возможностью делать их переносными и приспособлять для установки пролетных строений на различных мостах. С этой целью сами рамы изготовляются из металла как материала меньше изнашивающегося, чем дерево.

На рис. 136 показана конструкция металлических рам, применявшаяся для установки пролетных строений отверстием до 45 *м* на Тифлис-Карской ж. д. Рамы состояли из двух колонн трубчатого сечения, связанных в двух плоскостях сечения ноги решеткой. В верху колонны рамы были связаны между собой жесткими распорками и одиночными связями в виде креста. Концы пролетного строения проходили внутри портальных рам и опирались на балки *A*, поддерживаемые по концам гайками *B* домкратного винта. Домкратный винт помещался внутри колонн и своей пятой *C* опирался на переносную площадку *D*, поддерживаемую консолями *E*. На консоли *E* во время перестановки винта с одних консолей на другие опирались балки *A*. Консоли в зависимости от нарезки винта располагались по всей высоте колонны на расстоянии 70 *см* одна от другой. Так как рамы устанавливались на верхних гранях устоев, фермы же мостов своей длиной соответствовали расстоянию

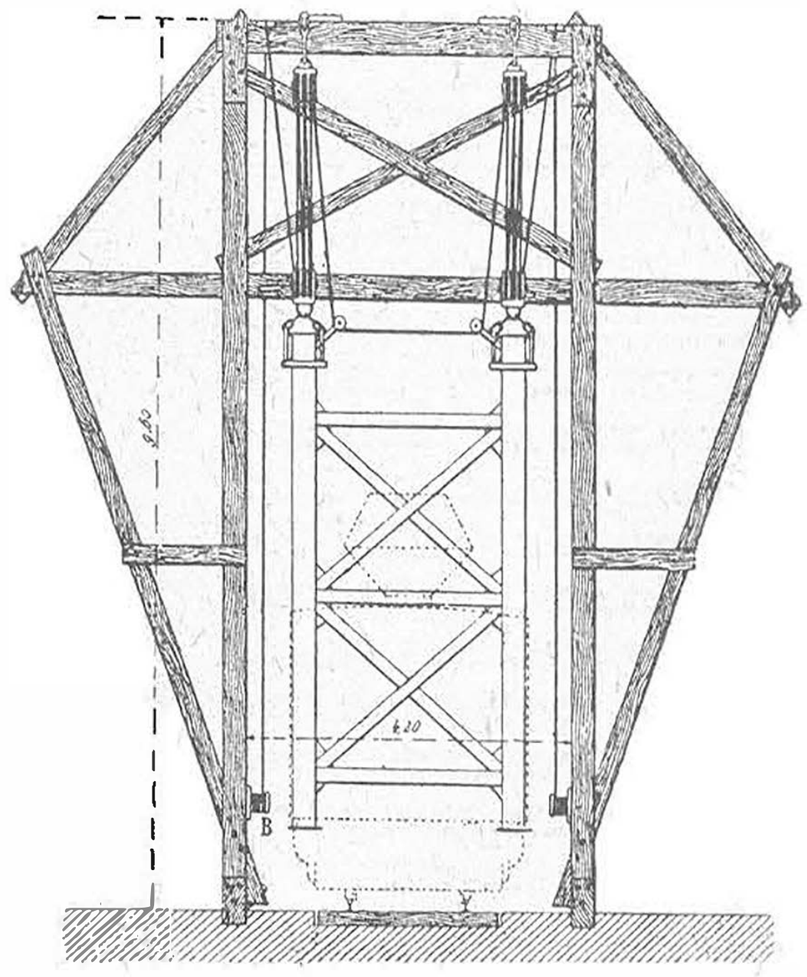


Рис. 135.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

только между опорными площадками, то концы их удлинялись специальными балочками, приклепывавшимися к верхней плоскости верхнего пояса (рис. 137).

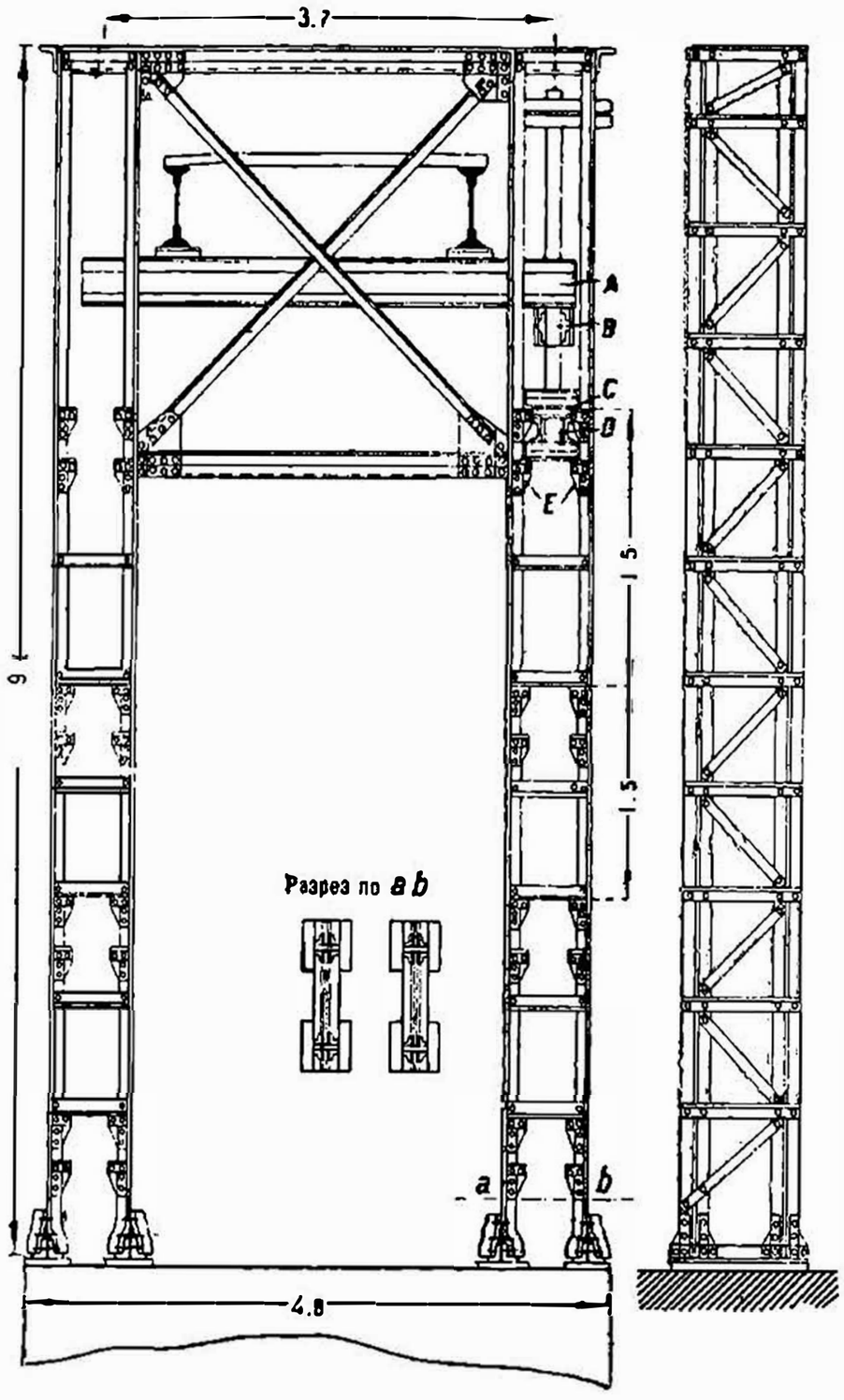


Рис. 136.

При всех описанных выше приемах установки существенным является наличие возможности введения нового пролетного строения в отверстие моста путем постройки того или иного вида временных подмостей. Однако устройство последних нередко ложится большим расходом на стоимость производства работ, так что не оправдываются расходы по стоимости перевозки в целом виде, а иногда устройство подмостей невозможно по местным условиям, что заставляет переходить к приемам установки без подмостей при помощи качающихся рам и мачт.

Установка вращающейся рамой. При постановке помощью вращающейся рамы пролетное строение подвозится по верху насыпи к одному из устоев. Передняя часть пролетного строения выдвигается немного вперед над отверстием моста. Под эту часть пролетного строения подводится опорная вращающаяся рама и своим верхним концом упирается в нижний пояс ферм (рис. 138), для чего к последнему прикрепляются специальные подушки с гнездами, служащими для вращения рамы (рис. 138-d). Точка опоры рамы в ферму выбирается на таком расстоянии от переднего конца пролетного строения, чтобы по окончании вращения рама не препятствовала ему стать на опорную площадку.

Нижний конец рамы помещается на поперечных подушках, на которых рама имеет свободное вращение между забитыми с боков свайками (рис. 138-c). Наводка заключается в том, что по установке рамы под пролетное строение ее приводят в вертикальное положение помощью лебедки, помещающейся на той или на другой стороне моста. Рама, вращаясь, увлекает вместе с собой пролетное строение, которое задним концом или скользит по подложенным под нее рельсам или двигается по каткам. Когда рама

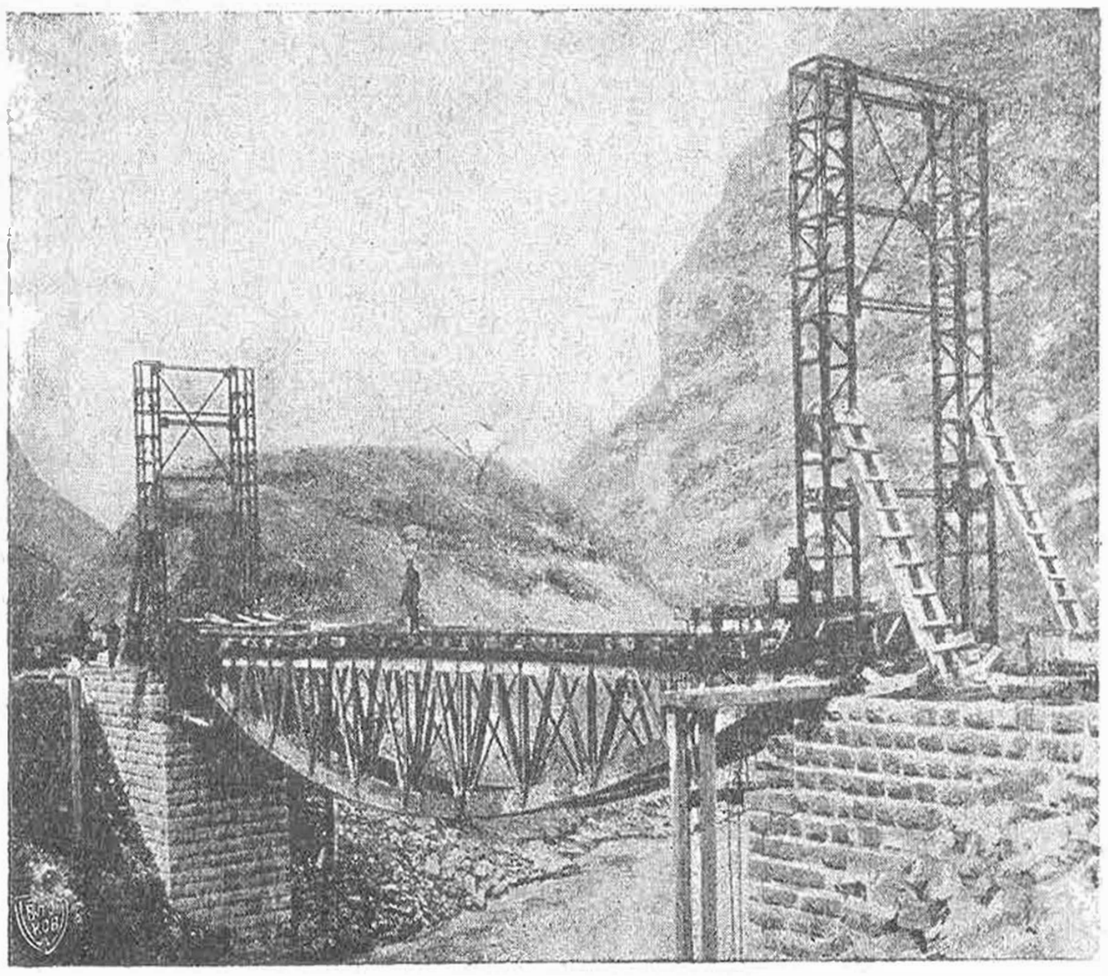


Рис. 137. Установка 42-*м* пролетных строений с помощью портальных рам на Тифлис-Карской ж. д.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

достигает вертикального положения, то работа лебедкой прекращается, и, наоборот, рама удерживается от быстрого падения вперед. Путем постепенного ослабления задерживающих приспособлений рама доводится вместе с пролетным строением до окончательного положения, после чего пролетное строение опускается на опоры.

Удачное применение вращающейся рамы было сделано при установке путепровода через Шарвинскую выемку на Севастопольской ж. д. Пролетное строение этого путепровода пролетом ~ 17 *м* было установлено в течение 4 часов, включая в это время установку и уборку рамы. Вся установка была произведена 6 рабочими, из которых 4 работали на лебедке, и двое следили за ходом фермы.

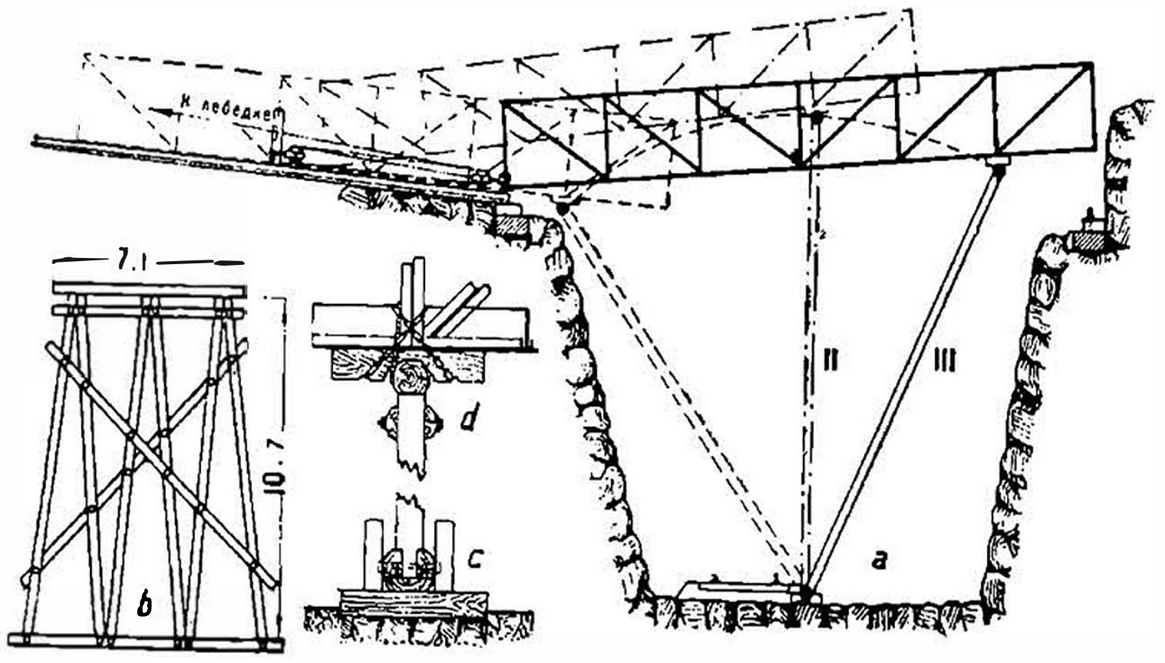


Рис. 138. Установка пролетных строений при помощи вращающихся рам.

При установке ферм через реку Вабаш (см. § 16) вращающиеся рамы были использованы для укладки двутавровых балок, служивших для надвижки ферм моста. Рамы устанавливались в вертикальное положение в момент надвижки ферм (рис. 139) движением самих ферм, к которым они прикреплялись канатом. Приведенная в вертикальное положение рама перекрывалась двутавровой балкой, и фермы моста продвигались вперед на длину вновь уложенной балки, поднимая одновременно следующую опорную раму и т. д. Вся работа по установке ферм этого моста, включая сюда выгрузку их с вагонов, перевозок на расстояние 1 *км*, продолжалась не более 5 дней при одновременной работе 5 — 10 рабочих.

Установка при помощи канатов. При большой высоте моста вращающиеся рамы могут быть заменены канатами, поддерживающими пролетное строение за передний конец и укрепленными неподвижно к мачте или раме, установленной на встречной опоре (рис. 140).

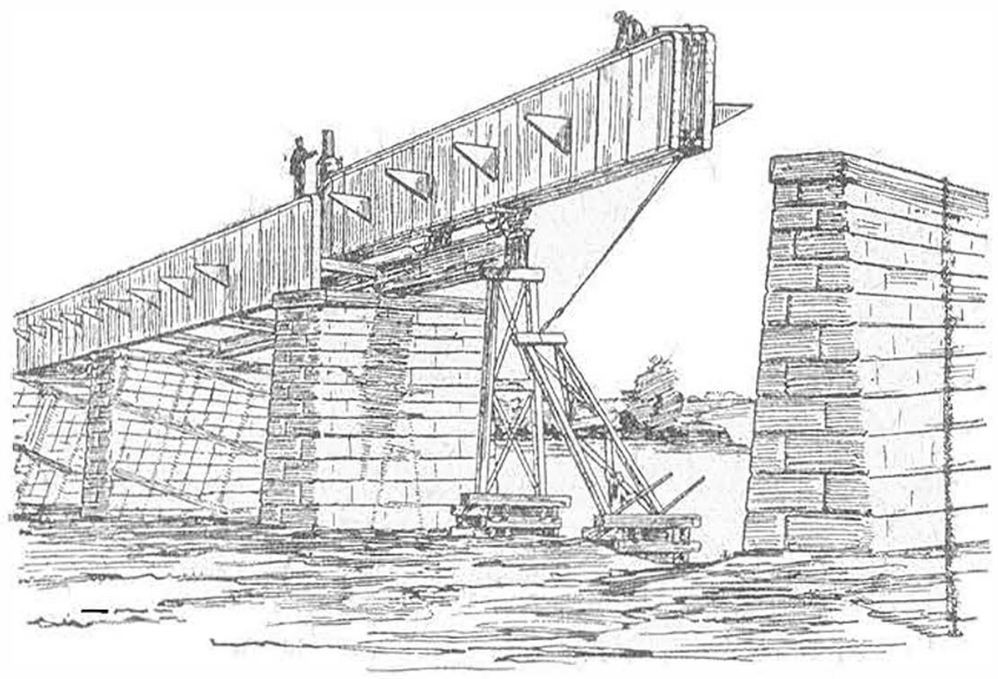


Рис. 139. Установка при помощи рам.

При таком способе установки пролетное строение подвозится к одному из устоев моста и выдвигается при помощи канатов или роликов в положение *AB*, при котором свешивающийся конец пролетного строения еще не вызывает его опрокидывания. После чего пролетное строение при помощи блоков и канатов подвешивается к мачте или раме, установленной на встречной опоре; одновременно задний конец пролетного строения укрепляется при помощи блоков и канатов к неподвижному якорю *C*, причем в этом закреплении длина канатов может быть изменяема при помощи лебедок *D*, к которому подведены канаты. Такое закрепление необходимо для удержания пролетного строения от падения, так как по мере вытягивания его вперед лебедками *E*, установленными на встречной опоре, оно будет стремиться сползти вниз, описывая передним концом окружность вокруг центра у места прикрепления в верху мачты тяговых блоков.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Когда укрепление блоков и канатов к пролетному строению закончено, тяговые лебедки *E* начинают работать, постепенно вытягивая пролетное строение вперед; одновременно закрепительные лебедки постепенно ослабляются и тем дают пролетному строению возможность продвигаться вперед.

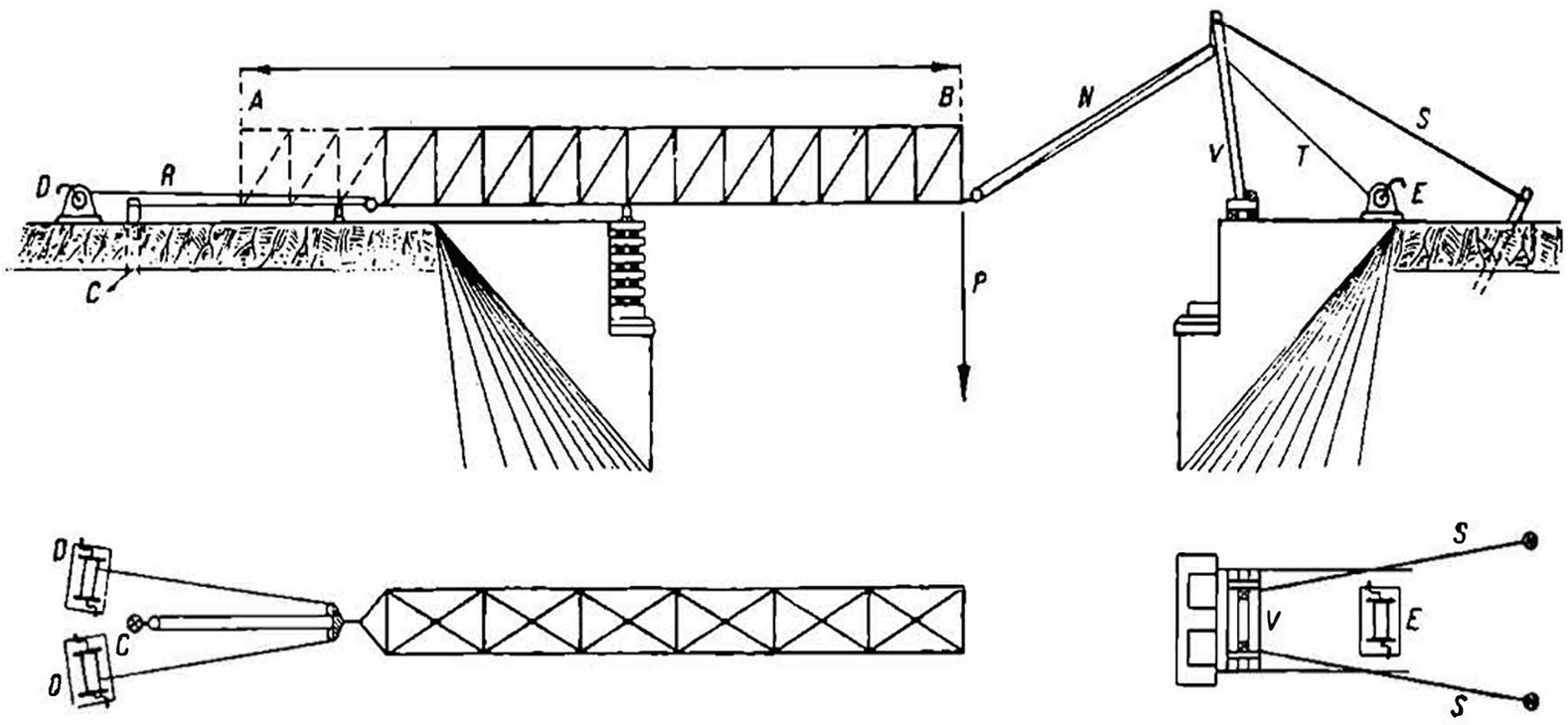


Рис. 140. Установка при помощи подвески к тяговому канату.

Нетрудно видеть, что при таком способе установки необходимо должно иметь место колебание переднего конца пролетного строения, вызываемое подтягиванием его и ослаблением задних канатов, работу которых очень трудно вполне согласовать. Возможность этих колебаний должна быть учитываема при надвигании, а потому с момента установки талей и начала работы ими следует иметь под задним концом пролетного строения для его движения или один только передний ролик, вокруг которого может происходить вращение пролетного строения, или тележку с балансиром (о конструкции и расчете таковых см. § 28).

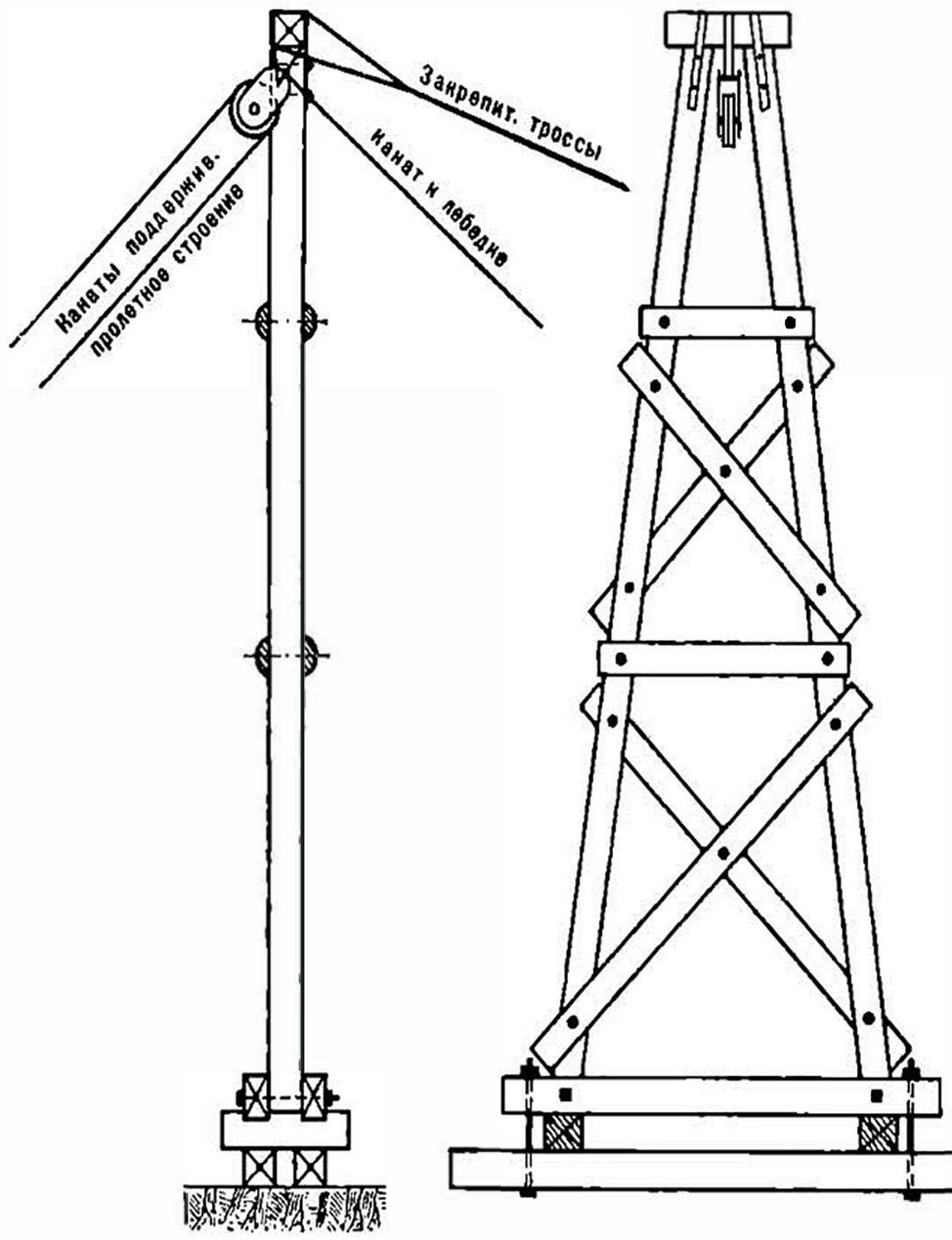


Рис. 141.

Вытягивание пролетного строения продолжается до тех пор, пока оно своим передним концом не подойдет к встречной опоре. После чего оно устанавливается на клетки, освобождается от подвижных приспособлений и блоков и затем опускается на опоры.

При большом весе пролетного строения, когда давление его на передний конец оказывается сравнительно большим, приходится ставить двойные тали под каждую из ферм пролетного строения. Для того чтобы обе тали или полиспасты работали равномерно с одинаковым натяжением, в установку включают распределительные блоки по типу, указанному в § 35 (рис. 293).

На рис. 141 показана мачта легкого типа, служащая для укрепления тяговых блоков и канатов; так как под действием давления пролетного строения она стре-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

мится упасть вперед, то ее необходимо закреплять тягами S к неподвижным якорям (рис. 140). Самой мачте можно давать наклон вперед, что позволяет использовать ее для опускания пролетного строения на опоры. При большом весе пролетного строения мачты заменяются прямоугольными рамами, которые допускают установку двух блочных систем и обладают большей поперечной устойчивостью.

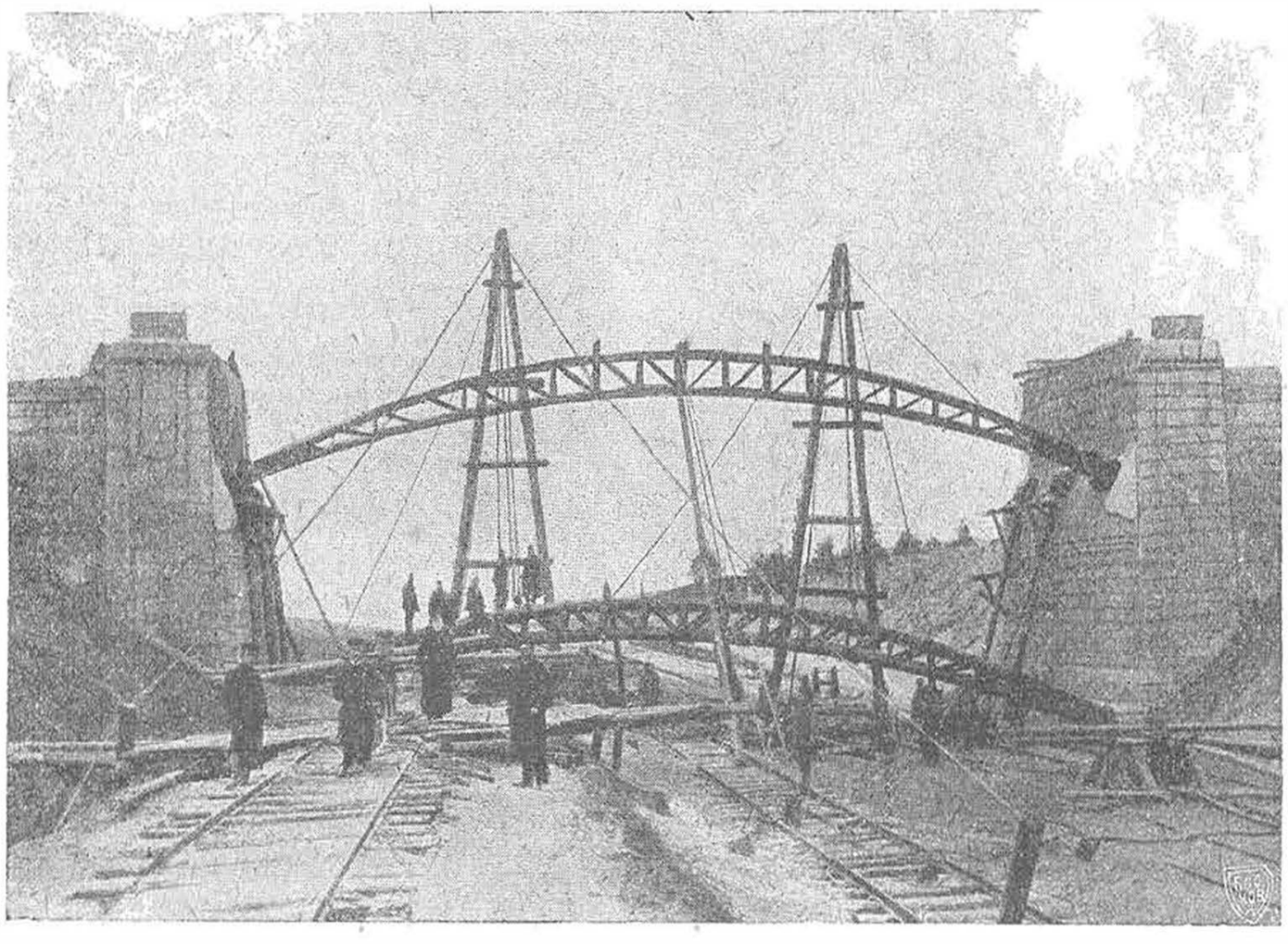


Рис. 142. Установка помощью треугольных мачт на Киево-Ковельской ж. д.

При такой надвижке тяговой канат N и закрепительный канат R должны быть рассчитаны на усилия, получаемые от разложения давления P пролетного строения на их направления. Затем равнодействующая от усилия N и тягового усилия T лебедки должна быть разложена на направление стойки V и тяги S, чем опреде-

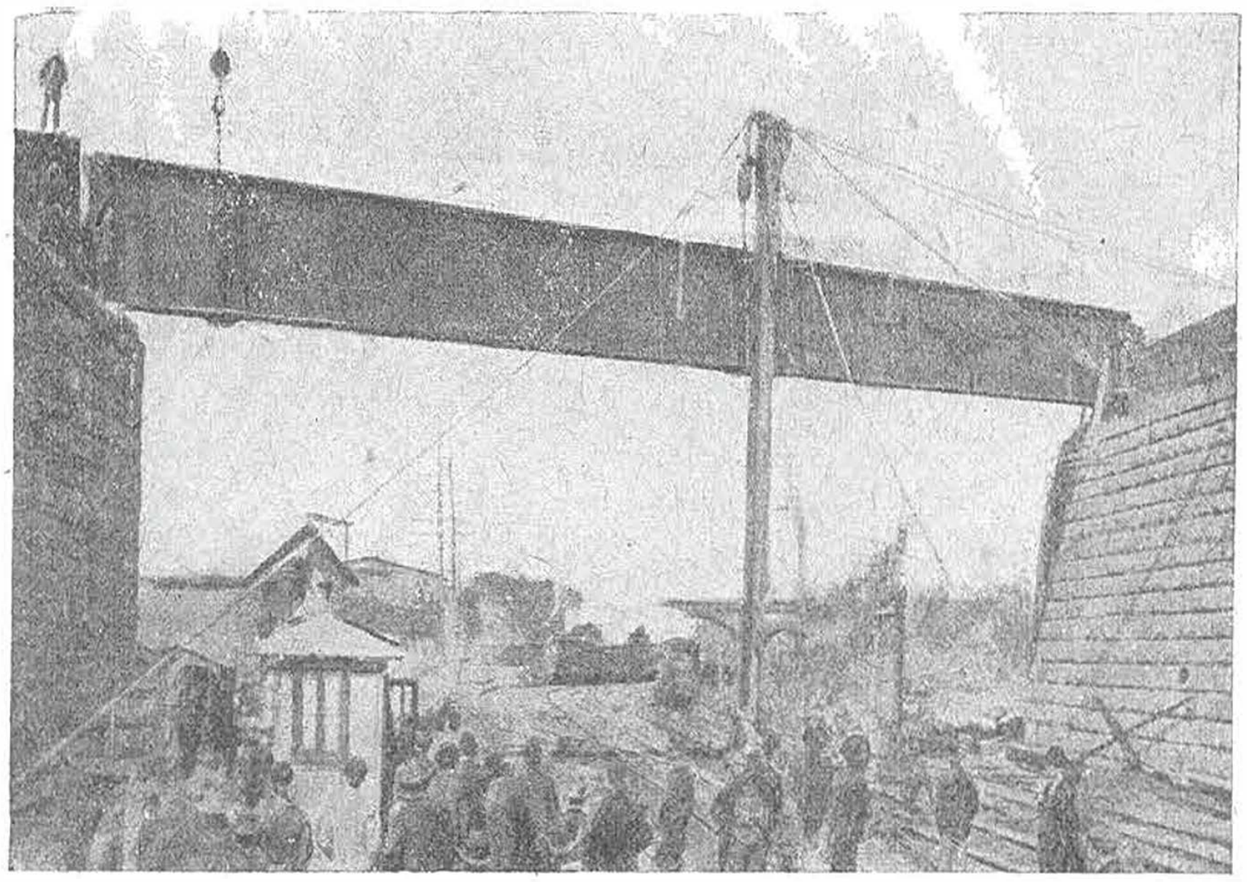


Рис. 143. Мачтовая установка в Америке.

ляются усилия, действующие в них. Величины всех этих усилий меняются по мере выдвигания пролетного строения вперед, причем это изменение во всех частях неодинаково, почему рекомендуется для отыскания наибольших усилий определить последовательно величину их, когда передний конец пролетного строения будет выходить на 0,5; 0,6; 07 и т. д. длины пролета.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Установка при помощи мачт. В тех случаях, когда пролетное строение моста подается к месту установки не по насыпи, а с боку ее и устоев, и когда оно не только должно быть установлено в пролете, но и поднято на требуемую высоту, лучшими и наиболее дешевыми приспособлениями являются мачты (рис. 142).

По своей конструкции мачты состоят из основного деревянного или металлического столба, иногда треугольника, в нижней части опирающегося на деревянные, обычно дубовые, подушки, в которых мачта имеет свободное вращение, наподобие подпятника.

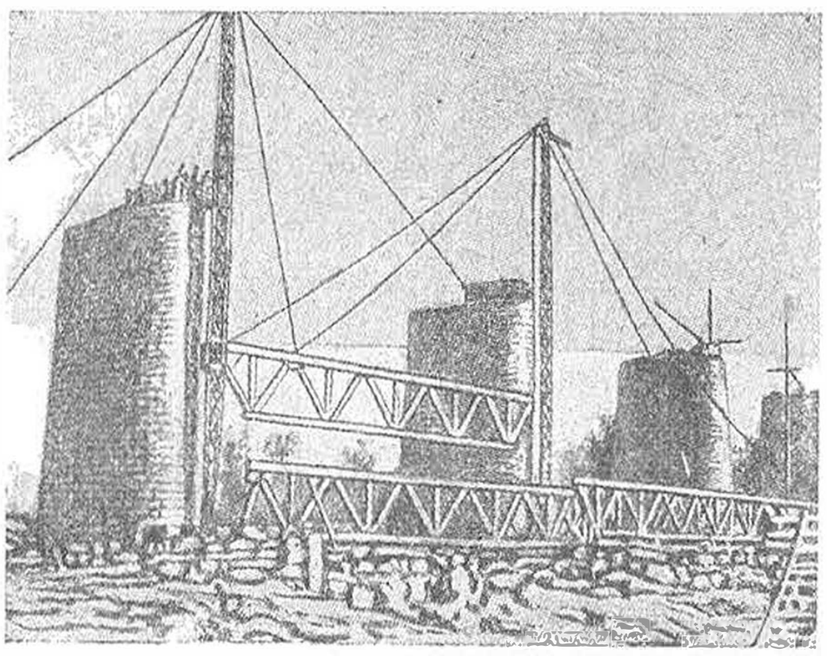


Рис. 144. Установка парными мачтами на мосту Hagda Muttra.

Сама мачта устанавливается с небольшим наклоном вперед и укрепляется тяжами в количестве не менее трех штук. Тяжи одним концом укрепляются на верху мачты, другим закрепляются за какой-либо неподвижный предмет, расположенный на некотором расстоянии от подошвы мачты. Нижние концы тяжей настолько отодвигаются от подошвы мачты, чтобы угол наклона тяжей не выходил за пределы 35 — 55°. При более крутом наклоне тяжей регулировка наклонения мачты тяжами становится затруднительна. Действительно, зависимость между величиной смещения — d верхнего конца мачты и увеличением длины тяжей — Δl выражается формулой $\frac{\Delta l}{\cos\alpha} = d$, где α — угол наклона тяжа к горизонту. При возрастании α до 90° cos

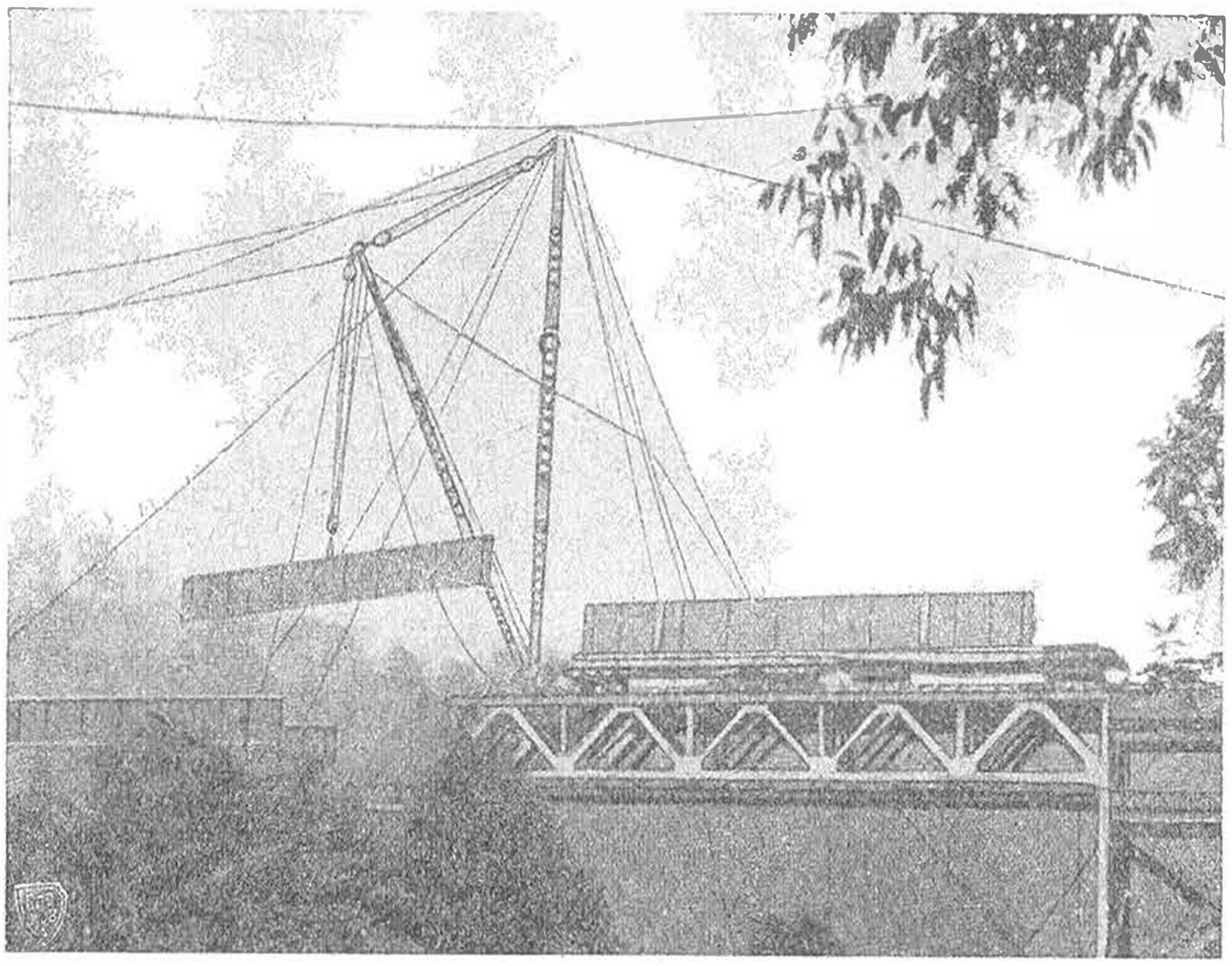


Рис. 145. Установка пролетного строения мачтой с журавлем.

угла стремится к 0 и, следовательно, d стремится к бесконечности; это показывает, что уже при малом ослаблении тяжа мачта будет получать большие смещения, т. е. будет неустойчива.

В верху мачты укрепляется блок, или полиспаст, от которого тяговой канат пропускается вдоль мачты и, пройдя через блок у подошвы мачты, выходит в горизонтальном направлении к лебедке или паровозу (последние часто применяются

НБ УДУНТ (ДІІТ)

для разгрузки ферм с вагонов в качестве силы тяги). В Америке мачтовые установки применяются для ферм пролетом до 40 *м* при высоте мачт в 48 *м*, соответственно чему изменяется только состав сечения мачты.

На рис. 143 показана мачтовая установка путепровода в Филадельфии. Фермы этого путепровода пролетом 33 *м* и весом 35 *т* устанавливались на место при помощи мачты высотой 18,3 *м*. Мачта была составлена из двух дерев размерами 30 × 30 *см*, сболченных друг с другом. В верху мачты помещался цилиндр длиной 60 *см* с лапчатым листом для укрепления тяжей. Тяжами мачте придавался наклон длиной от 60 до 90 *см* в любую сторону. Для подъема ферм служили два полиспаста. Вся подъемка на высоту около 12 *м* была совершена приблизительно в 2 минуты.

При установке пролетных строений на мосту через реку Nagda Muttra в Индии были использованы металлические мачты, устанавливавшиеся по обоим концам пролета (рис. 144).

По своей портативности и легкой приспособляемости мачтовые установки заслуживают большого внимания. Недостаток их заключается в незначительности горизонтальных передвижений мачт, ограничивающих работу мачты небольшой площадью. Для увеличения площади, обслуживаемой мачтами, их снабжают журавлями, имеющими шарнирное соединение с мачтой (рис. 145); сами же мачты приспособляются к оборачиванию их на полный круг, для чего верхний конец их помещается в муфте, удерживаемой в неизменном положении тяжами. На рис. 146 показана конструкция такой металлической мачты, применявшейся заводом Густавсбург (Германия) для сборки металлических опор виадуков и установки на них ферм.

Полная высота мачты 16 *м*. Вес мачты около 550 *кг*.

Дальнейшее развитие этого приема установки заключается в применении больших журавлевых кранов (Дерик) с большим выносом стрелы, допускающим постановку ферм и целых пролетных строений с одного из устоев или с соседнего пролетного строения (рис. 147).

В Америке такими кранами, снабженными металлическими стрелами, устанавливаются пролетные строения и фермы длиной до 30 *м* и весом до 60 *т*, причем вес самих кранов доходит до 40 *т* [1]).

На рис. 148 показаны способы штробовки ферм и пролетных строений, рекомендуемые немецкими нормами при установке их в целом виде. При этой штробовке особое внимание обращается на принятие мер, обеспечивающих пролетное строение и канаты или цепи от взаимного повреждения.

Сборка на настиле.

§ 19. Производство сборки. Каким бы методом ни производилась установка ферм на место: будут ли они собираться на подмостях и устанавливаться непосредственно с них, будут ли они собраны вблизи места установки и потом подвезены к нему,— ход самой сборки пролетных строений будет один и тот же, с тою разницей, что в первом случае сборка производится на настиле по подмостям, а во втором — на специально выравненной площадке.

Рис. 146.

---

[1]) «Eng. Record», 1909. Vol. 59, стр. 496.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Весь процесс работ по сборке пролетных строений может быть разделен на следующие периоды производства работ.

1. Сортировка прибывающих с завода частей на складе и подача их к месту сборки.

2. Собственно сборка пролетного строения.

3. Выклепка его с предварительной рассверловкой дыр в стыках, если это нужно по условиям изготовления.

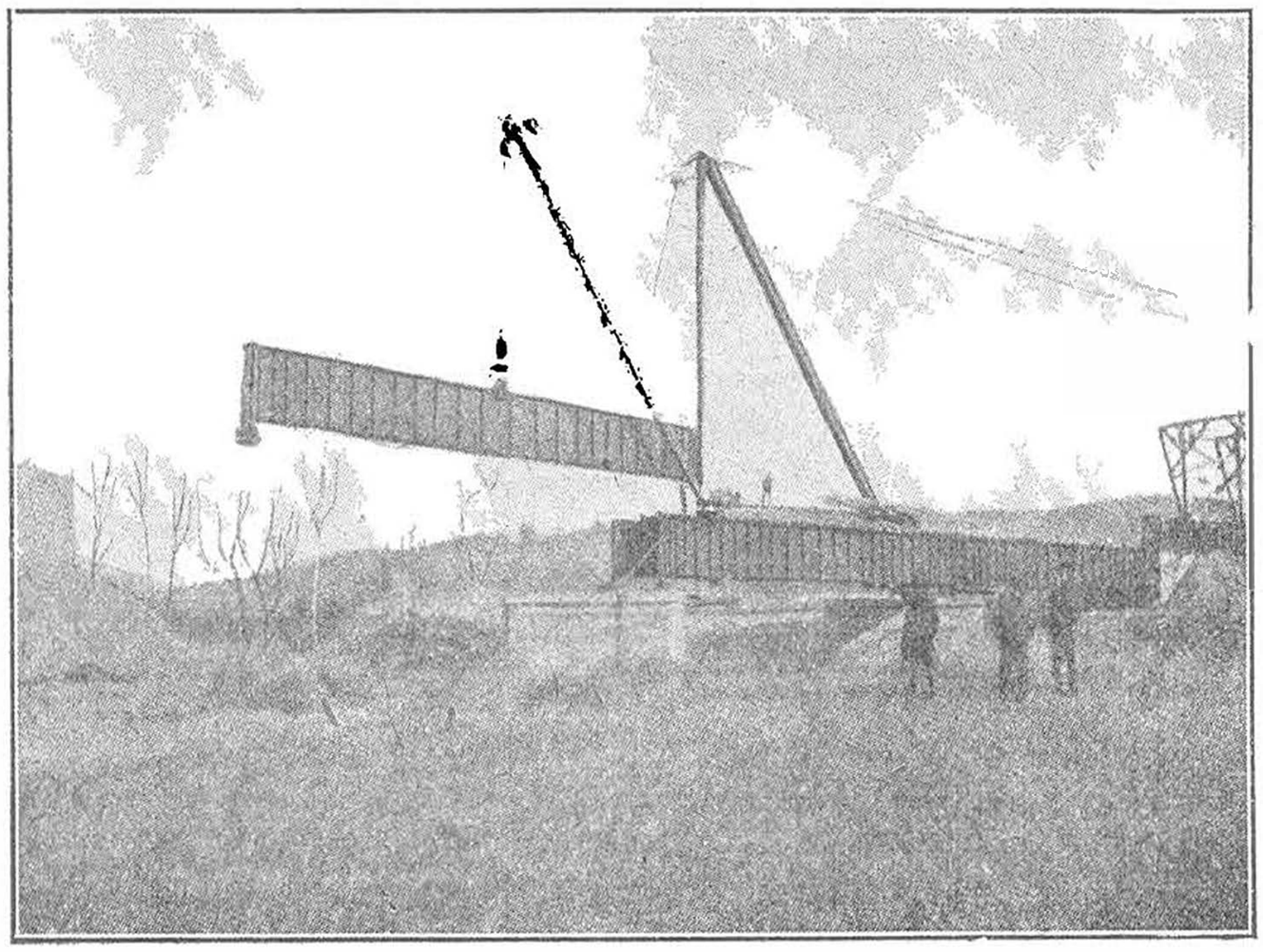


Рис. 147. Установка 30-*м* пролетного строения краном Дерик.

Склад и подача материала. Выбор места для склада прибывающих частей пролетного строения делается с таким расчетом, чтобы при выгрузке была возможна сортировка их по пролетам и по маркам в порядке подачи их на место работ. Место для склада выбирается возможно ближе к месту работ, чтобы таким образом уменьшить подвозку частей на сборку.

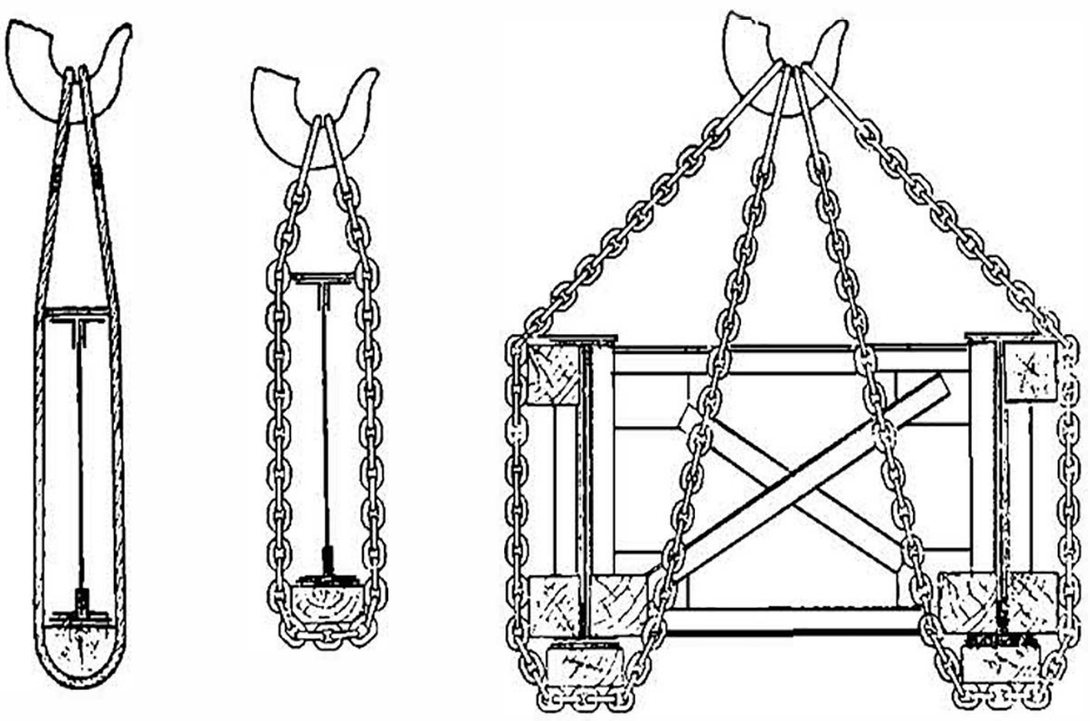


Рис. 148.

Наилучшим местом для склада прибывающих частей являются возвышенные берега рек, которые, имея высоту, близкую к высоте горизонта установки, не требуют специальных приспособлений для подъема частей на высоту подмостей; подача же частей производится непосредственно на вагончиках или по каткам. Такое удачное расположение путей прибытия и сборочной площадки встречается крайне редко, чаще же можно встретить случаи подвозки частей пролетного строения к низменному берегу; в этих случаях подача их усложняется устройством подъемных приспособлений.

При сборке пролетных строений больших мостов, состоящих из нескольких пролетов, когда сборочные подмости переносятся с пролета на пролет, и сама сборка постепенно отдаляется, увеличивая таким образом путь подачи, склад разбивается

НБ УДУНТ (ДІІТ)

на несколько отделов в зависимости от длины моста, и располагается по крайней мере на обоих берегах. Расположение склада на обоих берегах бывает не всегда возможно по местным условиям; в этих случаях ради успешности подачи материала устраиваются даже временные мосты [1]).

Подача частей пролетных строений со склада к месту работ слагается из подачи их к месту подъемки, самой подъемки и развозки по сборочному настилу. Подача к месту подъемки зависит от местоположения склада и производится или непосредственным подтаскиванием на катках в случае близкого положения склада или при отдаленности его подвозкой по рельсовым путям.

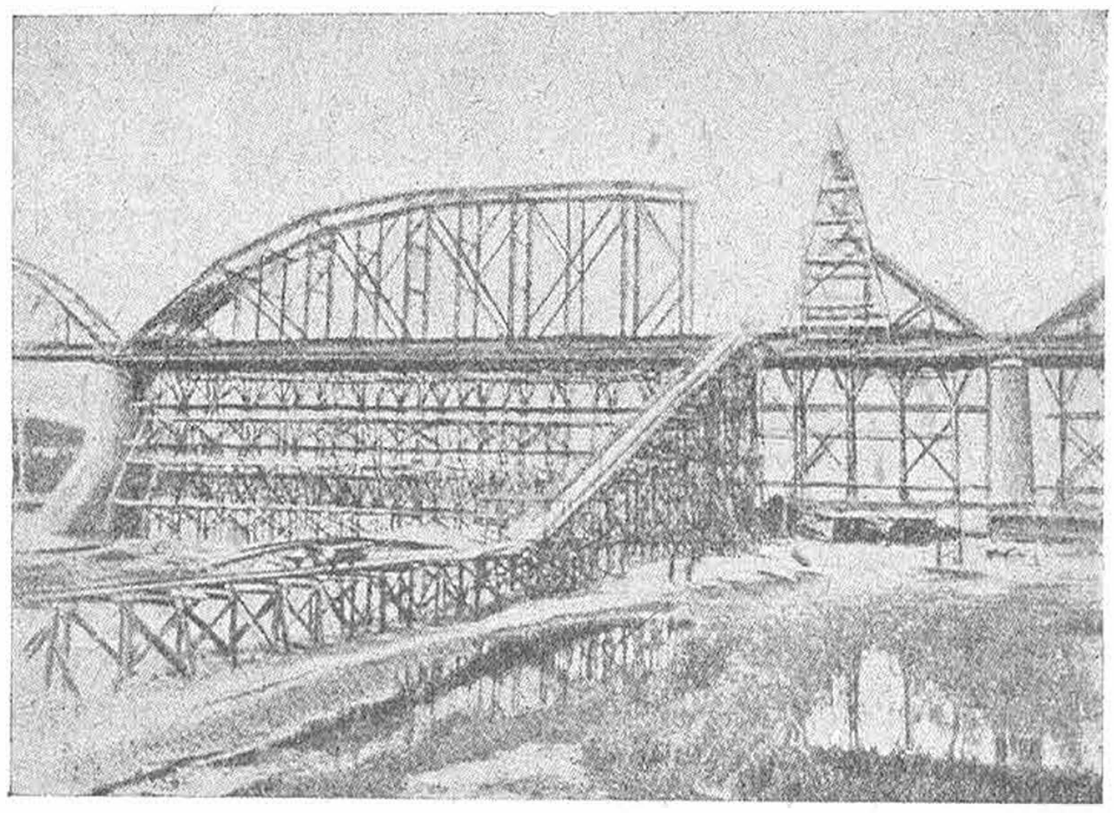


Рис. 149.

Подъемка частей на подмости при большом весе их требует специальных подъемных приспособлений. Задача подъемки состоит в том, чтобы поднять части до известной высоты вне конструкции подмостей, а затем положить их на настил подмостей. Для выполнения этой работы устраиваются наклонные плоскости или устанавливаются краны.

Подъемные плоскости устраиваются двух типов: пологие с наклоном 25 — 30°, и крутые с наклоном 45 — 60°.

Подмости первого типа обычно делаются в виде наклонной выстилки из досок с рельсовым путем, по которому ходит вагонетка, служащая для подъема груза. Вагонетка приводится в движение воротами или лебедками (рис. 149).

Плоскости второго типа скорее служат направляющими для движения поднимаемого груза (рис. 150), поэтому они обычно делаются из лежней, упирающихся верхним концом в настил сборочных подмостей; эти лежни обшиваются полосовым и фасонным железом, по которому скользит груз, поднимаемый при помощи ворота или лебедки.

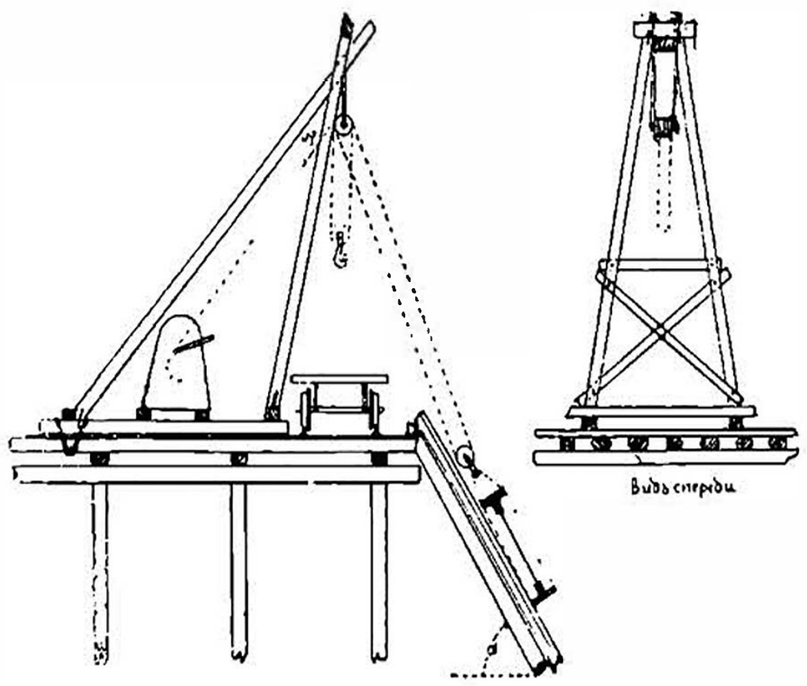


Рис. 150.

При устройстве плоскости с меньшим углом наклона снижается тяговое усилие, равное $P \sin \alpha$, но зато значительно удлиняется проходимый грузом путь, что отзывается на скорости подъема. Кроме того устройство пологих плоскостей требует значительно большей затраты лесного материала, чем для направляющих лежней.

Вместо искусственно устраиваемых наклонных плоскостей для укладки пути могут быть иногда использованы пологие берега реки или оврага (рис. 151).

Консольные и журавлевые краны, применяемые для подъемки железа на подмости, устанавливаются на краю подмостей и снабжаются стрелой или консолью достаточной длины, чтобы поднимать груз, не задевая им за подмости. В большинстве случаев эти краны предназначаются для временного обслуживания сборок отдельных

[1]) При постройке моста через р. Замбези (на ж. д. между Кантоун и Булавай) передача металлических частей с одного берега на другой производилась помошью специально построенной канатной дороги с электрическими моторо-тележками («Génie Civil», 1905 г. Апрель).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

мостов; поэтому конструкция их разрабатывается с таким расчетом, чтобы они могли быть выполнены простыми плотниками из материала, имеющегося под руками. На рис. 152 показана конструкция такого деревянного крана, состоящего из деревянной стойки, вращающейся в пяте и укрепленной в верхнем конце тремя железными тягами, которые в случае надобности могут быть заменены канатами или деревянными схватками. Кран обслуживается лебедками или воротами, канат которых направляется к консоли крана через систему блоков. Стоимость устройства таких кранов, не считая оборудования их лебедками и блоками, обходится от 120 до 180 рублей. Подъемная сила их доводится до 3 *т*.

Рис. 151.

На больших работах, где предвидится большое число подъемок и особенно тяжелых частей, применяются журавлевые краны более усовершенствованного типа, обладающие большой подъемной силой при более скором производстве работы. На рис. 153 показана схема крана такого типа, применявшегося при сборке пролетных строений Аму-Дарьинского моста (Среднеазиатской ж. д.). В течение 10-часового рабочего дня на нем делали до 40 подъемов и поднимали в среднем около 50 *т* металла.

При сборке малых пролетов моста через Рейн близ Вормса для подъемки железа, подвозившегося вдоль сухого русла, был устроен кран портального типа (рис. 154), двигавшийся одной ногой по сборочным подмостям, другой — по пути, уложенному на сваях вдоль русла реки. Железо, поднятое краном, перемещалось вдоль него подвижными блоками на ось собираемого пролетного строения, где устанавливалось на место.

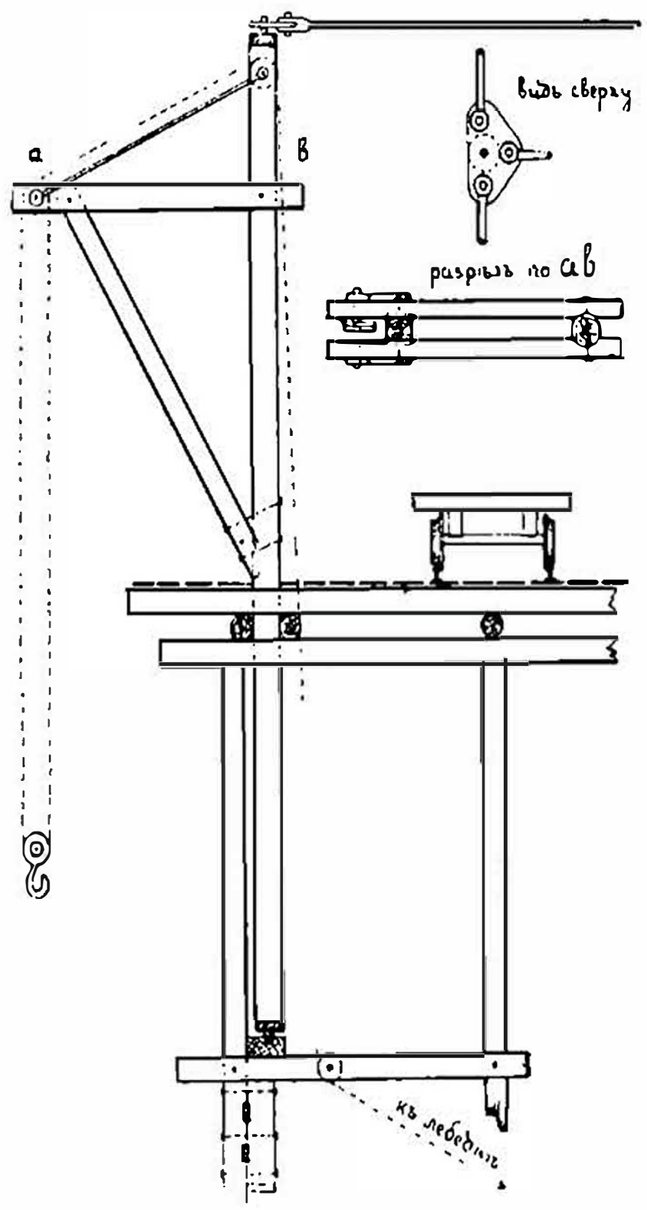


Рис. 152.

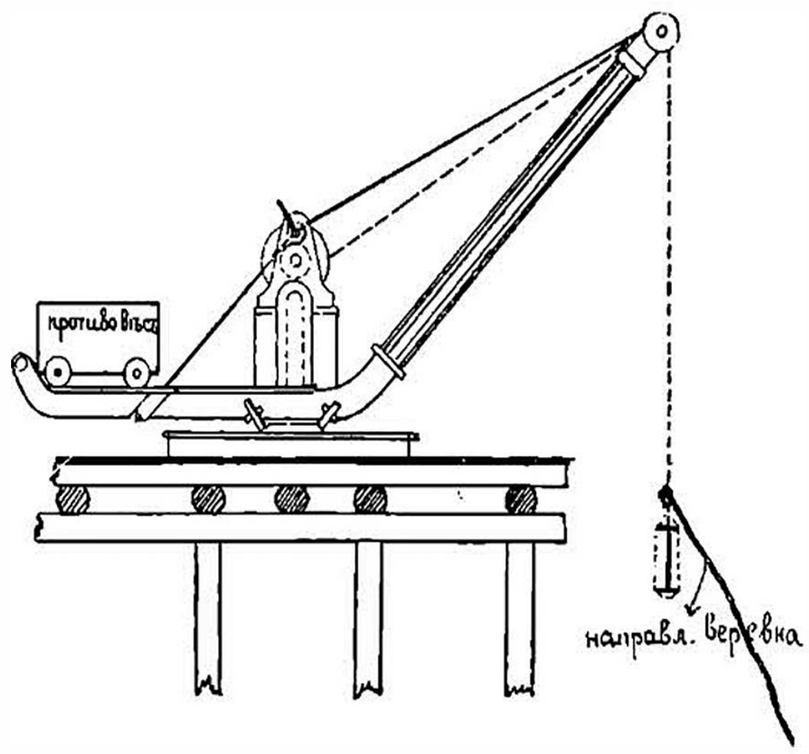


Рис. 153.

Существенную роль в деле успешности подъемки металла на подмости и стоимости ее оказывает механическое оборудование ее. Наиболее часто имеющее у нас в Союзе применение ворота для подъемов требует или большого числа

НБ УДУНТ (ДІІТ)

рабочих или нескольких лошадей и отличается медленностью процесса работы. Целесообразнее применение лебедок и особенно паровых или электрических.

Для сравнения приводим данные о результатах подъемов на некоторых мостах.

1. При постройке моста через р. Оку у Мурома (1912 г.) подъемка производилась по наклонной плоскости, сначала с применением ворота, на котором работало 16 рабочих или 3 лошади; подъемка груза весом ~ 3 *т* на высоту 21 *м* продолжалась в среднем 20 минут; с заменой ворота паровой лебедкой тот же груз на ту же высоту поднимался в течение 2 — 3 минут.

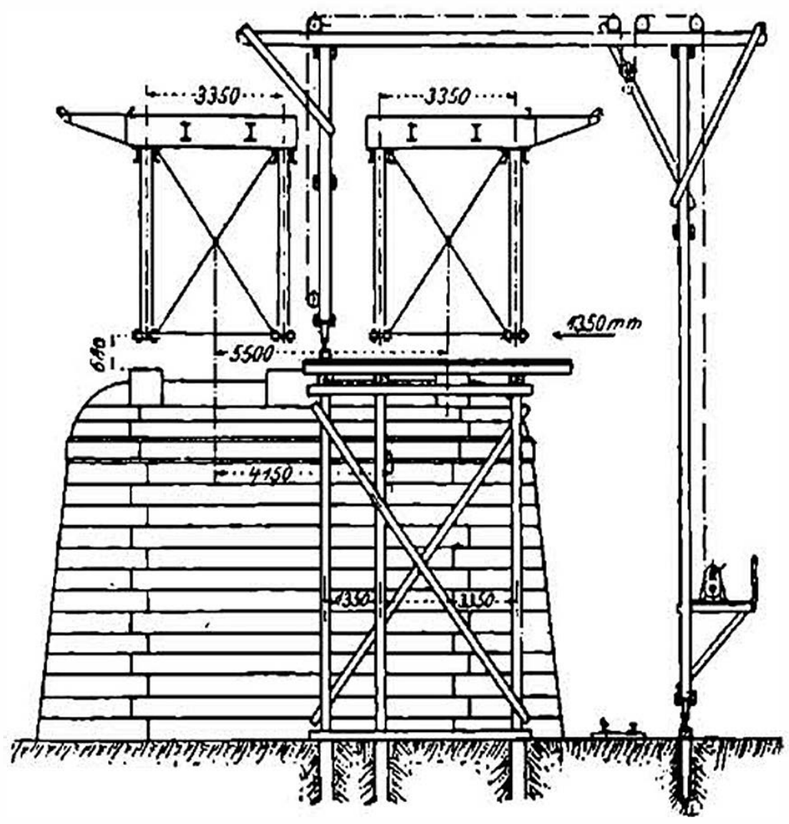


Рис. 154.

2. При постройке моста через р. Вятку у Котельнича (1905 г.) подъемка производилась по наклонным лежням помощью ручной лебедки, на которой работало 6 — 8 человек, и груз весом ~ 2,5 *т* поднимался на высоту 20 *м* в течение 12 — 15 минут. Работа эта обходилась 1 р. — 1 р. 50 к. на тонну в зависимости от дальности подтаскивания металла к месту подъемки.

Развозка частей пролетного строения по сборочному настилу производится или волоком на катках, или же на вагончиках по специальным рельсовым путям. Подача железа волоком более целесообразна при сборке небольших мостов; при растаскивании на длину более 100 *м* развозка на вагончиках, несмотря на стоимость первоначального обзаведения, обходится дешевле растаскивания волоком.

Сборка пролетного строения. Наибольшей простотой в процессе работ являются сборки пролетных строений с болтовыми узлами. Сборка таких пролетных строений требует меньшего времени и меньшего числа специальных рабочих.

В пролетных строениях с клепаными узлами не малое значение для успешности сборки имеет самая конструкция пролетного строения. Наиболее простыми по сборке являются фермы, или совсем не имеющие пересечений в решетке или имеющие несложные пересечения в ней. Многораскосные и многорешетчатые фермы своими сложными пересечениями значительно усложняют производство сборки.

Перед началом сборки на сборочной площадке наносится продольная ось моста, и намечаются осевые линии каждой фермы; концы ее укладываются на опорные подушки.

Если опорные подушки не могут быть поставлены на место, то особое внимание обращается на правильное положение опорных узлов над подферменниками, чтобы при опускании на опоры избежать больших передвижений пролетного строения. С этой же целью, когда уже начата сборка нижних поясов, концы поясов ферм укрепляются в поперечном и долевом направлениях путем постановки упоров в неподвижные точки, например в подферменники. Стремление ферм к перемещению из нормального положения является результатом неравномерной осадки подмостей, что особенно заметно, когда материал для сборки подается по одной стороне подмостей.

Сами фермы во время сборки устанавливаются на клетки. Клетки располагаются по осям обеих ферм моста. В мостах с небольшой длиной панелей (до 5 *м*) клетки располагаются только под узлами ферм; при больших панелях между узловыми клетками устраиваются дополнительные промежуточные, которые служат для разгрузки узловых клеток. Клетки складываются из чураков круглого леса, затесанных с двух сторон; под верхний ряд чураков, на который кладется ферма, закладываются дере-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

вянные или металлические клинья; путем загонки последних или ослабления можно достигать изменения высоты клеток (рис. 155). Исходная высота клеток определяется по высоте их у опор моста с таким расчетом, чтобы при установке опорных частей ферм шарниры опорных подушек могли быть свободно вкладываемы в свои гнезда, т. е. чтобы высота h низа ферм от верхней площадки подферменного камня была не менее высоты опорных частей + диаметр реборды шарнира + от 2,5 до 4 *см*.

Высота остальных клеток постепенно повышается к средине, согласно очертанию подъема ферм, принятого для них при изготовлении на заводе.

Правильность сборки ферм обеспечивается сохранением надлежащего подъема вдоль каждой фермы, положения их относительно оси моста и устранением перекоса в поперечном направлении во время производства всей сборки.

Соблюдение этих условий требует тщательного надзора, так как подмости от постепенно возрастающей во время сборки нагрузки садятся неравномерно, вызывая этим местные просадки в фермах моста. Так как постоянная поверка правильности

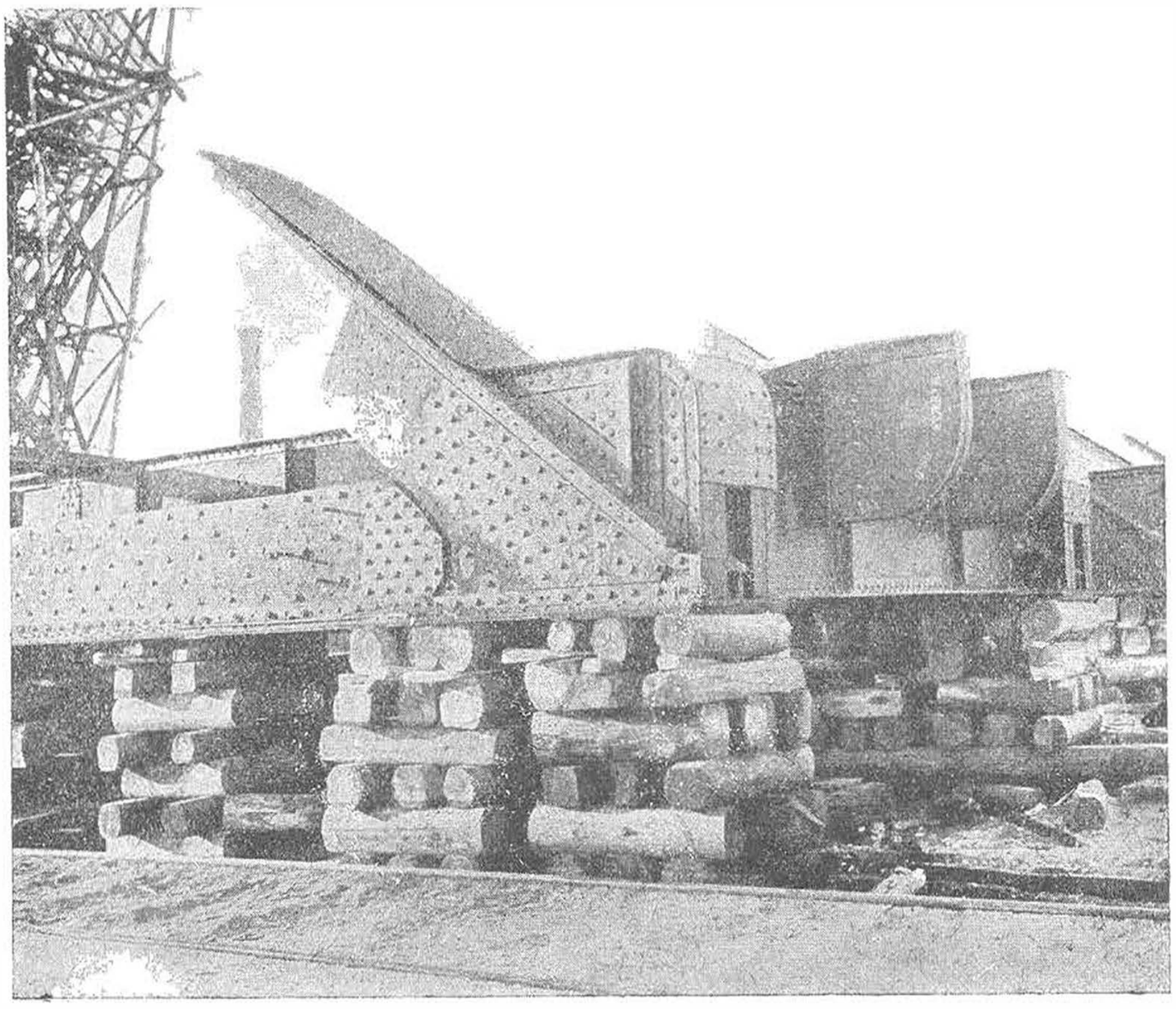


Рис. 155.

подъема и отсутствия перекоса пролетного строения нивелиром затруднительна, а во время производства работ вследствие сотрясений даже невозможна, то поверка их делается или линейкой с установленным на ней уровнем или еще лучше «арабским уровнем». Последний состоит из гуттаперчевой трубки со стеклянными трубками по концам. Стеклянные трубки снабжаются делениями, позволяющими делать отсчеты. В трубку наливается вода, заменяемая в сильные морозы спиртом. Во время поверки стеклянные трубки нулевой линией делений прикладываются к кромкам горизонтального листа пояса; разность расстояния уровня воды до края листа показывает величину превышения одной точки пояса над другой. В предупреждение проникновения в трубку воздуха концевые стеклянные трубки снабжены кранами, запираемыми во время перестановок приборов.

Иногда заменяют клетки винтовыми домкратами, что облегчает выравнивание узлов ферм и процесс опускания моста на опоры, но удорожает стоимость работы обзаведением большего числа домкратов.

По клеткам укладываются части нижних поясов. Укладка ведется одновременно

НБ УДУНТ (ДІІТ)

для обеих ферм и по мере выкладки поясов между ними устанавливаются нижние горизонтальные связи. Если дальнейший ход работ требует снятия этих связей, то их можно устанавливать временно в концах и по середине моста. Постановкой связей устраняется незаметное на-глаз искривление поясов ферм в плане, и фермы сразу приводятся в взаимную связь, благодаря чему устраняется возможность бокового выпучивания и сдвига пролетного строения, как это случилось, например, на сборке одного моста Вологдо-Вятской железной дор. [1]).

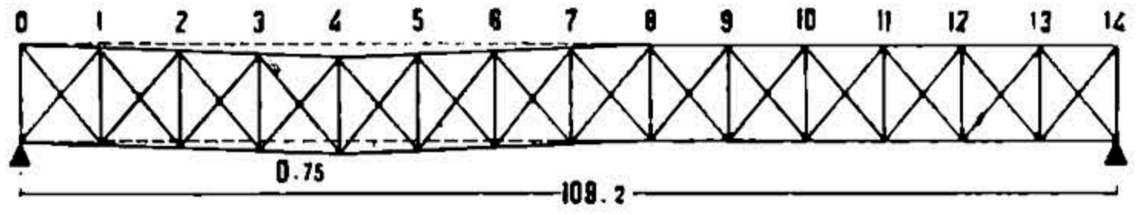


Рис. 156.

Вслед за поясами ферм устанавливается проезжая часть, если таковая расположена по низу моста (рис. 157). Устанавливаются и точно наводятся по заклепочным отверстиям стойки, и временно устанавливаются без точной наводки раскосы ферм. Точная наводка их делается по установке уже верхнего пояса ферм.

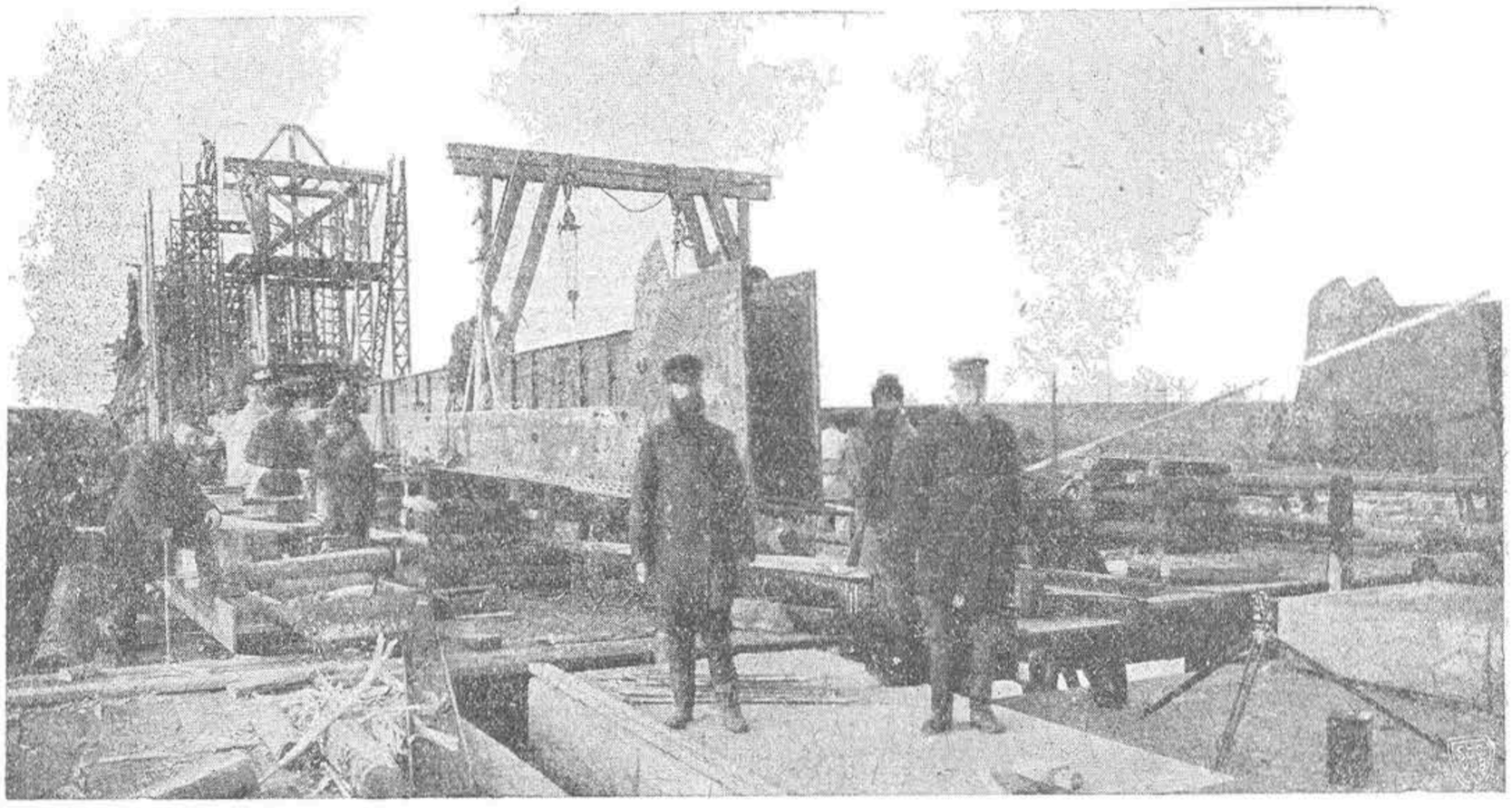


Рис. 157. Сборка нижней части пролетных строений.

В тех случаях, когда проезжая часть состоит из поперечных балок со сплошной стенкой и заключенных между ними продольных балок, установку их часто начинают от середины пролетного строения и ведут к концам его. Основанием для такого способа производства сборки служит трудность достижения плотного прилегания между продольными балками и поперечными, благодаря чему с каждым примыканием получается нарастание погрешности, которая при сборке с одного конца может достигнуть большой величины, вызывающей последовательные искривления поперечных балок у другого конца моста. Некоторые заводы, предвидя это, во время разметки моста в мастерских уменьшают длину каждой продольной балки на величину $1—1^1/_2$ *мм*.

---

[1]) Прилагаемый чертеж (рис. 156) показывает положение ферм этого моста после окончания о ускания на опоры. Получивш йся изгиб пролетного строения в 4—5 узле с левой стороны был приписан сотрясению, вызванному в ферме от падения ее с домкрата во время опускания на опоры. Если бы это было так, то такой выгиб скорее имел бы место по середине пролета. Этот выгиб легко мог получиться во время сборки от нетщательной постановки диагоналей нижних связей. Несведение дыр в каждом конце диагоналей на 1 *мм* могло вызвать смещение смежных узлов на 2—3 *мм*. Такое предположение тем более вероятно, что сборка пролетного строения этого моста велась первоначально только с правого конца примерно до 4-го узла, так как неготовность левой опоры моста не позволила довести выкладку нижняго пояса ферм до конца их; и уже позднее к собранной части ферм был присоединен левый конец ферм.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

По установке стоек и раскосов ферм (рис. 158) на них навешиваются фасонные и вертикальные листы верхнего пояса. Эта работа планируется с таким расчетом, чтобы навешиваемый элемент пояса своей фасонной планкой, находящейся на конце его, прикреплялся к впереди стоящей стойке; при таком способе работ устраняется провисание переднего конца устанавливаемого верхнего пояса.

Этот прием сборки заставляет предусматривать при проектировке и на заводе соответственное расположение монтажных стыков, которые должны располагаться в левой половине ферм справа от узлов, т. е. ближе к средине, и наоборот. Так как в целях сокращения числа шаблонов фермы и стыковые образования в них проектируются симметричными, то для того чтобы сохранить возможность навески элементов пояса с фасонной планкой впереди, приходится, дойдя до середины пролета, перегонять сборочный кран на другой конец пролетного строения и итти со сборкой от этого конца к середине, где делать смычку пояса. Производство смычки посредине не встретит затруднений, если к этому времени строительный подъем будет выверен. Такой ход сборки имеет тот недостаток, что переход сборочного крана от середины к концу с обратным ходом его к середине лишает возможности постановки хотя бы части верхних распорок для соединения собранных поясов, так как постановка распорок мешает выводу крана из пролета; вследствие этого фермы с собранными поясами остаются некоторое время в одной половине пролета не соединенными между собой, что, конечно, нельзя считать правильным, особенно при большой высоте ферм.

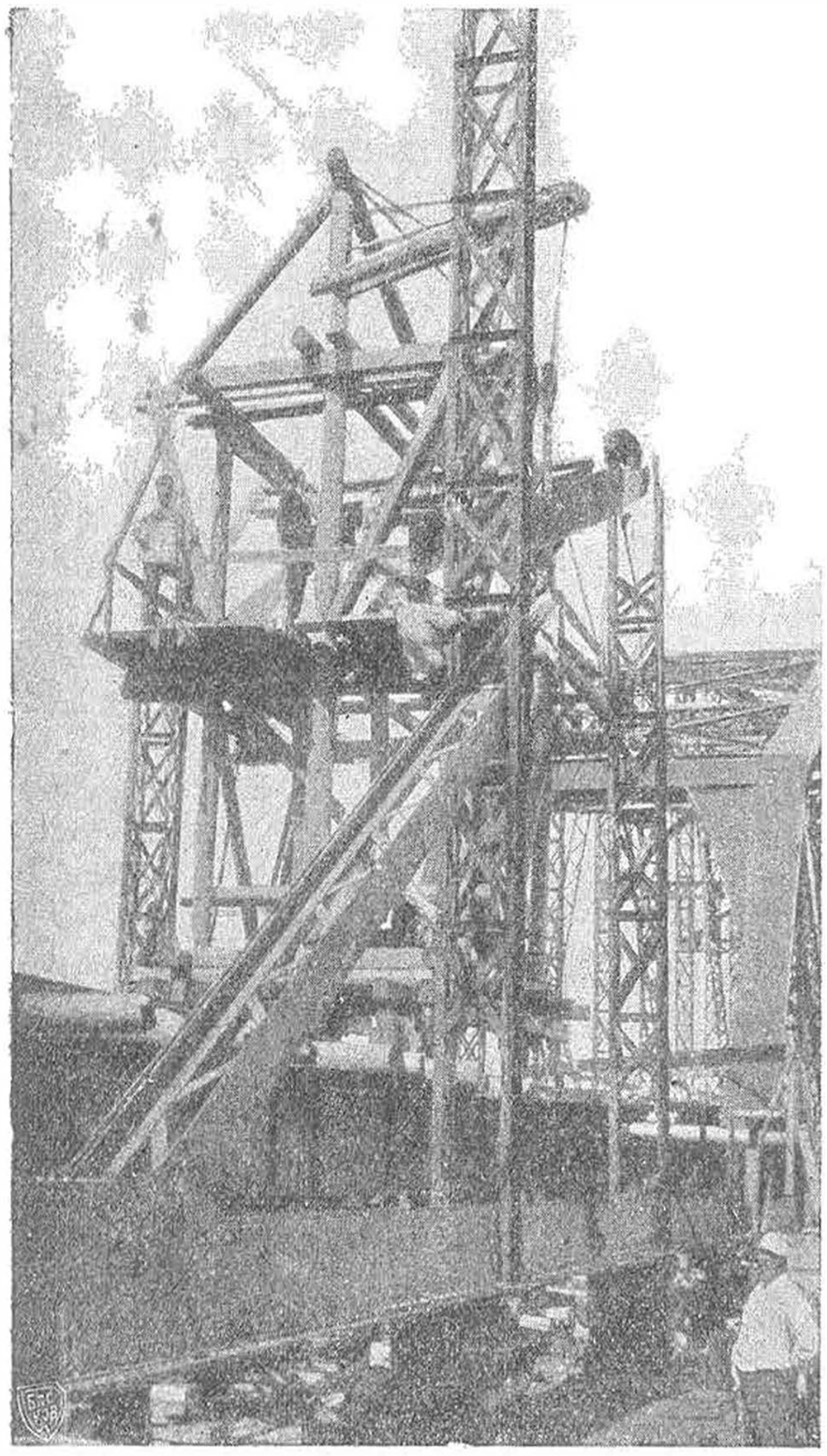


Рис. 158. Постановка стоек и раскосов.

Указанное обстоятельство заставляет поступиться сохранением условия навески элементов верхних поясов с фасонной планкой впереди и проходить сборку с конца в конец. Такой ход не встречает затруднений в фермах, в которых стыковые образования вертикальных и горизонтальных листов не совмещены, так как в них расположение монтажных стыков вертикальных листов может быть соответственно изменено при заводской работе; но это вносит некоторые затруднения, если фермы запроектированы с совмещенными стыками, так как изменение положения монтажных стыков вертикальных листов в этом случае невозможно и при проходе с конца на конец, приходится в одной из половин ферм навешивать элементы пояса без закрепления их на встречной стойке. При таком производстве сборки можно рекомендовать ставить несколько большее число сборочных болтов и оправок в стыке у заднего конца навешиваемого элемента и соединять обе стенки пояса временными стяжками из уголков решетки, что обеспечит жесткость элемента в поперечном направлении до постановки следующей фасонной планки и соединения его с ней.

При проведении сборки верхних поясов от одного из концов следует обращать внимание на хорошее соединение и приведение во взаимную связь первой концевой панели с раскосом в ней. Хорошим закреплением устраняется возможность большой

НБ УДУНТ (ДІІТ)

разбежки в последующих соединениях и образования большой несходимости у места смычки.

Заканчивается сборка ферм наводкой раскосов. При современной проектировке

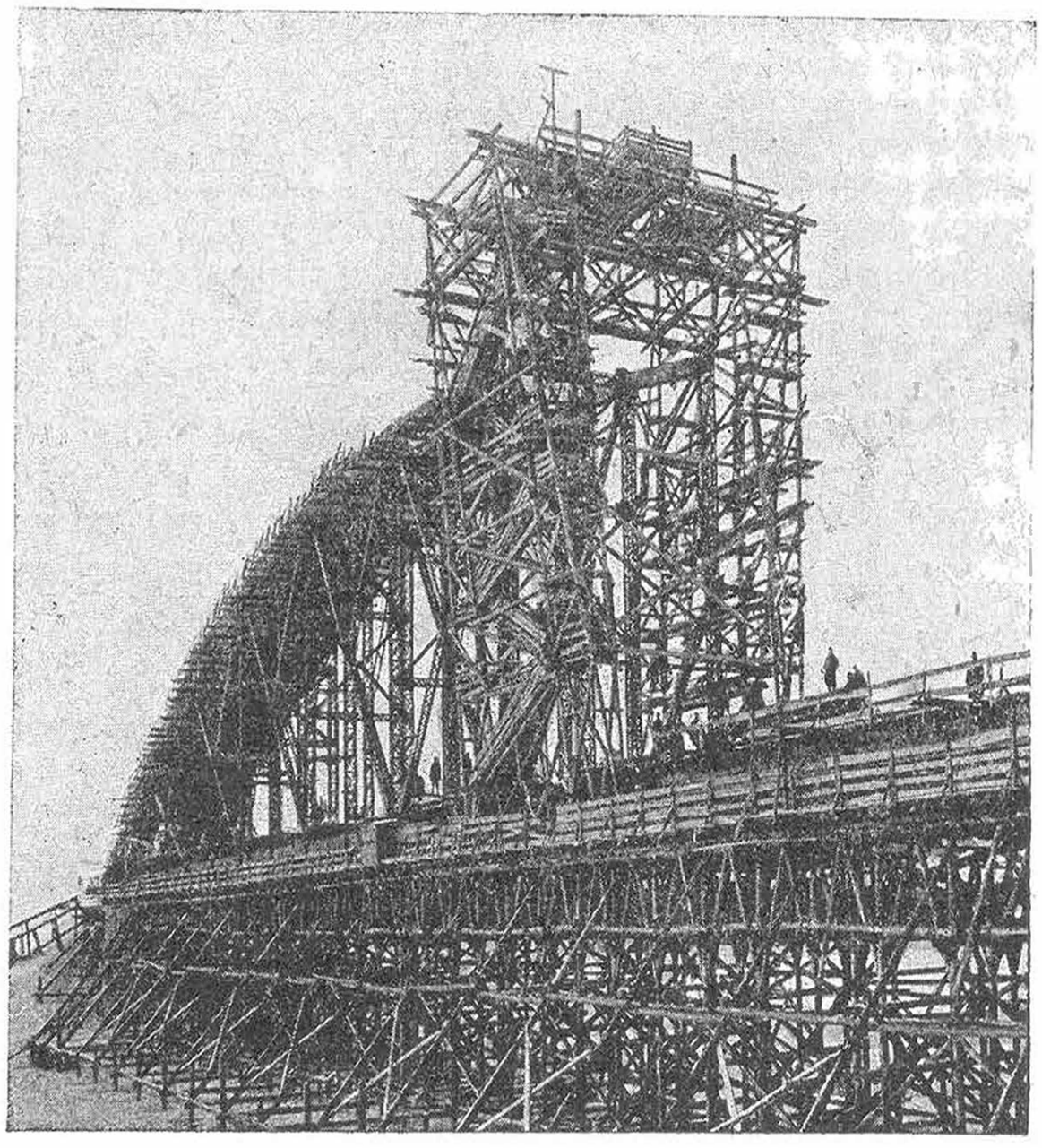


Рис. 159. Сборка верхней части пролетных строений.

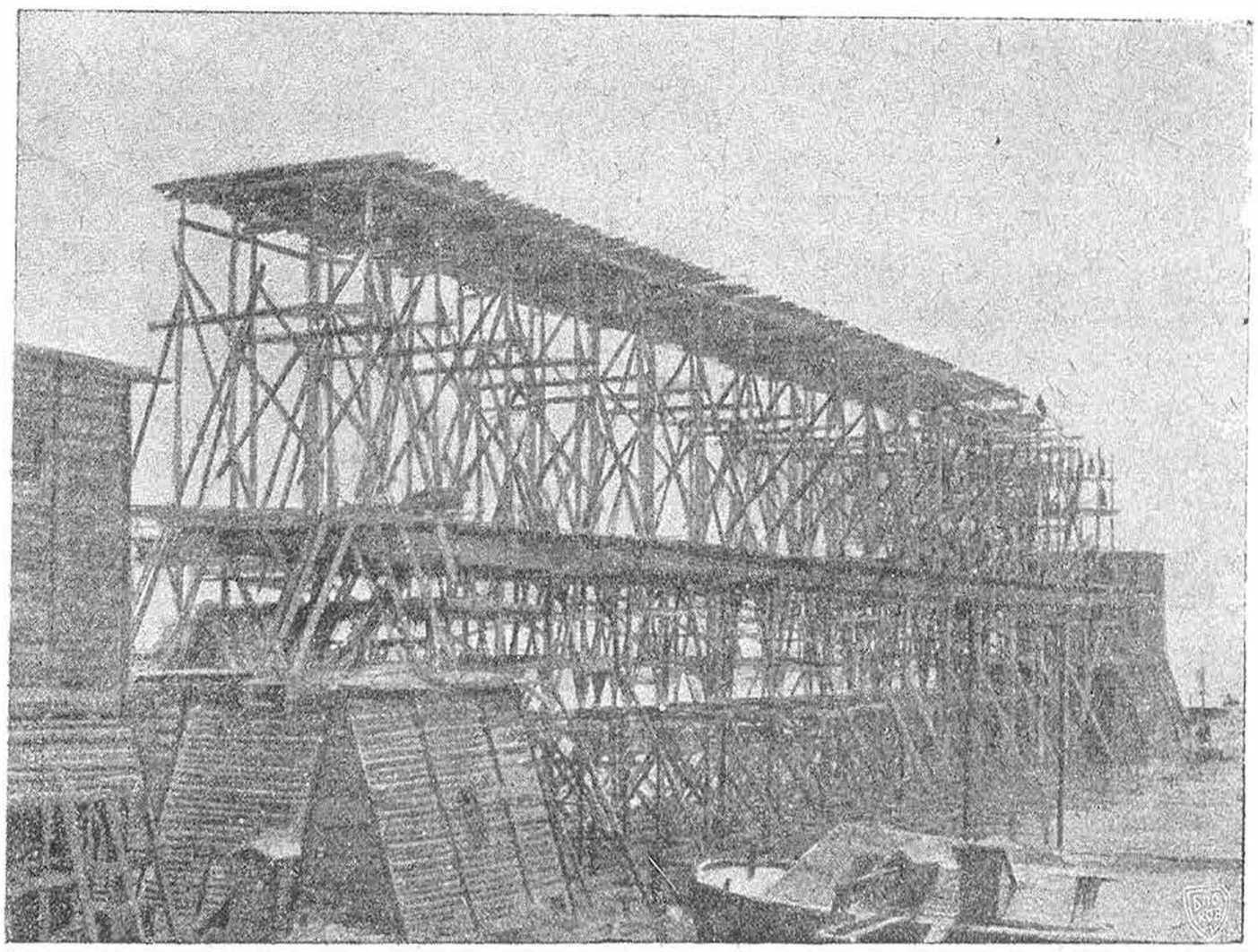


Рис. 160. Двойные подмостки для сборки нижней и верхней части пролетных строений.

раскосов с жесткими сечениями это не представляет больших затруднений. Для получения натянутости оставляют на заводах дыры с одного конца раскосов не развернутыми; при сборке на месте натяжение раскосов достигается забивкой в имеющиеся

НБ УДУНТ (ДІІТ)

отверстия конических оправок. Рассверлование этих дыр производится по окончании выверки всего строительного подъема, когда можно быть уверенным в правильном натяжении раскосов.

Укладка нижних поясов и проезжей части в пролетных строениях с ездою по низу производится обычно при помощи козел с талями и небольших портальных кранов (рис. 164). И только в небольших пролетных строениях с тавровыми поясами укладка нижнего пояса на клетки производится вручную.

Установка стоек раскосов и верхнего пояса в настоящее время производится обычно при помощи больших кранов [1]) (рис. 159 и 168). Реже можно встретить производство сборки со специальных вторых подмостей с движением по ним кранов малой высоты (рис. 160). Сборка со вторых подмостей проще, чем сборка кранами с нижних подмостей, но при большой стоимости лесного материала обходится значительно дороже и находит себе оправдание при применении для сборки высоких арочных ферм со слабыми подвесками (см. рис. 165).

При сборке верхней части кранами в мостах с большим числом пролетов представляется целесообразным иметь несколько кранов для проведения последовательности в работе. Так, например, ведя сборку нижней части козелковым краном,

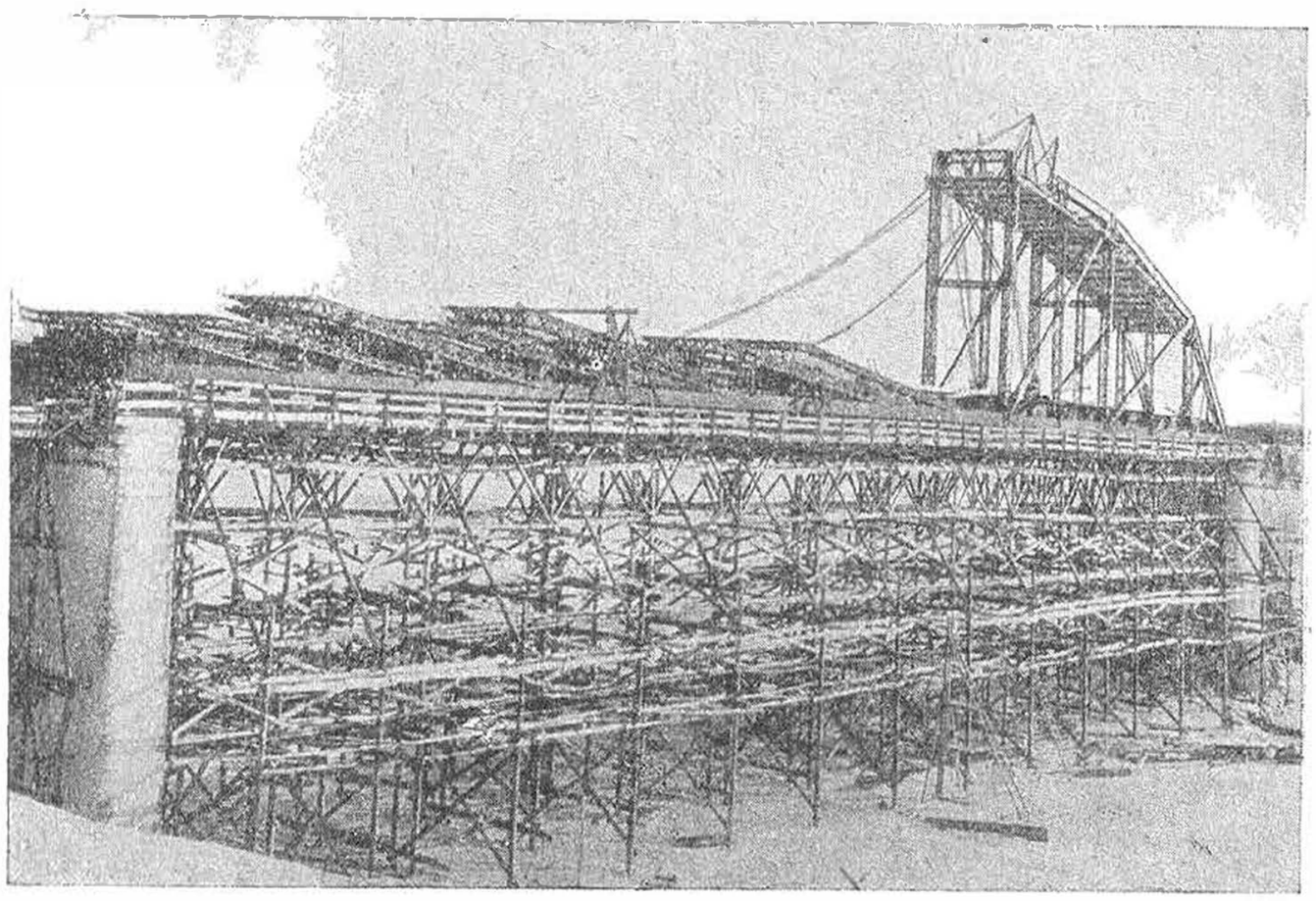


Рис. 161. Сборка пролетных строений без кранов (р. Унжа).

следует по истечении известного промежутка времени, с уходом вперед сборки нижней части, вводить в работу второй кран для проведения установки стоек и раскосов и, наконец, с уходом этой сборки вперед — вводить в работу третий кран для сборки и навески верхнего пояса, а в высоких фермах — и для установки верхних половин раскосов и стоек. Опыт показал, что расход на лишний кран при такой планировке работ значительно ускоряет процесс работы и продуктивность ее.

Краны служат только для постановки стоек, раскосов и навески верхнего пояса, наводка же стыков делается с настила, укладываемого по стойкам и раскосам ферм (рис. 159).

Иногда для постановки стоек ферм употребляется своеобразный метод «поворачивания» их. Стойки ферм собираются попарно в горизонтальном положении и соединяются между собой распорками и крестами (рис. 161). Нижние концы стоек заправляются между вертикальными листами нижнего пояса соответственно своему положению в ферме. По окончании склепки стоек с распорками в виде портальной рамы каждая рама приводится в вертикальное положение помощью канатов и блоков. Для подъема первой рамы блоки укрепляются на специальной мачте или свае;

---

[1]) См. § 21.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

для подъемки последующих рам блоки прикрепляются к уже поднятым рамам. Во время подъемки стойка вращается у нижнего своего конца, который удерживается от скольжения вдоль фермы оправками, забиваемыми в заклепочные отверстия. Кроме оправок стойка удерживается от сдвига в сторону направляющими угольниками $a - b$, скользя вдоль которых конец стойки постепенно занимает проектное положение (рис. 162). Приведенные в вертикальное положение стойки ферм служат для укладки по ним настила, с которого производятся постановка раскосов и сборка всей верхней части ферм.

Описанный способ установки стоек более применим при сборке ферм с болтовыми узлами, в которых сам узловой болт обеспечивает правильность вращения. В фермах с болтовыми узлами благодаря шарнирности соединения метод поворачивания применяется не только для установки стоек, но и для постановки раскосов и частей верхнего пояса.

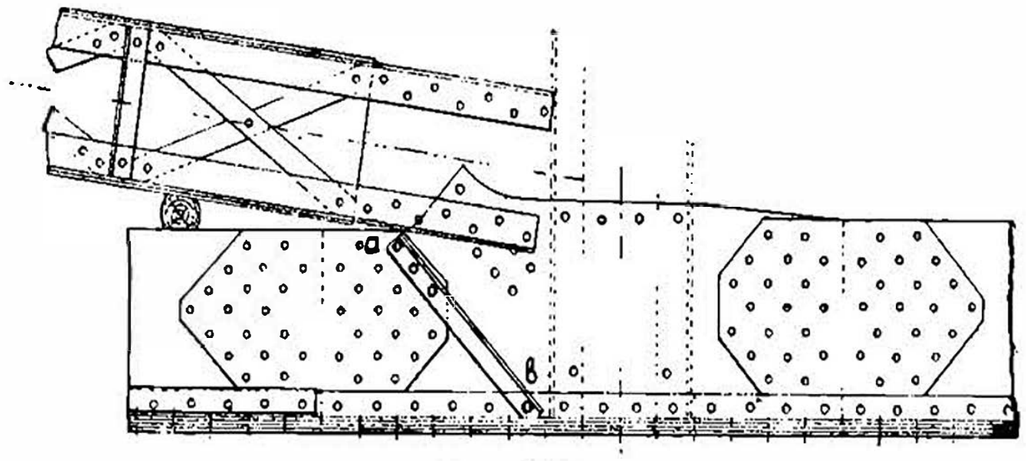


Рис. 162.

Предварительная оценка времени и рабочей силы, потребной на сборку мостов, производимых в обычных условиях нашего Союза, может быть сделана только на основании опыта производившихся работ [1]). В таблице 8 приведены данные об успешности сборки на некоторых мостах, построенных в Союзе.

Из рассмотрения данных указанной таблицы характерно видно влияние на успешность сборки времени года и оборудования ее кранами. Чем лучше подвижность крана и больше приспособленность его, тем выше производительность сборки. Такой простой фактор, как помещение копрового крана на колеса вместо салазок, уже увеличивает успешность сборки на 40—50%. При всех одинаковых условиях работы производительность в летнее время выше таковой же зимней на 10—30%.

Рассверловка и выклепка. Одновременно со сборкой пролетного строения начинается рассверловка дыр и выклепка заклепок, не поставленных на заводе. Обычно количество дыр, подлежащих рассверловке на месте, невелико. По условиям обработки на заводах (см. § 10) нерассверленными оставляются только дыры на концах раскосов и диагоналей связей, общее число которых невелико. Рассверлование этих дыр должно делаться только после того как весь пролет собран, и подъем его окончательно выверен.

Так как количество таких дыр невелико, то эту работу обычно производят ручными трещотками, но если на месте работ имеется пневматическая установка, то естественным является производить эту работу помощью пневматических машинок.

Наблюдения, производившиеся при сборке пролетных строений Охтенского моста через р. Неву над работой по рассверловке дыр на толщину $^3/_4$ *мм* вручную трещотками и пневматическими машинками, показали, что в течение 10-часового рабочего дня:

а) пневматическими машинками, работавшими при давлении 8 атмосфер и обслуживавшимися 2 рабочими, рассверливалось в среднем 1 300 листо-дыр, причем это количество мало зависело от числа листов в отверстии;

б) трещотками рассверливалось в среднем 300 листо-дыр, причем производительность колебалась от 170 до 510 листо-дыр в зависимости от числа листов в отверстии и их толщины.

Переходя к вопросу о производстве выклепки заклепок, можно указать, что

[1]) Приведенные в таблице 8 данные составлены по указаниям лиц, заведывавших работами, и частично по литературным источникам. К сожалению, в отчетах не отмечается время приступа и окончания отдельных работ, что лишает возможности иметь исчерпывающие данные о времени, затрачиваемом на сборку.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ТАБЛИЦА 8.

Наименование моста	Число пролет.	Длина пролета в метрах	Вес пролета в тоннах	Время производства работ	Способ сборки	Средн. производит. в день в тоннах	Средн. производит. 1 рабочего в тоннах
Аму-Дарья (Ср.-Аз.)	25	63	188,5	Зима—3° до +20° 17 дней	Подвижной копровый кран на колесах с 4 вылетами д/подъема	11	0,37
Западная Двина	1	105	491	Лето	Простой копровый кран на салазках с 2 вылетами	—	0,19
Ветлуга	1	94,5	394	Зима, 60 дней	Простой копровый кран на салазках с 2 вылетами	6,5	0,22
Вятка	3 2	127 127	623 623	Зима—25° до +5° 60 дней, лето 50 дней	2 копровых крана каждый в 2 выноса: один на салазках, другой на колесах	10,4 12,5	0,26 0,31
Западная Двина .	1	149,8	820	Лето 45 дней	2 крана—оба на колесах: один с 2 журавлями, другой объемлющий	18,2	0,49
Сейм .	2	105	475	Зима 30 дней	То же, что и в предыдущем случае	15,8	0,45
Ока .	2 3	126	800 800	Зима 48 дней, лето 36 дней	Объемлющий кран на колесах	18,3 22,2	
Нева, Охтенский (арочный) .	1	134,3	3 280	Лето 109 дней	4 крана копрового типа	—	0,54
Мост в СССР (1924 г.) . .	2	109,2	584	Зима 40 дней	Объемлющий кран	14,6	
Ока, 1926 г. .	5 3	111,3	616	Лето 19—20 дней, зима 22—26 дней	Объемлющий кран с под'емной силой 16 *m* и козелковый с под'емной силой 10 *m*	20 18	
Мост в СССР (1928/29 г.) . .	4	109		Зима в среднем по 30 дней (2 смены)	Козелковые и 2 об'емлющие—малый и большой (все на колесах) с электрической лебедкой		от 0,55 до 0,80

НБ УДУНТ (ДІІТ)

часть этой выклепки должна вестись параллельно сборке, так как всегда встречаются места, как например в нижних поясах ферм под стойками и раскосами, выклепка которых становится невозможной после последующей сборки. Вообще же в отношении возможности порядка выклепки все заклепки могут быть разбиты на две категории: 1) заклепки, служащие для образования стыков и соединения отдельных элементов между собой, и 2) заклепки, оставленные в видах удобства отправки и сборки.

Заклепки последней категории безусловно могут быть забиваемы по мере хода сборки; к типу таких заклепок, например, относятся заклепки, соединяющие вертикальные листы поясов с горизонтальными, которые обыкновенно присылаются в разъединенном состоянии и др. Что касается заклепок в стыковых соединениях, то выклепка их обычно производится после окончания сборки и выверки подъема.

В целях ускорения работ по выклепке можно производить ее до окончания сборки всего пролетного строения, но в пределах отдельных секций образующих неизменяемое целое. Условие неизменяемости отдельных треугольников (рис. 163), входящих в состав пролетного строения, допускает изменение ординат подъема только в узлах, присоединяющих их один к другому (на рис. 163 узлы 1, 2, 3,..); из этого следует, что изменение, например, величины ординаты y_3 под'ема не будет зависеть от положения секций 1 и 2. Таким образом представляется возможным, после того как будут выверены ординаты y_1 и y_2, произвести выклепку секции 1; затем, когда будут выверены ординаты y_2 и y_3, произвести выклепку секции 2 и т. д. Однако необходимо при производстве выклепки секциями тщательно следить за состоянием ординат под,ема в прилегающих узлах.

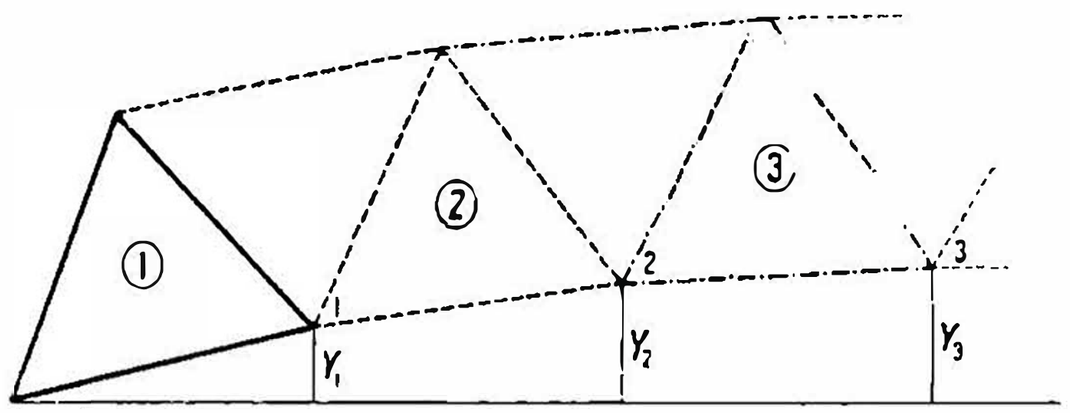


Рис. 163.

Вся выклепка заклепок в пролете и особенно в стыках должна быть заканчиваема пока фермы моста стоят на клетках и не несут никакой нагрузки. Это требование объясняется замечаемым ослаблением стыков в соединениях при переклепке в этих стыках отдельных заклепок. Если стык между элементами находится в рабочем состоянии и испытывает известное натяжение от передаваемых усилий, то под действием сосредоточенных ударов кувалды во время клепки местные сотрясения вызывают временное нарушение трения в заклепках, и стык мало-помалу раздается [1]). Подтверждением этому предположению служат появляющиеся во время переклепки в стыке заклепок ослабления соседних заклепок, бывших до переклепки в крепком состоянии. Эти бесконечно малые ослабления стыков вызывают просадку самих ферм.

Исключение делается только по отношению к стыковым соединениям между продольными и поперечными балками проезжей части, выклепку которых следует делать после установки пролетного строения на опоры. Этим достигается то, что проезжая часть, не будучи склепана в одно жесткое целое с поясами главных ферм, не стесняет их деформацию; в. противном случае, стесняя деформацию последних, она воспринимала бы на себя часть их усилия от веса пролетного строения.

При производстве выклепки необходимо должны соблюдаться все указания о нагреве заклепок, сделанные в главе о производстве клепки на заводе (§ 12).

До последнего времени у нас в Союзе рассверловка дыр и выклепка пролетных строений на месте установки производилась почти исключительно вручную. За границей ручная клепка давно заменена гидравлической или пневматической. Последняя имеет большие преимущества в смысле своей портативности и приспособленности.

---

[1]) Это явление прекрасно было доказано опытным путем инж. Е. К. Киорре на публичном его докладе в Московском инженерном училище в 1903 г.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

О преимуществах пневматической клепки можно судить по следующим данным, приводимым Дирксеном о стоимости этих работ в Америке [1]).

Если принять, что при пневматической клепке:

А) стоимость обзаведения (компрессор, двигатель, 5 молотов и пр.)	7 150	марок
В) ежегодный ремонт их	145	»

и что ежегодно в работе будет находиться всего три молотка, то ежедневный расход на содержание этих молотков исчислится в сумме:

а) отчисление на проценты и погашение капитала .	10,5	марок
б) содержание и приведение в действие молотков . .	7,55	»
Всего	18,05	марок.

Отсюда ежедневная стоимость работы по клепки будет:

а) при клепке пневматическим молотком:

1) содержание молотка .	$\frac{1}{3}$ 18,05 = 6,00	марок
2) масло	0,50	»
3) 2 рабочих с жалованьем 15 марок . .	30,00	
4) 1 рабочий » » 9,2 » . .	9,20	»
Всего . .	45,70 марок = 21,48	руб.

б) При клепке вручную бригадой:

1) 2 рабочих по 15 марок	30	марок
2) 2 » » 9,0 »	18	»
Всего . .	48 марок = 22,50	рублей,

что составит:

а) при средней производительности клепальных молотков	500 шт. в день по 4,29 р. сотня
б) при средней ручной клепке	250 » » » » 9,00 » »

Из приведенных цифр видно, что в Америке при высокой цене на рабочие руки пневматическая клепка обходится вдвое дешевле.

В Союзе попытки применения пневматической клепки на мостах через р. Вятку (1905 г.), через р. Днепр у Волчьего Горла (1904—1907 гг.), через р. Оку у Мурома (1912 г.), через р. Оку около Серпухова (1926 г.) и на др. не дали благоприятных результатов, что можно объяснить неподготовленностью рабочих. Последнее соображение подтверждается, например, данными о производительности пневматической клепки на работах на мосту через реку Оку около Серпухова, где средняя производительность в начале работ составляла 166 штук заклепок в 8-часовой рабочий день, а в конце работ она была равна 254 штуки в день.

По отчетным данным по сборке и клепке пролетных строений моста через р. Волгу около Свияжска (1912 г.), на котором почти вся клепка была проведена пневматическими молотками, содержание компрессорной станции обошлось в 1 р. 03 к. на тонну, или около 0,85 коп. на заклепку.

Время, потребное на склепку пролетного строения, определяется по средней производительности одной бригады. Обычно считают, что средняя производительность одной бригады в течение 8-часового рабочего дня составляет 150—180 штук заклепок; производительность клепальных молотков пока приходится считать по

---

[1]) «Zeitschr. d. V. D. I», 1908 г., стр. 583.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

250 штук в день. Опыт показывает, что указанные производительности по клепке не разнятся существенно в летнее и зимнее время.

Так как по статистическим данным количество заклепок, остающихся для выклепки на месте установки, составляет около 35—40% всего числа заклепок в пролетном строении, что составляет в среднем от 95 до 110 заклепок на тонну металла, то количество бригадо-дней, потребное на выклепку пролетного строения, определяется из условия:

$$\text{Число бригадо-дней} = \frac{\text{Вес пролетн. строен.} \times \text{число заклепок на тонну}}{\text{ежедневная производительность бригады}}$$

Зная потребное число бригадо-дней, можно определить количество бригад, потребное на выклепку пролетного строения в заданный срок.

Успешность выклепки зависит от обеспечения бригад инструментом, который в процессе работ непрерывно идет в ремонт; поэтому при расчетах необходимо предвидеть, чтобы запас инструмента превышал потребный на число бригад не менее как на 25%. Это же обстоятельство заставляет с особой тщательностью относиться к вопросу об организации вспомогательной мастерской по ремонту инструмента.

Так же внимательно надо отнестись к заготовке угля; по наблюдениям нормативного отдела НКПС (1927) для нагрева одной заклепки в среднем требуется 0,13 *кг* каменного угля; с учетом утери следует считать потребное количество угля равным 0,15 *кг* на заклепку; в среднем около 15 *кг* на тонну металла.

Снятие с клеток. Работа по сборке пролетного строения на настиле заканчивается снятием его со сборочных клеток. Если сборка производилась на месте установки, то это снятие клеток сопровождается опусканием пролетного строения на опоры. Если сборка производилась в стороне от места установки, то это снятие сопровождается установкой его на приспособления для передвижки.

Во время процесса опускания необходимо наблюдать за тем, чтобы отдельные части пролетного строения и само оно не испытывали перенапряжения, и чтобы процесс опускания происходил равномерно без перекашивания пролетного строения в поперечном направлении.

Если сборочная организация имеет достаточное количество гидравлических домкратов, при помощи которых пролетное строение может быть приподнято с клеток и потом при помощи их опущено, то этим обеспечивается сравнительно простой процесс работы по опусканию; нужно только обеспечить домкратам устойчивое и прочное положение на настиле и подмостях.

Если нет достаточно мощных домкратов или невозможно обеспечить устойчивого и прочного положения их, то лучше производить опускание путем последовательного ослабления клиньев в сборочных клетках. Для производства этой работы выделяются две артели, работающие под руководством опытных плотников, которые работают одновременно с обеих сторон пролетного строения, чем устраняются перекос пролетного строения в поперечном направлении и отход его с оси. Работа по опусканию заключается в том, что сначала под пролетным строением выкладываются новые клетки, не доходящие до низа пролетного строения на 1,5—2 *см*; затем начинают выбивать из старых клеток клинья, производя эту работу по длине всего пролета, чем устраняются перегиб пролетного строения по длине и перегрузка подмостей; во время этой работы пролетное строение понемногу садится на вновь подготовленные клетки. Переходную разницу в высоте старых и новых клеток не следует делать более 2 *см*, так как быстрая посадка пролетного строения может вызвать уход его как в долевом, так и в поперечном направлениях.

Во время производства опускания необходимо следить за тем, чтобы ослабление во всех клетках производилось равномерно, так как в противном случае может произойти чрезмерное загружение отдельных клеток, сопровождающееся трудным ослаблением их.

Если при сборке концы пролетного строения не были установлены на опорные подушки, то в процессе опускания может потребоваться выправление положения

НБ УДУНТ (ДІІТ)

пролетного строения относительно оси моста, т. е. сдвиг его в одну из сторон. Для осуществления этого сдвига дают пролетному строению упоры подкосами или домкратами со стороны противоположной той, куда должен происходить сдвиг. В подкосы закладываются клинья, натяжением которых по мере сдвига сохраняется распирающее действие подкосов. Для облегчения сдвига опускание начинают с той стороны, куда должен произойти сдвиг.

При правильно организованной работе опускание больших пролетных строений происходит в течение нескольких часов. Так, например, опускание пролетного строения моста через реку Днепр в Киеве с шестью пролетными неразрезными фермами продолжалось около 6 часов.

§ 20. Стоимость работ по сборке. Стоимость работ по сборке пролетных строений на месте постройки в существенной степени зависит от местных условий обслуживающих приспособлений и даже от времени года. Достаточно проанализировать таблицу 8, чтобы видеть, что все эти факторы существенно отзываются на производительности работ. Таким образом нельзя дать какие-либо исчерпывающие данные по этому вопросу; но чтобы иметь представление о соотношениях стоимостей отдельных работ, можно пользоваться средними расчетными данными, выводимыми большими организациями для производимых ими работ.

К таким расчетным данным можно отнести, например, таблицу, 9, определяющую среднее количество рабочей силы на одну тонну металла, потребное для выполнения разных работ по сборке пролетных строений.

ТАБЛИЦА 9.

Среднее количество рабочей силы на одну тонну металла.

№№ по пор.	Наименование работ	Чернорабочие	Подручные плотники второй руки, маляры	Плотники первой руки	Сборщики, слесаря, клепальщики	Стоимость работ по средней оплате в руб. (1928 г.)
1	Выгрузка металла .	0,75	—	—	0,075	2,44
2	Подача .	1,126	—	—	0,113	3,66
3	Правка	—	—	—	0,122	0,61
4	Устройство крана и приспособлений .	0,31	—	0,55	—	2,60
5	Сборка	—	0,57	—	1,50	9,78
6	Привертка .	—	—	—	0,488	2,44
7	Поддержание подъема .	—	—	0,244	—	1,22
8	Устройство верхних подмостей	0,524	0,524	—	0,025	3,66
9	Рассверловка .	—	—	—	0,488	2,44
10	Клепка .	0,648	1,296	—	0,686	10,56
11	Опускание на опоры . .	0,315	—	0,040	0,161	1,87
12	Окраска . .	—	0,915	—	—	3,66
						44,94 руб.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

В последней графе этой таблицы приведены средние расчетные стоимости производства работ по средним ценам 1928 г., которые приняты для оплаты рабочей силы: по I графе по 2 р. 75 к., по II графе по 4 р., по III и IV графам по 5 рублей, и нагревальщики, отнесенные в рубрику чернорабочих, по 3 рубля.

Ниже сопоставлены расчетные стоимости по тем же данным с отчетными данными по действительному выполнению работ по сборке 156-*м* пролетных строений на мосту через р. Волгу около Свияжска (1912 г.). В этом расчете оплата рабочей силы, приведенная к 8-часовому рабочему дню, вычислена по данным 1912 г. для рабочей силы: по I графе в 1 рубль, по II графе в 1 р. 80 к., по III и IV графам в 2 р. 40 к.

Разделы по таблице 9	Наименование работ	Расчетная стоимость на 1 *m*	Действительная по отчету на 1 *m*
1 и 2	Выгрузка и подача . .	2 р. 13 к.	1 р. 74 к.
3, 5, 6, 7 и 11	Правка, сборка, поддержание подъема, опускание на опоры .	8 » 46 »	8 » 56 »
9	Рассверловка	1 » 07	1 04 »
10	Клепка .	4 » 63 »	4 » 64 »
8	Устройство верхних подмостей . .	**3 » 26 »**	**2 » 47 »**
	Всего .	19 р. 55 к.	18 р. 45 к.

Кроме рабочей силы, потребной на производство сборки и установки, производство этих работ связано с расходом рабочей силы на ряд подготовительных работ и на технический персонал. Этот расход целесообразнее всего охарактеризовать процентными отношениями к рабочей силе по сборке, а именно:

1. Кузница и слесарная (инструментальная)	7%
2. Разборка и погрузка имущества .	3%
3. Ученичество . .	3%
4. Разные работы	. . . . . 5%
	Всего . . 18%

Таким образом стоимость всей рабочей силы по производству сборки и вспомогательным при них работам исчисляется по расценкам 1928 г. (см. таблицу 9) примерно в сумме 55—56 рублей на тонну металла, не считая аналогичных начислений на рабочую силу по устройству подмостей или выстилку под сборку.

Как всякая работа, работа по выполнению сборки связана с накладными расходами, слагающимися из начислений на рабочую силу, из цеховых расходов, амортизации имущества и пр. Величину этих расходов целесообразно охарактеризовать процентным отношением к полной стоимости рабочей силы, а именно:

1) Отчисление на рабочую силу: соцстрах, профсоюз . .	11%
2) Накладные расходы на рабочую силу: суточные, проездные, выходные, отпускные, прозодежда и пр. . . .	25—30%
3) Цеховые расходы: содержание административно-технического персонала, командировочные, содержание конторы, топливо, освещение и пр.	24—28%
4) Амортизация инструмента	4— 5%
5) Отчисления в центральные органы .	. . . . . 8—10%
	Всего . 72—84%

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Таким образом общая сумма накладных расходов составляет примерно 80% от полной заработной платы, не считая отчисления правления треста.

В заключение отметим, что все вышеприведенные данные таблицы 9 и накладных расходов являются средними, ориентировочными, служащими для предварительных соображений и контрольных выводов. Несомненно, что процентные отношения в накладных расходах могут изменяться, так как их соотношения существенно зависят от внутренней организации производящего органа, но в общей сумме это отношение не должно быть значительным.

§ 21. Сборочные краны. Сборочные краны отличаются от обыкновенных подъемных механизмов своим приспособлением не только для подъемки тяжестей, но и для производства самой сборки. Так как они часто предназначаются для производства сборки на одном только мосту, то конструкция их вырабатывается возможно проще с таким расчетом, чтобы все изготовление их могло быть выполнено на месте работ простыми рабочими. Этим объясняется и то обстоятельство, что они в большинстве случаев изготовляются из дерева как материала наиболее дешевого и наи-

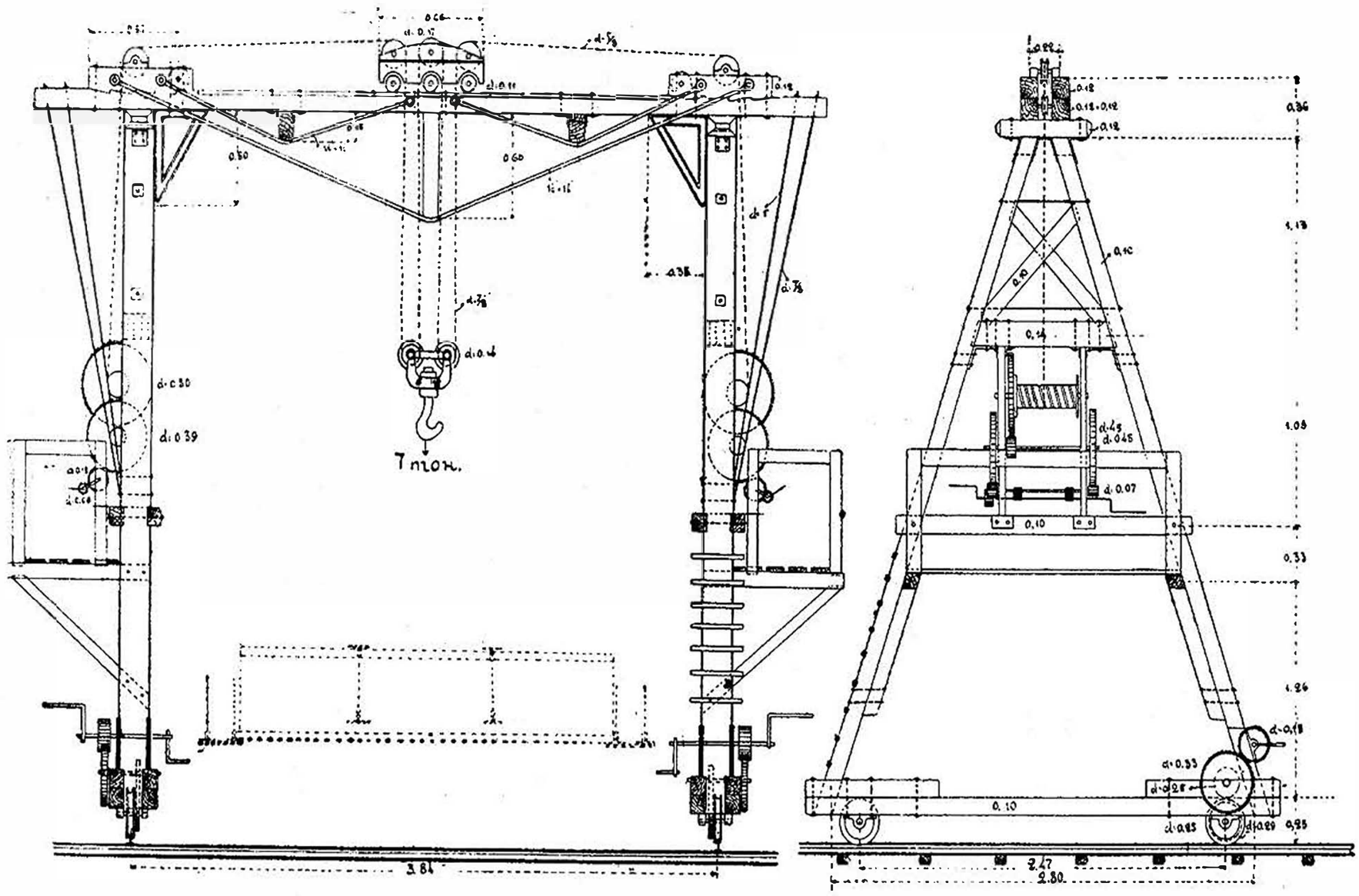


Рис. 164. Портальный кран.

более легко обрабатываемого. Конструкции сборочных кранов достаточно проработаны, и краны могут быть подразделены на четыре основные группы:

1. Портальные краны.
2. Копровые краны.
3. Журавлевые краны.
4. Объемлющие краны.

Каждая из этих групп характеризуется тем или иным приспособлением для производства сборки.

Портальные краны. Первоначальный вид кранов этой группы — простые козлы с подвешенными к ним талями. Подъемка и установка ими частей производится в пространстве, ограничиваемом ногами козел. Благодаря сравнительно небольшой высоте, даваемой козлам, ими производится сборка и установка частей ферм, располагаемых невысоко над настилом подмостей, как-то: нижние пояса ферм, проезжая часть, невысокие мосты и т. д., причем подъемная сила их редко превосходит 1—1,5 *m*. Несмотря на примитивность своей конструкции, козлы имеют большое распространение на сборках, так как при небольшой стоимости (50—75 р.) и

НБ УДУНТ (ДІІТ)

небольшом весе, что облегчает манипуляцию с ними во время работ, они сокращают число рабочих, необходимых для подъемки тяжестей.

Конструкция портальных кранов видоизменяется в зависимости от веса частей моста, поступающих на сборку, и пространства, на котором должна производиться ими сборка, что вызывает соответствующее усиление ног и поперечной балки; для облегчения же передвижения их по пролету они устанавливаются на колеса.

На рис. 164 показан один из наиболее удачных по своей конструкции портальный кран. Ноги этого крана, имеющие форму равнобедренного треугольника, внизу охватываются двумя брусьями, служащими для прикрепления колес. Верхняя поперечная балка состоит из двух, усиленных шпренгелями, брусьев, по которым имеет движение каретка с приспособлениями для подъема груза. Для передвижения каретки служат те же лебедки, что и для подъема груза: в этих случаях канат одной лебедки ослабляется, а канат другой нарабатывается. Подъемная сила крана рассчитана на 7 *т* при высоте подъема 7 *м*. Вес крана с приспособлениями — около 11 *т*. Во время производства работы на мосту через Западную Двину кран обслуживался 8 рабочими; усилиями тех же рабочих кран с подвешенным грузом легко перемещался по подмостям; в ненагруженном состоянии кран передвигался 4 рабочими.

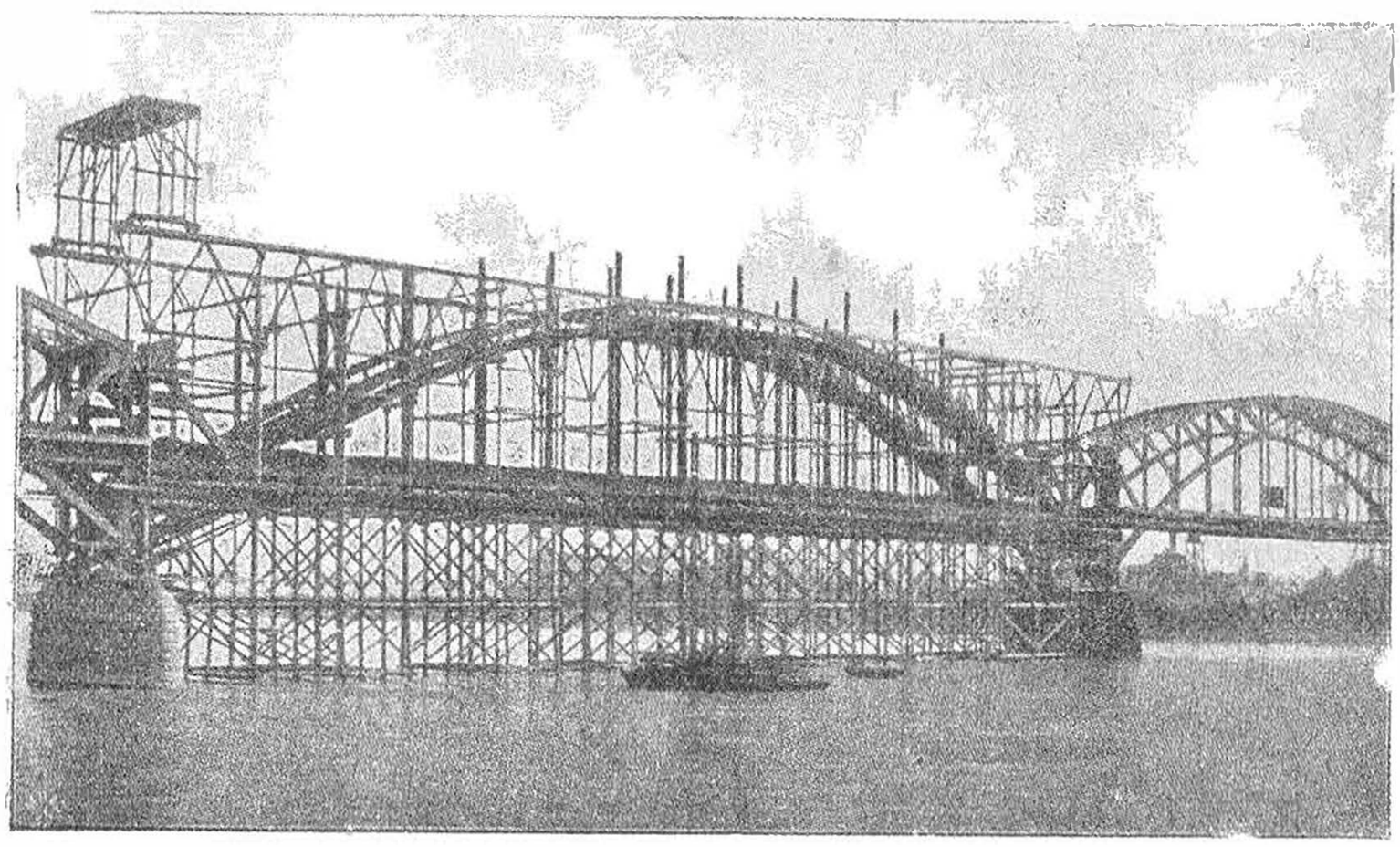


Рис. 165. Портальный кран с движением по вторым подмостям.

Краны этого вида приспособляются также для производства сборки с верхних подмостей, для чего последним, независимо от очертания ферм моста, дается горизонтальное очертание поверху для укладки пути, по которому должен передвигаться кран (рис. 165).

Можно указать также случаи, когда портальные краны приспособлялись для движения по криволинейному очертанию верхних подмостей, следуя очертанию ферм. Применение крана в этих условиях осложняется необходимостью сохранить вертикальное положение ног крана и необходимостью удержать кран от сдвига по наклону подмостей.

На рис. 166 показана конструкция крана, в которой положение ног крана регулируется натяжением цепей *B* у валиков *A*; при этом ноги крана вращаются у шарнира *O*, укрепленного на тележке крана, благодаря чему станина крана сохраняет вертикальное положение, независимо от любого наклонения тележки по скату настила подмостей.

Тому же требованию — сохранение вертикального положения станины крана — может удовлетворить устройство смещающихся осей в тележке крана (рис. 167). С этой целью оси тележки помещаются в специальных салазках, имеющих вертикальное

НБ УДУНТ (ДІІТ)

движение в коробках, закрепленных в кузове тележки. Вращением винта *b* в неподвижной гайке *c* коробки салазок с осями тележек перестанавливаются на любую высоту, согласно очертанию подмостей.

Сдвиг крана по наклону подмостей предупреждается или глухим закреплением его канатом или постановкой тормозных клиньев и колодок. В кране, примененном

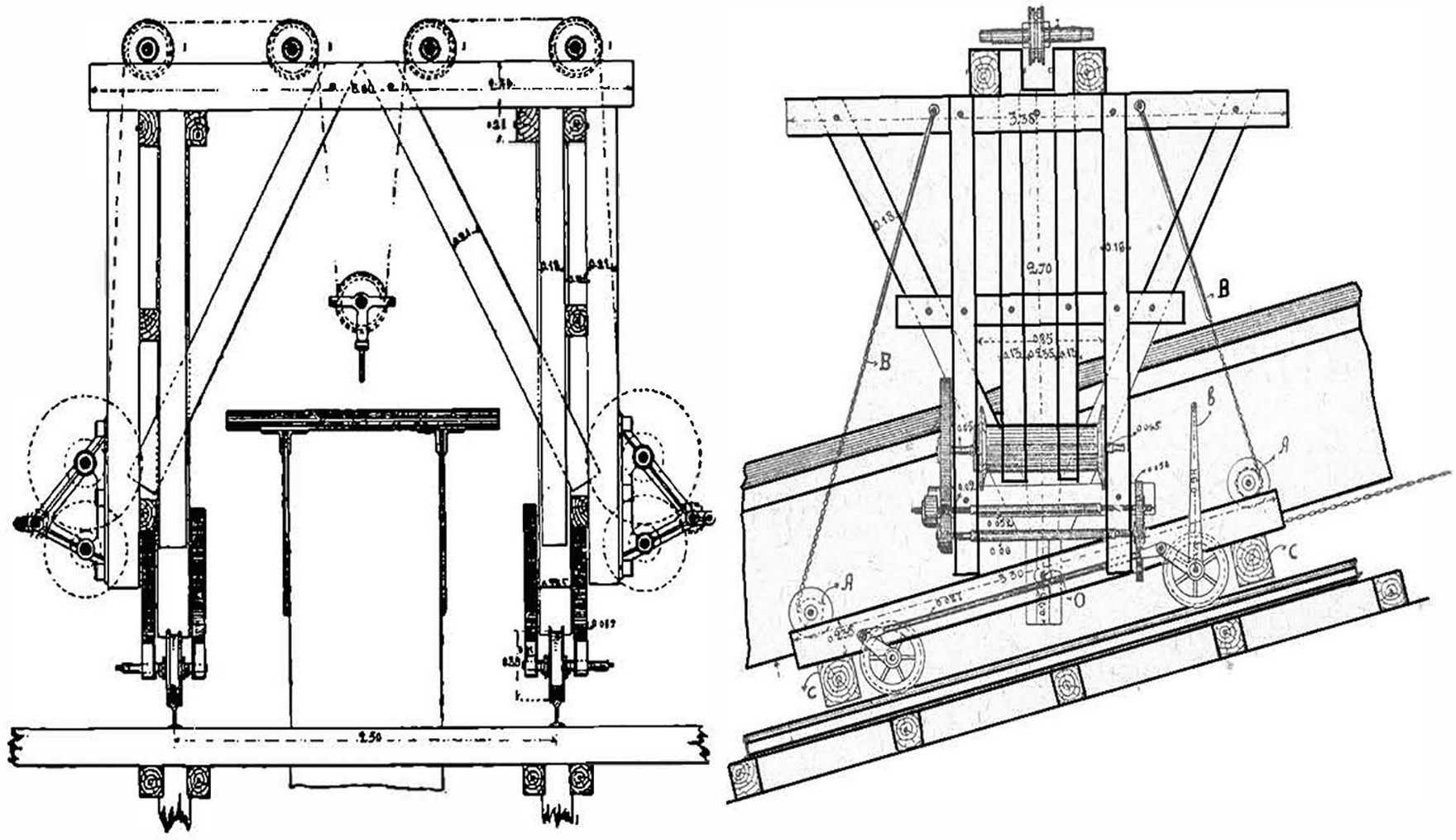


Рис. 166. Портальный кран, передвигающийся по наклонному поясу (р. Лек).

для сборки ферм моста через Лек близ Кюленбурга, неподвижное укрепление обеспечивалось внецентренным укреплением колес тележки (рис. 166). При передвигании рукоятки *b* кран садился на бруски *c*, которые весом крана и грузом плотно прижимались к путевым рельсам; возникающая при этом сила трения противодействовала сдвигу.

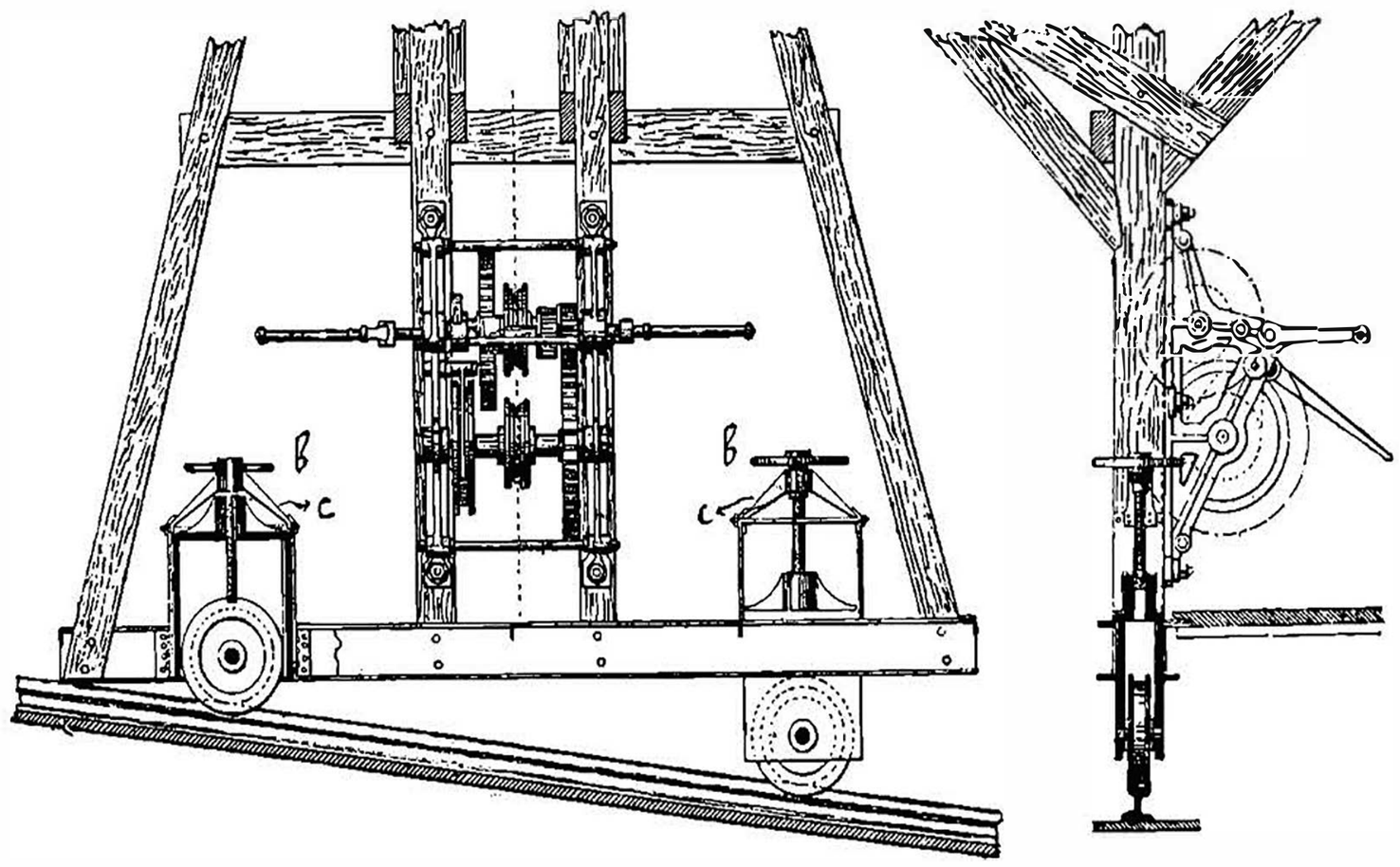


Рис. 167. Кран с движением по наклонному пути (р. Висла).

По своей теоретической схеме портальные краны относятся к жестким рамам шарнирно закрепленным в пятах. Основные данные для расчета их приведены ниже.

К о п р о в ы е к р а н ы. Первоначальный вид копровых кранов, как показывает самое название, мало отличается от конструкции простого копра. Они предназна-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

чаются для постановки стоек, раскосов, верхних поясов моста и во время производства работы перемещаются в середине моста. Во избежание излишнего поворачивания их они делаются двухсторонними, т. е. снабжаются двумя стрелами для одновременной сборки обеих ферм моста (рис. 168).

Высота копровых кранов изменяется в зависимости от высоты собираемой конструкции с таким расчетом, чтобы высота возможного подъема превосходила наивысшую точку ферм на высоту 1,5—2 *м*, что необходимо, например, для постановки вертикальных листов верхнего пояса, которые первоначально приподнимаются над стойками, а затем опускаются в пространство между ними, где и укрепляются.

При этих условиях высота крана может достигнуть 20 *м* и больше, тогда как ширина крана поперек моста не может превосходить ширины габарита, т. е. 4,9 *м*, почему устойчивость крана от действия ветра поперек моста становится сомнительной, что подтверждается случаями опрокидывания таких кранов при сравнительно небольшом ветре. На основании опытов производившихся сборок надо считать, что в тех случаях, когда высота крана превосходит учетверенную ширину его, следует отказаться от применения кранов копрового типа.

Устойчивость кранов вдоль моста обеспечивается постановкой подкосов, расстояние между подошвами которых делается не менее $^1/_3$ высоты стрелы крана.

Блок, служащий для установки и сборки частей ферм, должен помещаться над местом установки, т. е. над осями ферм; для удовлетворения этому условию вверху крана делается вынос или консоль соответствующей длины, где прикрепляется блок. Такое внецентренное относительно станины крана прикрепление блока вызывает опрокидывание крана, ввиду чего при односторонних подъемах больших тяжестей в кранах делаются специальные приспособления в виде захватов (см. рис. 173) против опрокидывания их.

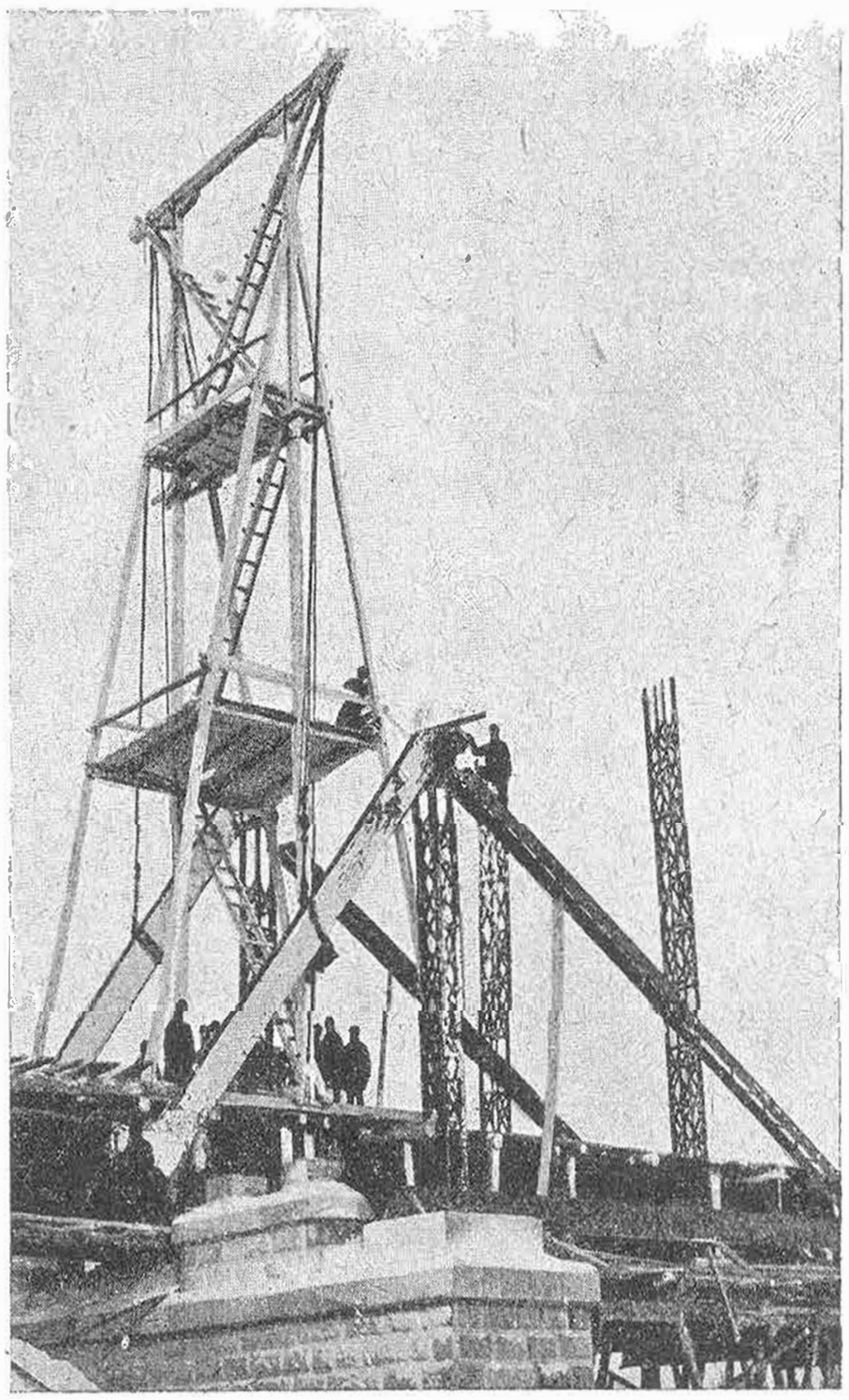


Рис. 168. Копровый кран.

Подъемная сила копровых кранов не превосходит 4 *т*, так как при большем грузе легко нарушается устойчивость его и усложняется конструкция.

Копровые краны обычно имеют небольшой вес (3 — 4 *т*), поэтому нередко в целях упрощения конструкции для передвижения их по подмостям пользуются просто ломиками и вагами. При таком способе передвижения много времени затрачивается на передвижку, так что средняя производительность таких кранов в течение 10-часового рабочего дня не превосходит 15 *т*. Краны, установленные на колесные скаты (рис. 169 см. вклейку между стр. 144—145) и передвигаемые по рельсовому пути, имеют производительность в $1^1/_2$ раза большую.

Иногда по условиям сборки в подвижных копровых кранах устраивают 4 стрелы с соответствующим числом блоков и лебедок (рис. 169). В таких кранах расстояние между стрелами делается равным длине панели, чем достигается возможность одновременной постановки четырех раскосов или стоек ферм. Станина в них теряет вид

НБ УДУНТ (ДІІТ)

копра и имеет форму башни, почему такие краны нередко называются кранами башенного типа. Сами они имеют большой вес, доходящий до 25 *т*.

Недостатком копровых кранов является невозможность прохода их внутри пролетного строения после постановки поперечных и верхних ветровых связей, вследствие чего приходится или вести сборку с одного конца фермы, отодвигая кран постепенно вперед, или оставлять на время сборки фермы иногда очень высокие в виде двух стенок не связанными между собой и закрепленными на болтах к нижнему поясу. В кране, показанном на рис. 169, (см. вклейку между стр. 144—145), указанный недостаток частично смягчен устройством стрел крана, вращающихся вокруг горизонтальной оси, что позволяет ему проходить в пределах высоты второго поперечных распорок пролетного строения.

Производство работ при сборках копровыми кранами осложняется вопросом о подаче к кранам материала, который за отсутствием в кранах приспособлений для передачи его с одного бока пролета на другой приходится подавать под стрелы крана с обеих сторон пролета, что увеличивает стоимость производства работы.

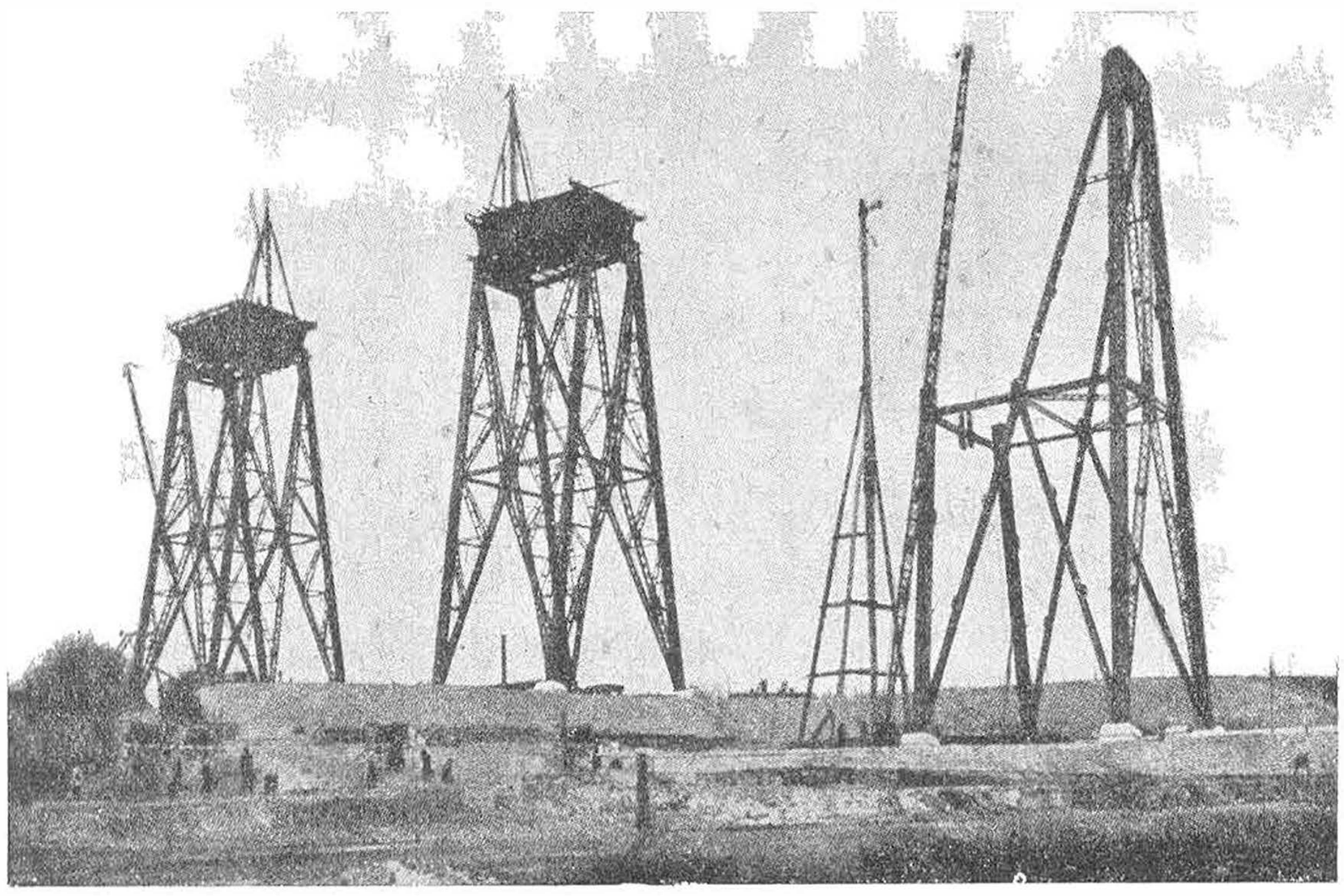


Рис. 170. Журавлевые краны.

Журавлевые краны. В своей основе журавлевые краны состоят из вертикальной стойки, вращающейся в подшипниках станины и укосины (журавля), нижним концом шарнирно укрепленной на станине крана, верхним концом связанной тягой с верхом станины (рис. 170); различаются они между собой в деталях конструкции и шарнирных соединений.

Изменение высоты подъема тяжестей в журавлевых кранах достигается изменением длины укосины и наклона ее к горизонту с соответствующим изменением длины тяги, независимо от высоты станины крана.

При сборке мостов с ездою по низу журавлевые краны, как и копровые, помещаются внутри пролетного строения, где перемещаются обычно по пути, уложенному по проезжей части моста, но имеют следующие преимущества перед копровыми (рис. 171). Во-первых уменьшая соответственно ширине колеи высоту станины журавлевого крана, его можно сделать вполне устойчивым против бокового действия ветра, вследствие чего с изменением длины укосины журавлевые краны могут быть применяемы для очень высоких сборок. Во-вторых, будучи спроектированы в пределах габаритных очертаний, они допускают одновременно со

НБ УДУНТ (ДІІТ)

сборкой главных ферм постановку верхних поперечных связей, не стесняя этим своего прохода, с опущенной укосиной по пролету. С применением журавлевых кранов отпадает также вопрос об усложненной подаче материала с двух сторон пролета, так как поворачиванием укосины вокруг вертикальной оси стойки материал может быть взят с любой стороны пролета.

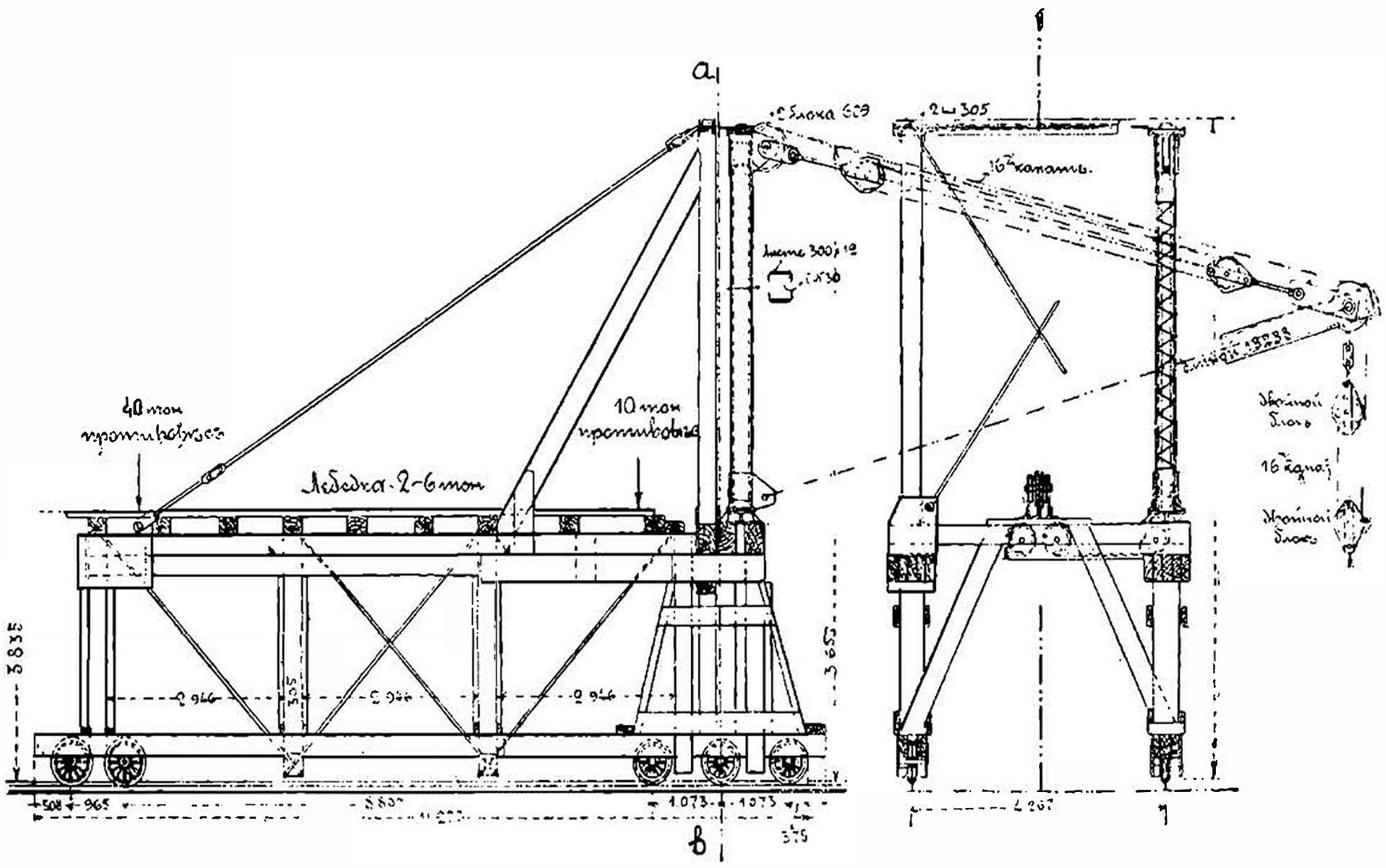


Рис. 171. Журавлевый кран с двумя стрелами.

Обладая достаточной боковой устойчивостью, журавлевые краны мало устойчивы по направлению действия укосины, которая кроме подъема в высоту имеет большой вынос вперед, вследствие чего вес укосины — G и поднимаемая ею тяжесть — Q вызывают довольно значительный опрокидывающий момент $M = Qq + Gg$ (рис. 172), изменяющийся в зависимости от наклона укосины. В предупреждение опрокидывания крана в задней части помещается противовес P, величина которого определяется по наибольшему значению Q и q из уравнения:

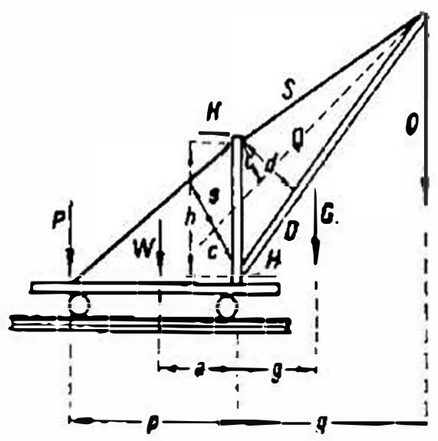


Рис. 172.

$$Pp = Qq + Gg - Wa, \qquad (11)$$

где W — вес станины с оборудованием.

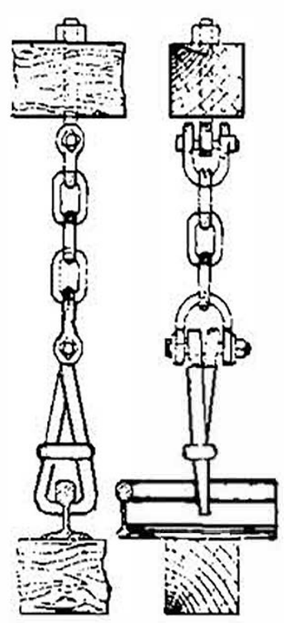
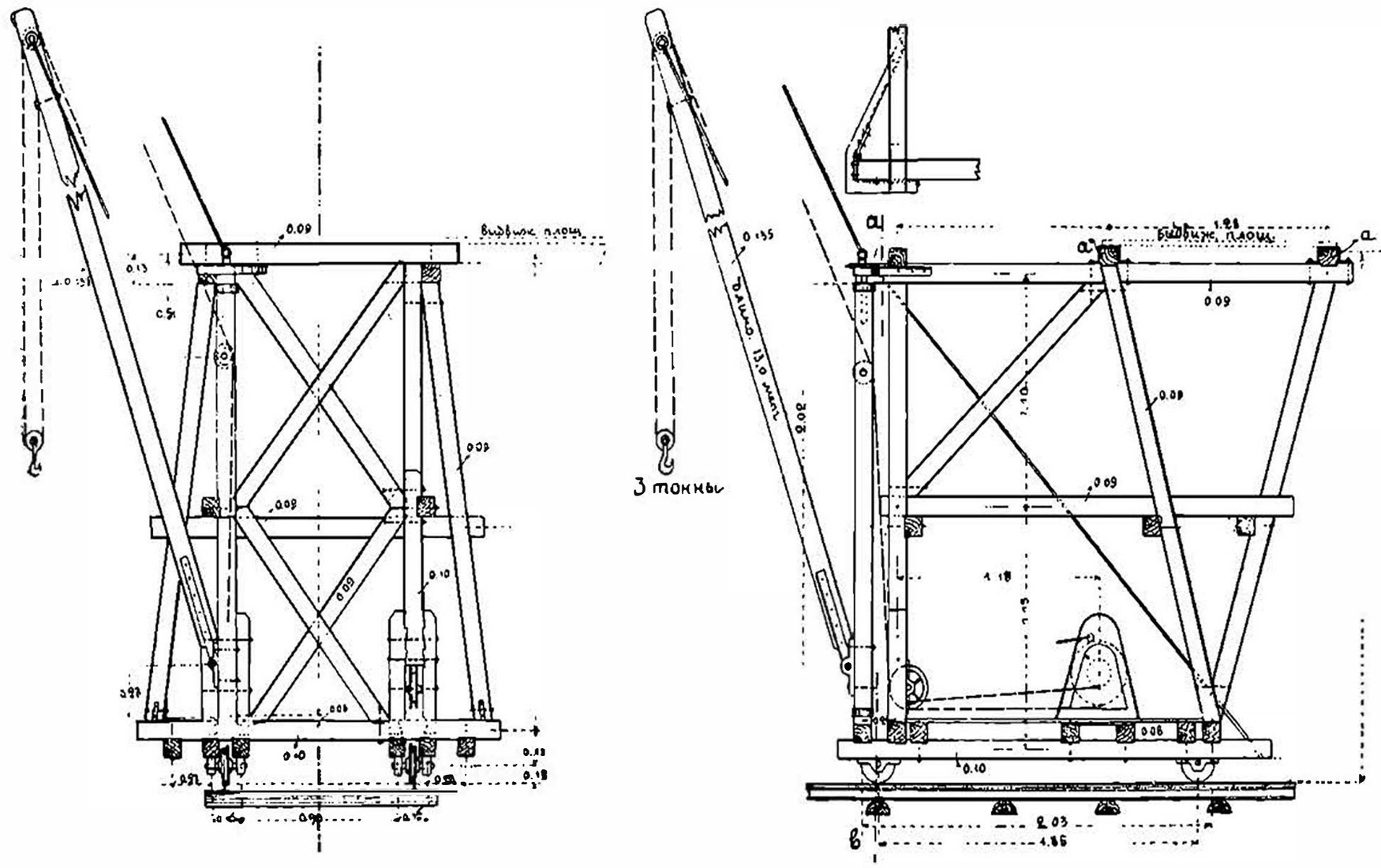


Рис. 173.

Во время сборки положение укосины часто изменяется, вследствие чего при случайных установках величина опрокидывающего момента может превзойти расчетную Qq; кроме того поднимаемые тяжести своим сотрясением повышают опрокидывающее действие момента; поэтому рекомендуют не полагаться исключительно на действие противовеса, а закреплять кран во время работы специальными захватами (рис. 173).

Ради успешности сборки сборочные краны снабжаются двумя укосинами, которыми обслуживаются одновременно обе фермы пролета (рис. 174). Смотря по предполагаемому ходу сборки, укосины помещаются: или на одной стороне станины крана, если сборку предполагают вести с конца на конец пролета, или на

НБ УДУНТ (ДІІТ)


выдвиж. площ.
0.09
0.13
0.10
0.09
0.09
0.10
0.09
0.10
0.10
0.10

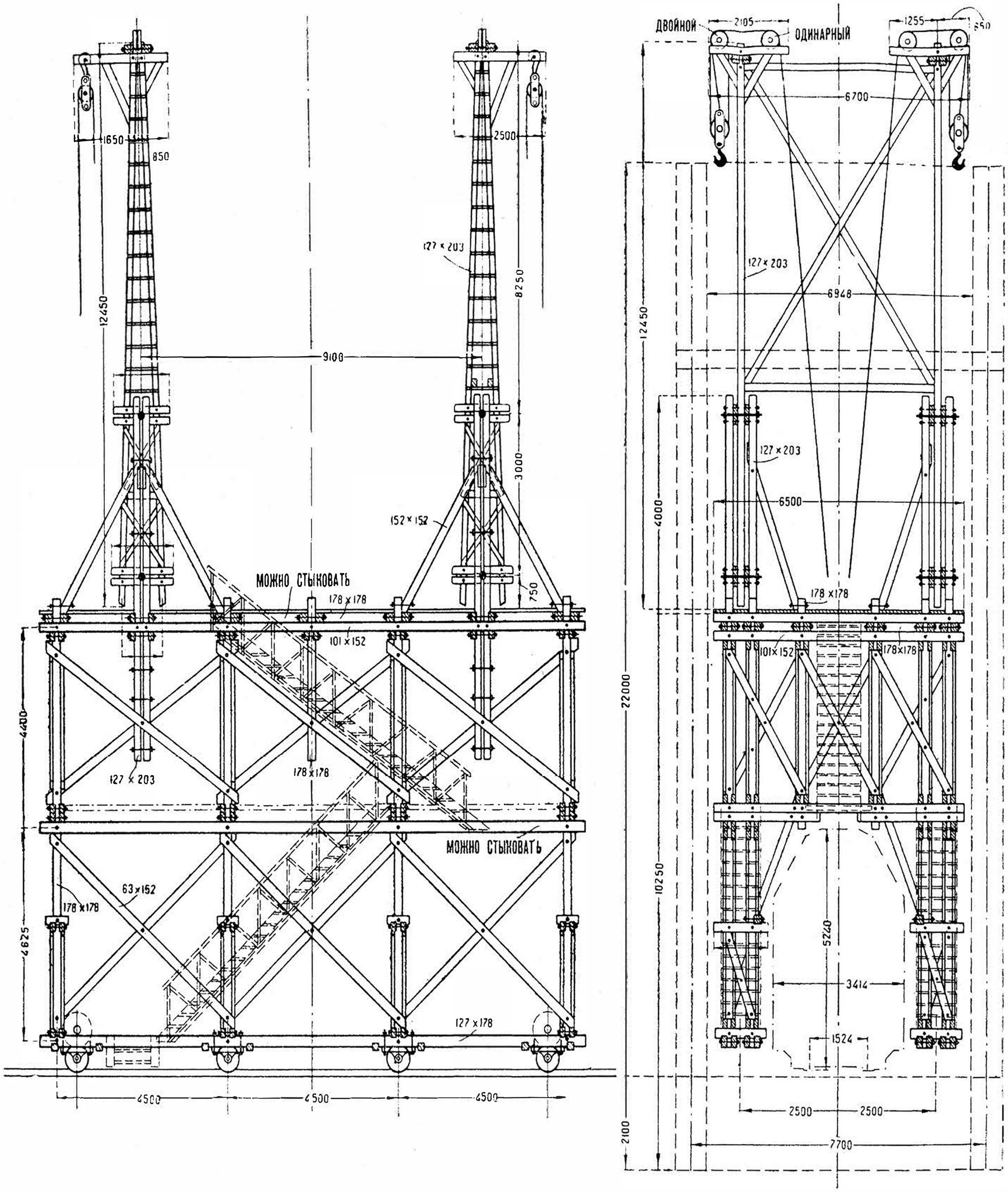


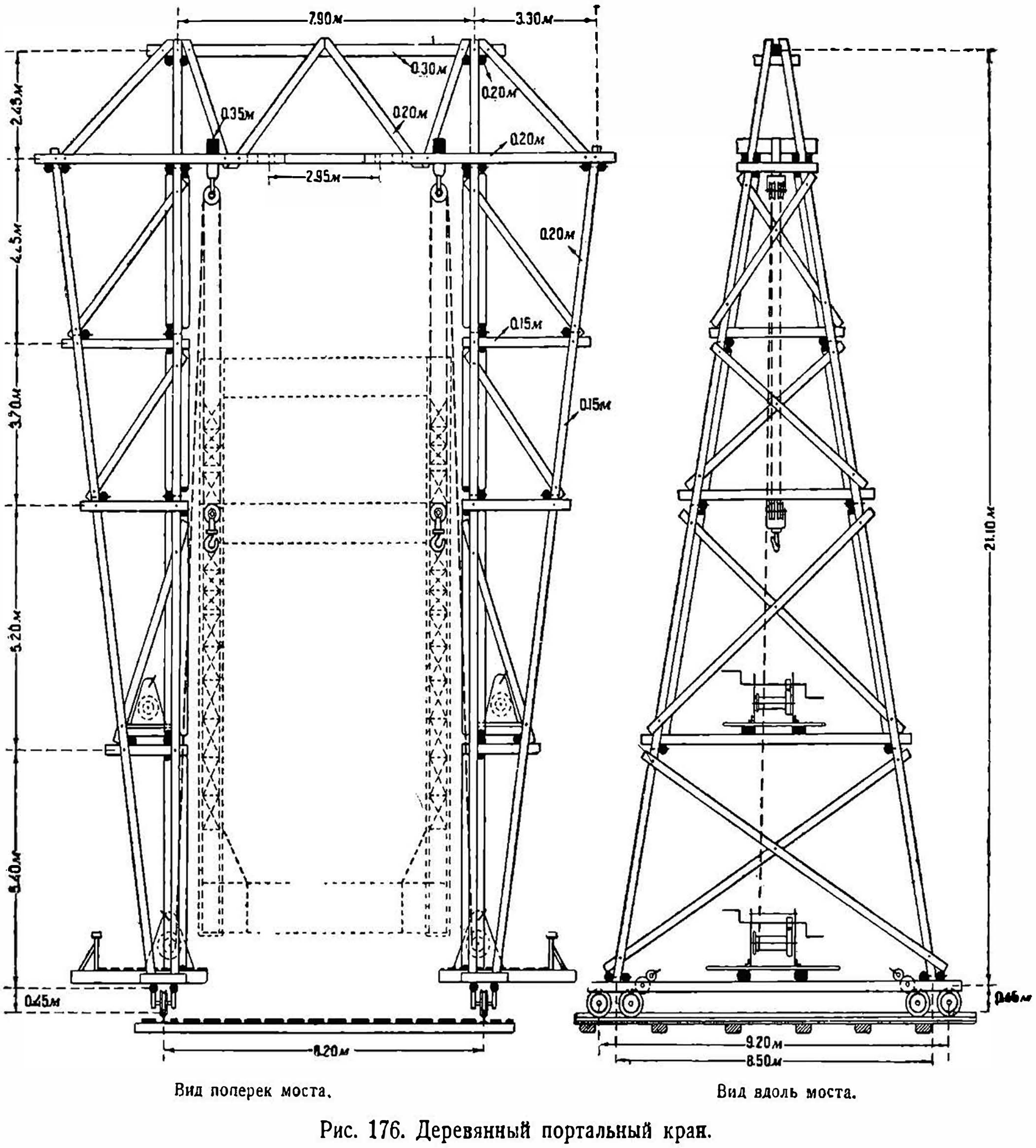
Рис. 169. Копровый кран с поворачивающимися стрелами.

Обработка, сборка установка металлических мостов.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

тягового усилия Q_1 и собственного веса G, который обычно невелик по сравнению с величинами Q и Q_1.

За границей уже давно, а в последнее время и у нас в Союзе начали применять для сборки нижней части пролетных строений (проезжая часть, нижние пояса) механизированные журавлевые краны (дерики). Наблюдения, произведенные нормативной станцией НКПС над работой такого крана при сборке пролетных



Вид поперек моста. Вид вдоль моста.

Рис. 176. Деревянный портальный кран.

строений на мосту через реку Сочи (1927 г.), показали, что расход на рабочую силу при работе этих кранов не менее как в 10 раз меньше, чем при ручных лебедках [1]).

В Америке встречаются журавлевые краны с подъемной силой до 50 *т*,

---

[1]) По этим наблюдениям на сборку нижних поясов паровым краном с подачей им же металла было израсходовано в среднем 1,1 человеко-часов на 1 *т*; на сборку же верхних поясов, производившуюся объемлющим краном с ручными лебедками, было израсходовано в среднем 19,4 человеко-часов на 1 *т*; в последней цифре надо учесть расход рабочей силы для подъемки в высоту.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

с высотой подъема до 30 *м* и с возможным выносом стрелы до 20 *м*. Чрезмерное увеличение подъемной силы увеличивает вес кранов и делает их неудобоподвижными. Обычно для сборки пролетных строений применяются подвижные краны с подъемной силой 10 — 15 *т*.

Объемлющие краны. Как показывает само название, краны этой системы объемлют собой собираемую конструкцию моста (рис. 175). По своему обычному виду они напоминают портальные краны, но превосходят их своими размерами. Они представляют собой жесткую раму, шарнирно укрепленную на концах ног, где помещаются колеса, имеющие движение по рельсовым путям, укладываемым на настиле подмостей.

В этих кранах подъемка грузов производится с верхней поперечной балки, которая в зависимости от величины предполагаемого к подъему груза усиливается в простейших случаях подкосами или шпренгельными устройствами, в больших же кранах проектируется в виде раскосных ферм.

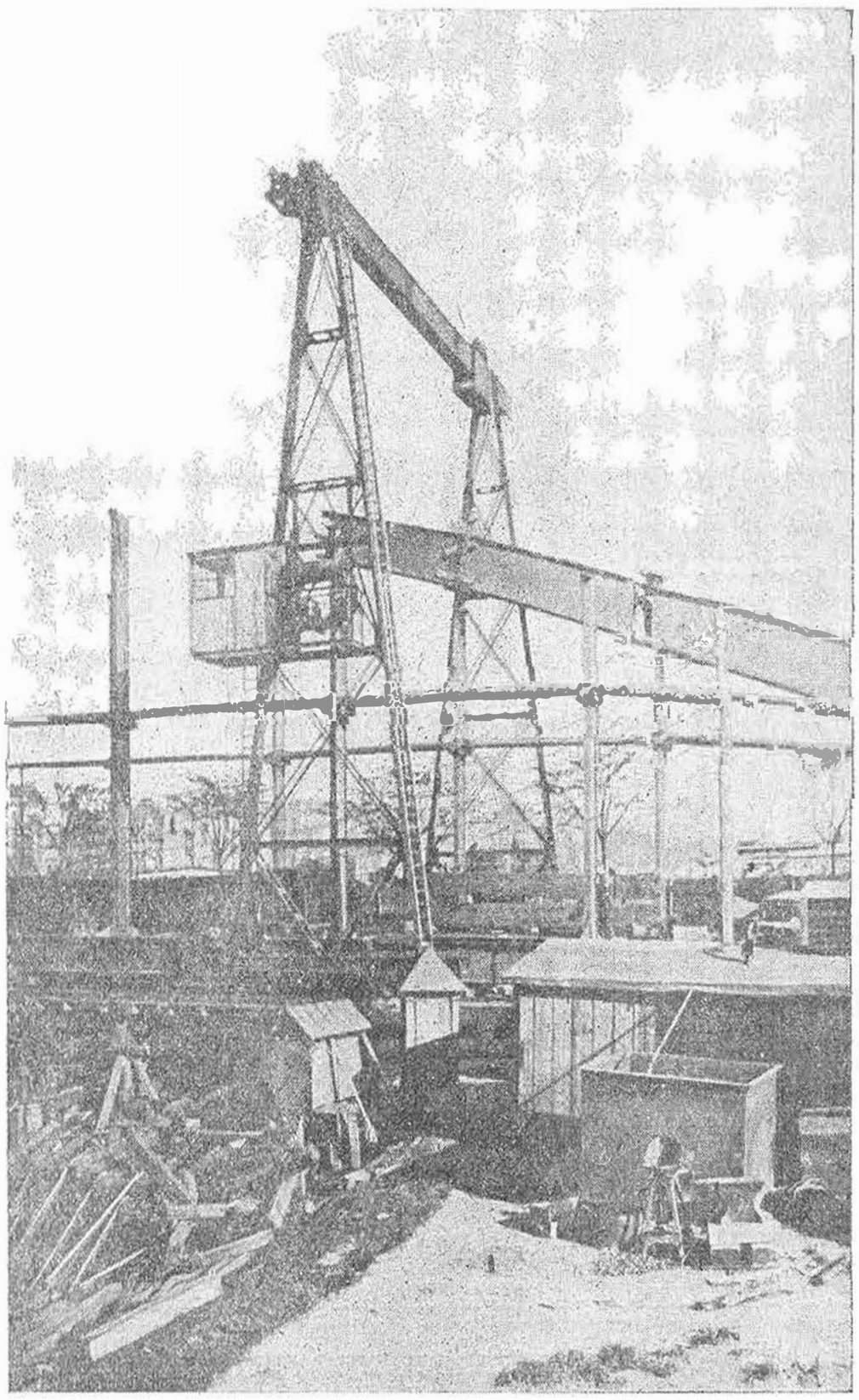


Рис. 177. Металлический портальный кран.

Ноги кранов имеют двойное назначение: поддерживать верхнюю часть крана, воспринимая от нее вертикальную нагрузку, и обеспечивать жесткость крана в поперечном направлении. Так как изгибающий момент возрастает к верхней части ног крана, то им обоим или одной из них придается очертание в виде треугольника, обращенного вершиной вниз и с основанием от 1/5 до 1/7 высоты ног (рис. 176 и 180).

Вопрос об устойчивости объемлющих кранов в поперечном направлении является наиболее острым. Небольшой сравнительно вес самих кранов при большой высоте их (более 20 *м*), сравнительно малой ширине между точками опоры (меньше 10 *м*) и при большой поверхности их, подвергающейся давлению ветра, не обеспечивает устойчивости их против опрокидывающего действия сильного ветра. Это обстоятельство заставляет прибегать к специальным устройствам, при помощи которых кран в любой момент может быть закреплен против падения.

В качестве одной из таких мер можно указать на устройство направляющих угольников. Эти угольники с полками от 12 до 15 *см* пришиваются к нижним обвязочным брусьям крана (рис. 178) и во время движения крана по подмостям проходят своей горизонтальной полкой под выступающими брусьями сборочных клеток. Положение этой полки определяется так, чтобы прозор между ней и брусьями не превосходил 2,5 — 3,5 *см* и мог бы быть в любой момент заполнен клинообразной прокладкой.

Рекомендуется также всегда иметь при кране канаты, один из концов кото-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

рых наглухо закреплен к ногам, а другой служит для расчаливания крана к собранной части пролетного строения или к подмостям.

Устойчивость объемлющих кранов вдоль моста обеспечивается увеличением их базы до требуемой расчетом ширины. В этом направлении очертание кранов делается или в виде трапеции (рис. 179) или в виде треугольника (рис. 177) с основанием не менее 1/3 высоты крана. Краны с трапецоидальным очертанием имеют то преимущество, что верхняя площадка их легче может быть использована для постановки передвижных тележек с подъемными приспособлениями, но зато эти краны значительно превосходят вес кранов

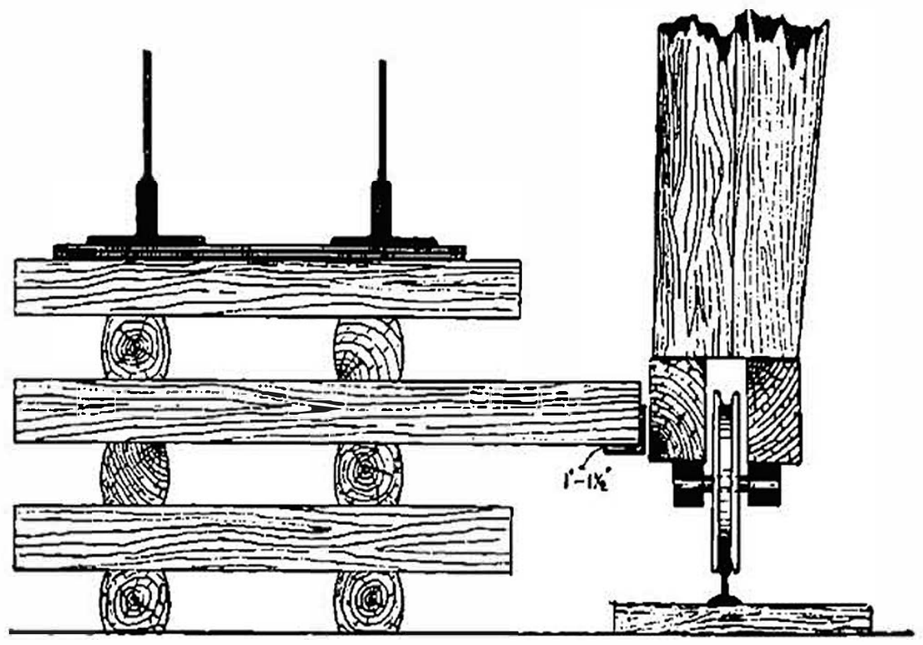
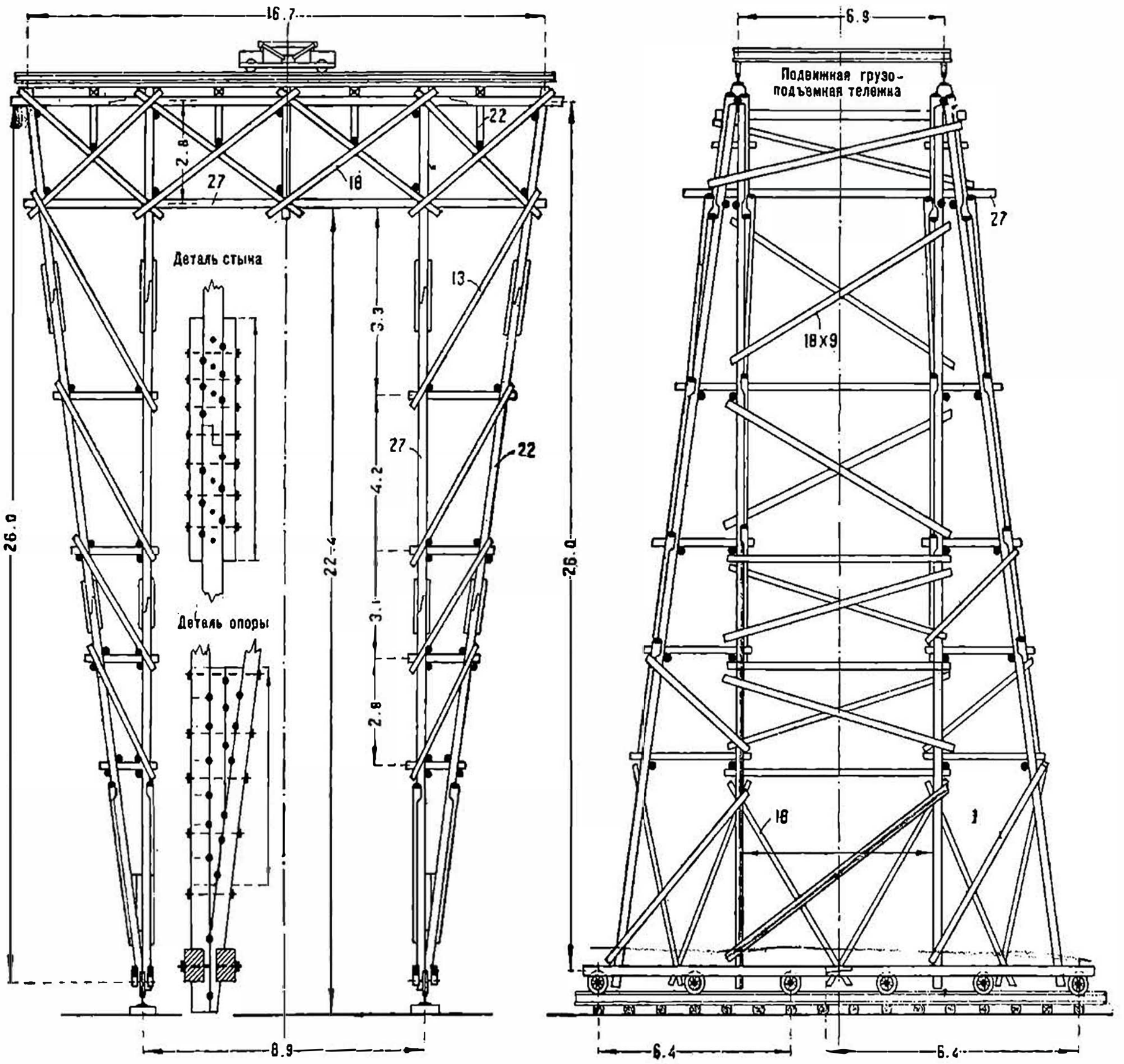


Рис. 178.



Вид поперек моста. Вид с фасада.

Рис. 179. Деревянный портальный кран с широкой рабочей площадкой наверху.

с треугольным очертанием и своим очертанием предоставляют большую площадь действию ветра, что неблагоприятно отзывается на устойчивости в направлении поперек моста.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Ноги объемлющих кранов используются для устройства на них площадок, облегчающих наволку и окончательную установку частей собираемого пролетного строения.

Для пемещения вдоль моста объемлющие краны устанавливаются на колеса. В целях лучшего распределения давления колеса целесообразнее располагать в виде спаренных тележек под ногами крана (рис. 176); при таком расположении колес лучше воспринимается перегрузка в давлении, возникающая при действии ветра вдоль моста. Колеса, расположенные на всей длине крана (рис. 179), не дают ясной картины распределения этого давления, причем колеса, расположенные в средней части, не работают на восприятие этого давления.

При конструировании колесных устройств объемлющих кранов следует предусматривать постановку тормозных устройств. Обладая большой поверхностью, объемлющие краны легко передвигаются по рельсам под давлением ветра. На работах Енисейского моста большой объемлющий кран, передвигавшийся при помощи

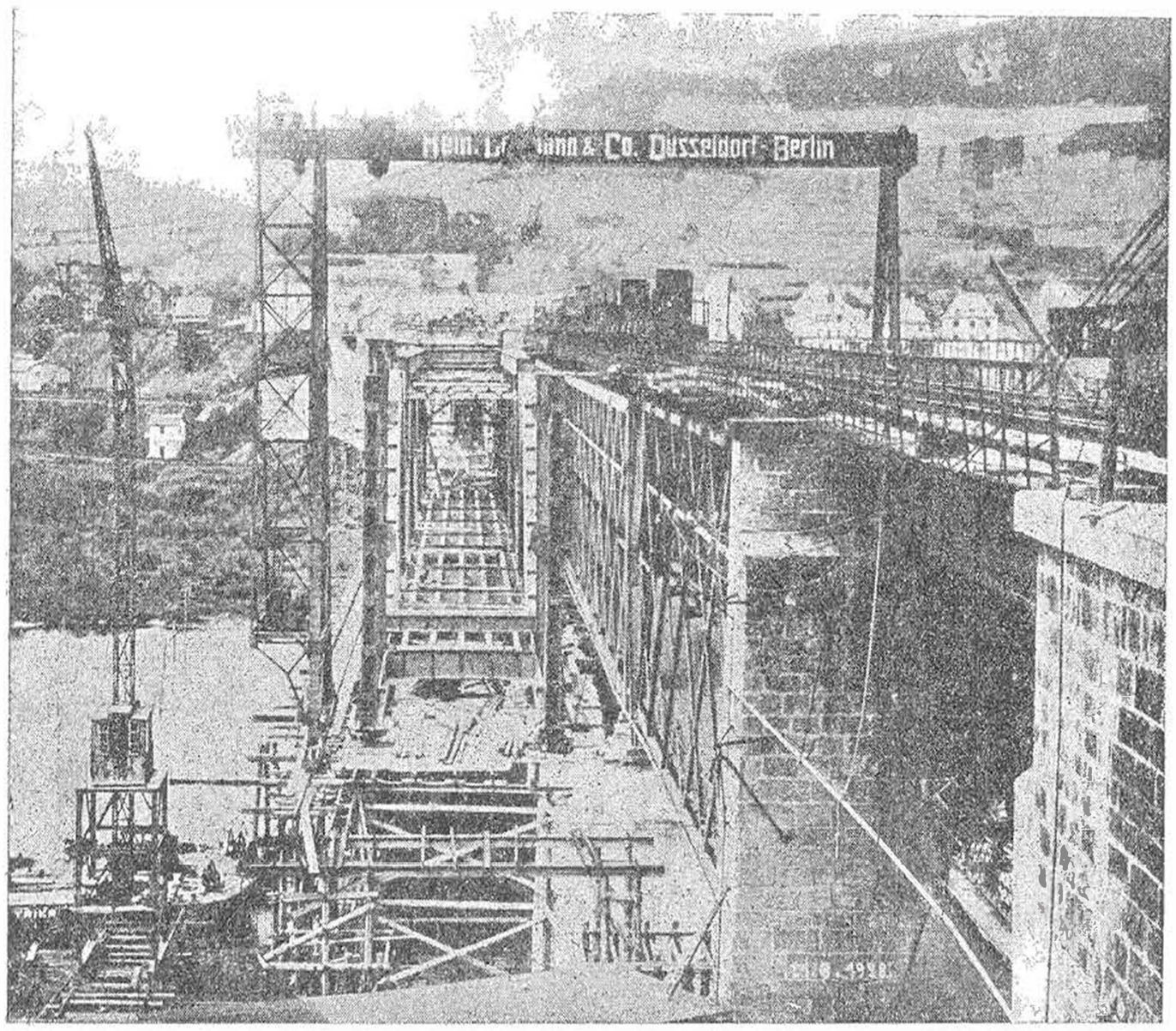


Рис. 180. Металлический портальный кран.

червячной передачи 18 рабочими, был сдвинут давлением ветра средней силы и прошел несколько саженей, пока не наткнулся на кучу щепок.

В противоположность копровым и журавлевым кранам объемлющие краны обусловливают подачу материала исключительно в пространстве внутри себя, т. е. между ногами. Обычно такая подача производится по пути, укладываемому по собранной проезжей части пролетного строения, удлиняемому по мере хода сборки. Если такая подача почему-либо невозможна или нецелесообразна по условиям расположения склада, то прибегают к уширению крана, отодвигая одну из ног крана настолько, чтобы между ней и собираемым пролетным строением проходила вагонетка. Такое устройство вызывает излишнее уширение настила подмостей.

У нас в Союзе до сих пор объемлющие краны, как правило, выполняются из дерева и обслуживают одну-две сборки моста. Подъемная сила их легко доводится до 6 — 8 *т*. В зависимости от размеров задаваемой предельной нагрузки, веса оборудования — вес самих кранов изменяется в пределах от 40 до 50 *т*. Опыт показывает, что такие краны высотой 20 — 25 *м* изготовляются в течение

НБ УДУНТ (ДІТ)

4 — 5 недель, разбираются в течение 1 — $1^1/_2$ недель [1]). В среднем в течение 8-часового рабочего дня, при благоприятной погоде на них можно делать 8 — 9 подъемов и установок.

В Западной Европе и Америке объемлющие краны очень часто делаются из металла — стали 3 (рис. 177 и 180). Преимущество металлических кранов заключается в большей устойчивости их, так как они представляют собой меньшую поверхность для давления ветра, чем деревянные, а также в том, что благодаря стойкости металла они с успехом могут быть использованы для ряда сборок, что вполне окупает несколько большую стоимость их.

На рис. 181 (см. вкл йку между стр. 152—153) показана конструкция металлического крана, примененного для сборки береговых частей консольного моста через р. Днепр у Волчьего Горла.

Для правильно организованного хозяйства по сборкам можно рекомендовать устройство разборных металлических кранов, высота ног которых могла бы изменяться в зависимости от высоты собираемого пролетного строения. Такое изменение высоты ног легко может быть осуществлено при помощи вставных секций в ногах крана, для чего последние в своей верхней части должны иметь очертание ферм с параллельными поясами (рис. 182). Для облегчения сборки и разборки таких кранов соединения между отдельными секциями и частями их делаются при помощи болтов, заменяющих собой заклепки, которые остаются в мостах и узлах, не подлежащих разборке [2]).

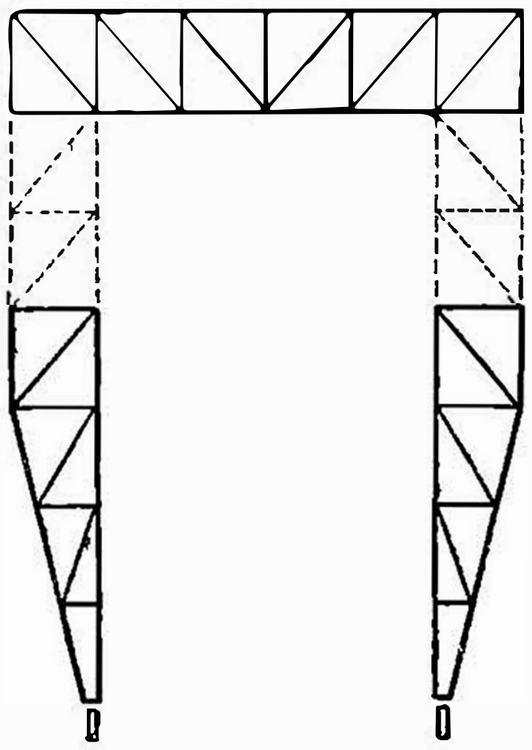


Рис. 182.

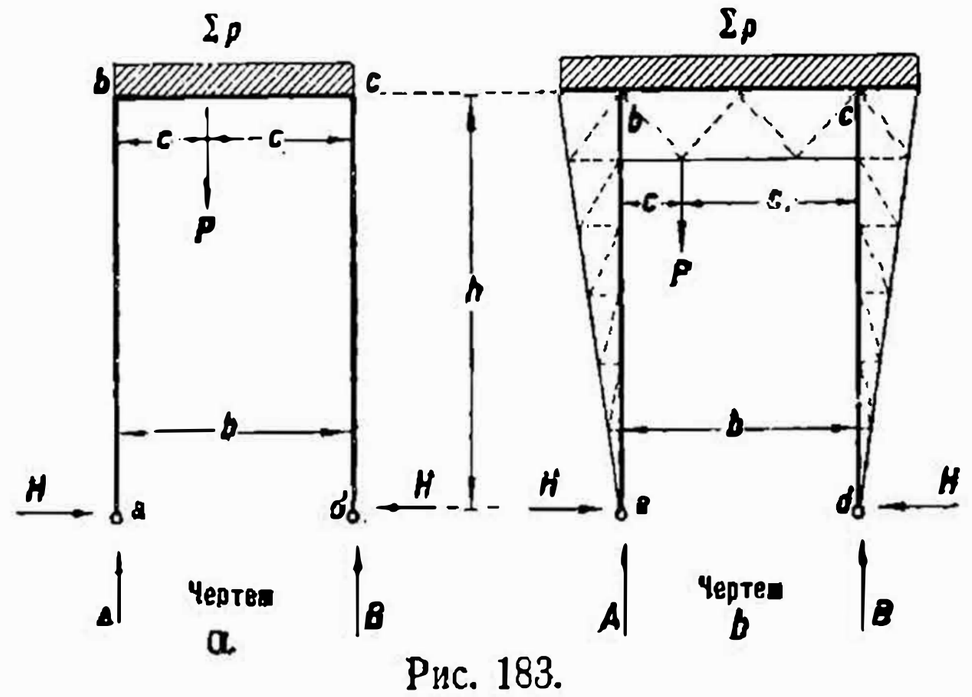


Рис. 183.

По теоретической схеме портальные краны рассматриваются как жесткие рамы с шарнирами в пятах, т. е. у места соприкасания колес с рельсами.

В условиях своей работы эти рамы находятся под действием вертикальных сил: собственного веса и веса поднимаемых грузов и горизонтальных сил — давления ветра поперек крана, т. е. поперек собираемой конструкции, а также вдоль нее.

Жесткая рама с шарнирами в пятах, как известно, статически неопределима относительно опорных реакций. Определение горизонтальных слагающих опорных реакций в таких рамах делается по общеизвестным формулам, которые в зависимости от схемы крана и вида загружения имеют следующие виды.

В кранах со сплошными сечениями поперечины ног, площади сечения которых и моменты инерции соответственно равны ω и ω_1, I и I_1, формулы, определяющие распор, будут:

а) При действии сплошной нагрузки p вдоль поперечины и сосредоточенного груза P на ней (рис. 183а)

---

[1]) На изготовление и сборку объемлющего крана на мосту через р. Сочи потребовалось 254 рабочих дня и на разборку его 59 рабочих дней (считая р бочий день 8 часов)

[2]) Такой кран был спро ктирован в дипломной работе студента МИИТ В. И. Прокофьева с расчетом на подъемную силу $2 \times 12{,}5 = 25\,m$ с изменением высоты от 15 до 25 *м*. Вес крана при полном оборудовании получился в 44 *m*, рассчитан был на передвижку усилием 6 рабочих, работающих на лебедках при давлении на него ветра в 100 *кг/м*^{2} вдоль моста.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

$$H=\frac{pb^3+6\,\Sigma\,Pcc_1}{12hb\left[1+\dfrac{2\,I\cdot h}{3\,I\cdot b}+\dfrac{I}{\omega h^2}\right]}. \qquad (12)$$

б) При действии сплошной горизонтальной нагрузки W, действующей вдоль обеих ног крана (рис. 184)

$$H_1=H_2=\Sigma\,W. \qquad (13)$$

в) При действии такой же нагрузки, действующей только вдоль одной из ног (рис. 184-в)

$$H_1=\frac{W\cdot h\left(6+11\dfrac{I}{I_1}\cdot\dfrac{h}{b}\right)}{24\left(1+\dfrac{2}{3}\dfrac{I}{I_1}\cdot\dfrac{h}{b}+\dfrac{I}{\omega\cdot h}\right.}; \qquad H_2=\Sigma\,W-H_1. \qquad (14)$$

В кранах со сквозными очертаниями поперечин и ног (рис. 183-в) величина распора при всех видах нагрузки определяется по формуле:

$$H=\frac{\sum\bar{N}\dfrac{Ns}{\omega}}{\sum\dfrac{\bar{N}^2}{\omega}s}, \qquad (15)$$

где N — усилия в элементах ферм от действительного загружения и $\bar{N}$ — усилия в них же от единичной силы, приложенной по направлению распора, определенные как в статически определенной системе; ω и s соответственно площадь сечения и длина каждого элемента фермы.

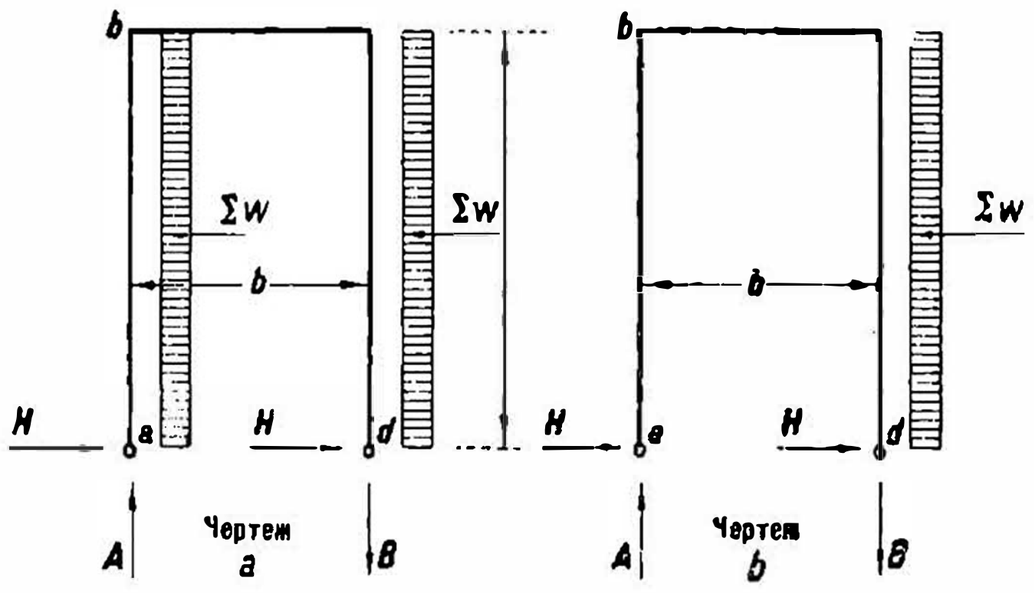


Рис. 184.

Вертикальные опорные реакции для обоего вида рам и для всех видов нагрузки определяются как для балок и ферм, лежащих на двух опорах.

Расчет по всем этим формулам невозможен без знания поперечных сечений частей крана, которые сами зависят от величины распора. Для выявления размеров поперечных сечений необходимо предварительное определение распора, которое можно сделать по упрощенным формулам. Задаваясь по существующим кранам отношением $I:I_1=k$ [1]) и пренебрегая влиянием члена $I:\omega h^2$, получим для определения величины распора формулы:

$$H_p=-\frac{p\cdot b^3+6\Sigma P\cdot c\cdot c_1}{12h\cdot b\left(1+\dfrac{2}{3}\dfrac{h}{b}k\right)}; \qquad H_w=\frac{W\cdot h\left(6+11\dfrac{h}{b}k\right)}{24\left(1+\dfrac{2k}{3}\dfrac{h}{b}\right)}. \qquad (16)$$

[1]) Для первого приближения можно принимать $I:I_1=1$ с тем, что оно будет исправлено последующим расчетом.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Этими же формулами можно воспользоваться для предварительного определения распора в сквозных кранах, принимая для ног и поперечной распорки $I = \omega, \cdot a^2$, где a — соответственно средняя высота между центрами поясов распорки и ног.

Ветер, действующий на объемлющий кран в долевом направлении, воспринимается связями, устраиваемыми в вертикальных плоскостях ног крана. Эти связи рассматриваются как фермы, заделанные одним концом; при этом диагонали в них делаются перекрестными и рассматриваются как работающие только на растяжение.

Расчетные нагрузки в кранах. Вертикальная нагрузка в кранах слагается из задаваемой определенной величины поднимаемого груза и собственного веса.

В консольных и журавлевых кранах влияние веса на размер стрелы и тяг невелико, и им можно пренебречь.

В объемлющих кранах это влияние больше, но первенствующее значение в определении размеров имеет рабочая нагрузка. Предварительное определение веса этих кранов приходится делать по соображению с существующими конструкциями.

Горизонтальная нагрузка в виде давления ветра определяется по величине давления его на кран в рабочем и нерабочем состоянии.

Нельзя допускать работы кранов при сильном ветре, а потому давление ветра на кран в рабочем состоянии следует принимать сниженным. Давление ветра на кран в нерабочем состоянии можно рассматривать в тех же условиях, как и давление его на подмости.

Поверхность крана, воспринимающую давление ветра, следует считать условно по контуру его очертания, и так как в сквозных кранах всегда имеется густое заполнение его решеткой и настилами, то поверхность F, подвергающуюся действию ветра, следует принимать не менее как $F = 0{,}6\ W$, где W площадь очертания крана.

Ввиду того, что во время работы краны испытывают сотрясения, не следует при расчете прочности частей допускать высоких напряжений.

Какой бы системы ни были краны, успешность работы их существенно зависит от механизации их работы. Обслуживание крана электрическими или паровыми лебедками значительно ускоряет процесс самой подъемки и установки по сравнению с работой на ручных лебедках. Точно так же применение для передвигания кранов-полиспастов с лебедками связано с бесполезной затратой времени на перестановку и закрепление канатов и пр. С большей производительностью работают краны, в которых колеса приводятся в движение при помощи зубчатой или червячной передачи, благодаря чему они могут быть передвигаемы по пролету в любое время.

Вопрос о лучшей механизации существенно связан с переходом от кустарного способа производства работ к централизованному с хорошим постоянным оборудованием. Имеются данные о том, что за границей некоторые организации по внешним сборкам имеют металлические механизированные краны, работающие по 20 лет.

Сборка на подмостях.

§ 22. Общие соображения. Сборка ферм на месте установки их при помощи подмостей наиболее распространена, в особенности у нас в Союзе, что объясняется равнинным характером самой страны с тихо протекающими реками по руслам из суглинка и глины. Широкое применение этого вида сборки объясняется простотой и безопасностью производства работы. Кроме того при работе на подмостях можно быть уверенным за сохранение во время сборки правильного очертания ферм, можно достигнуть более правильного натяжения отдельных элементов фермы, особенно раскосов. Самая установка пролетных строений, заключающаяся только в опускании их с клеток на опоры, устраняет возможность излишнего перенапряжения отдельных частей в них. Наконец стоимость производства работы этим способом при условии правильно выбранной и разработанной конструкции подмостей в большинстве случаев оказывается наиболее дешевой.

Однако, несмотря на все эти видимые преимущества сборки на подмостях, она

НБ УДУНТ (ДІІТ)

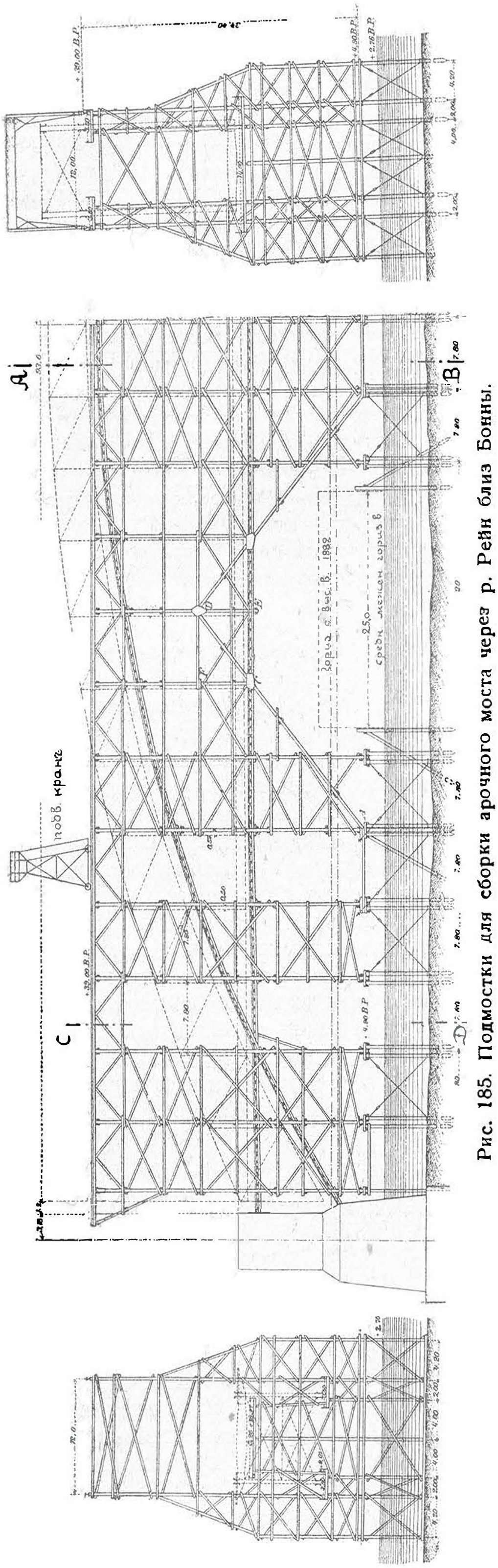


Рис. 185. Подмостки для сборки арочного моста через р. Рейн близ Бонны.

далеко не всегда может быть применена и выбрана как наивыгоднейшая. Препятствием к применению ее служат:

1) Невозможность постановки подмостей по местным условиям реки, как например при скалистом дне, большой глубине рек, быстром течении и т. п.

2) Стоимость устройства подмостей при большой высоте их над водой или оврагом, являющаяся значительным накладным расходом для всей стоимости работы.

Подмости, служащие для сборки, разделяются на основные или нижние подмости, которые служат для поддержания всего пролетного строения пока его части не будут приведены во взаимную связь настолько, что будут в состоянии поддерживать сами себя, и на верхние подмости, которые служат только для производства сборки и клепки и по мере хода работ могут быть разбираемы.

Нижние подмости ферм по характеру своей конструкции могут быть подразделены на:

1. Простые подмости, состоящие из стоек, подкосов и балок, приведенных во взаимную связь по типу обычному для деревянных сооружений, причем расстояния между основными стойками ферм не превосходят 8 *м*.

2) Подмости-фермы, т. е. подмости, в состав которых входят фермы больших пролетов, необходимые для оставления в подмостях более или менее широких отверстий для пропуска судов, плотов и пр. В частных случаях эти фермы подмостей могут перекрывать весь пролет, опираясь на опоры сооружаемого постоянного моста.

§ 23. Простые сборочные подмости. Подмости кроме назначения служить для поддержания частей ферм в

НБ УДУНТ (ДІІТ)

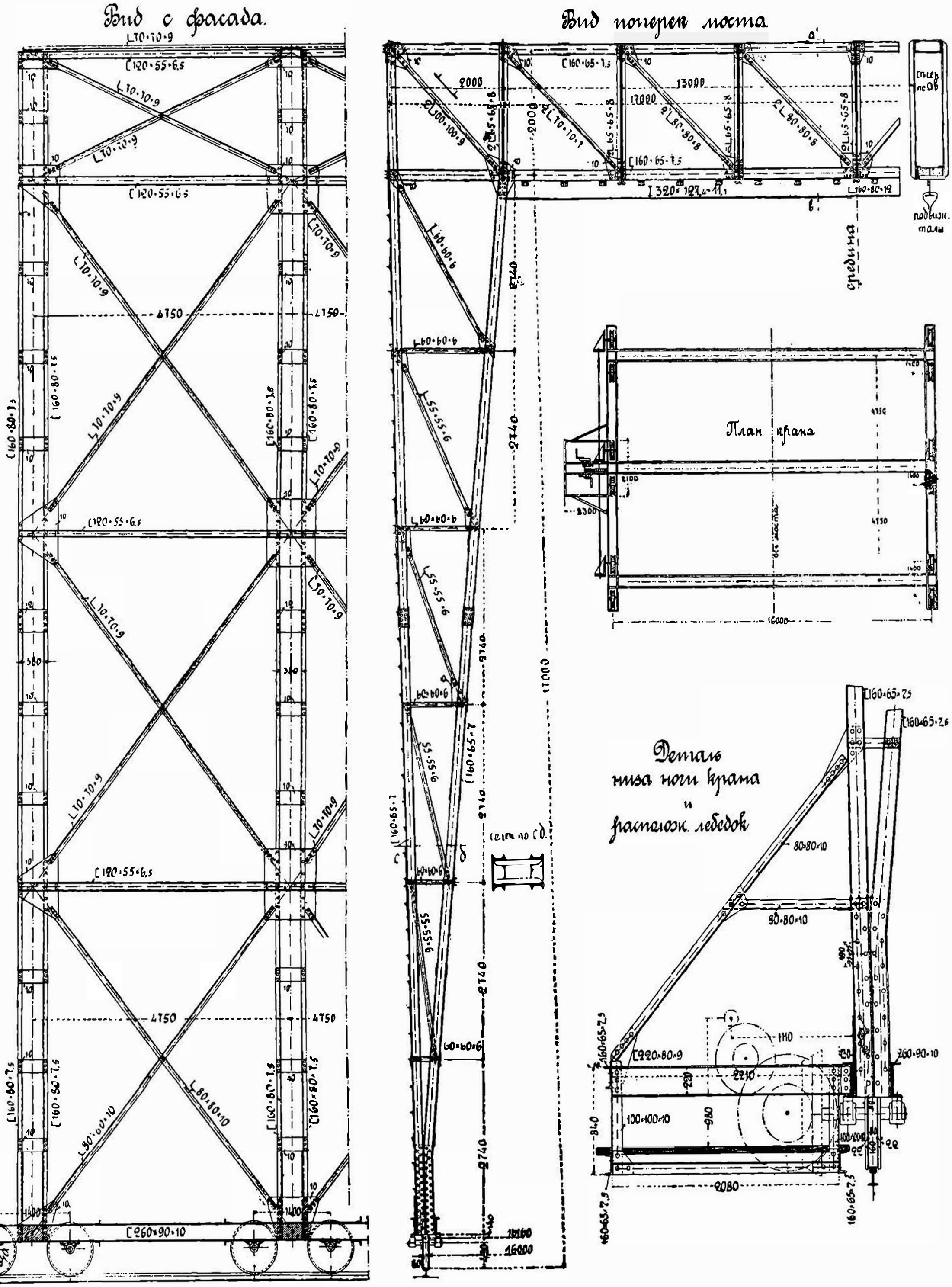


Рис. 181. Металлический портальный кран для сборки кичкасского моста через р. Днепр.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

известном положении до приведения их во взаимную связь служат также для производства сборки ферм. Ввиду этого они должны обеспечивать свободное пространство для производства работы, для помещения необходимых для этого приспособлений, инструмента и пр. и быть достаточно прочными, чтобы нести на себе нагрузку как от веса самих ферм, так и вспомогательных приспособлений, сохраняя вместе с тем устойчивое положение против разного рода динамического действия сил в виде ударов при сборке, сотрясений, бокового действия ветра и т. д.

Для производства работ по сборке на подмостях устраивается настил, служащий для склада частей ферм, инструмента, размещения рабочих и пр. Настил устраивается вдоль всего пролета; ширина его определяется в зависимости от ширины моста с таким расчетом, чтобы обеспечить свободу работе и подаче материала; в малых мостах, где не предвидится подачи с бока пролетного строения больших частей, а именно в фермах пролетом до 30 *м*, ширина настила делается равной ширине пролетного строения $+2\times0{,}80$ *м*, в мостах больших пролетов ширина настила делается не менее ширины пролетного строения $+2\times1{,}25$ *м*.

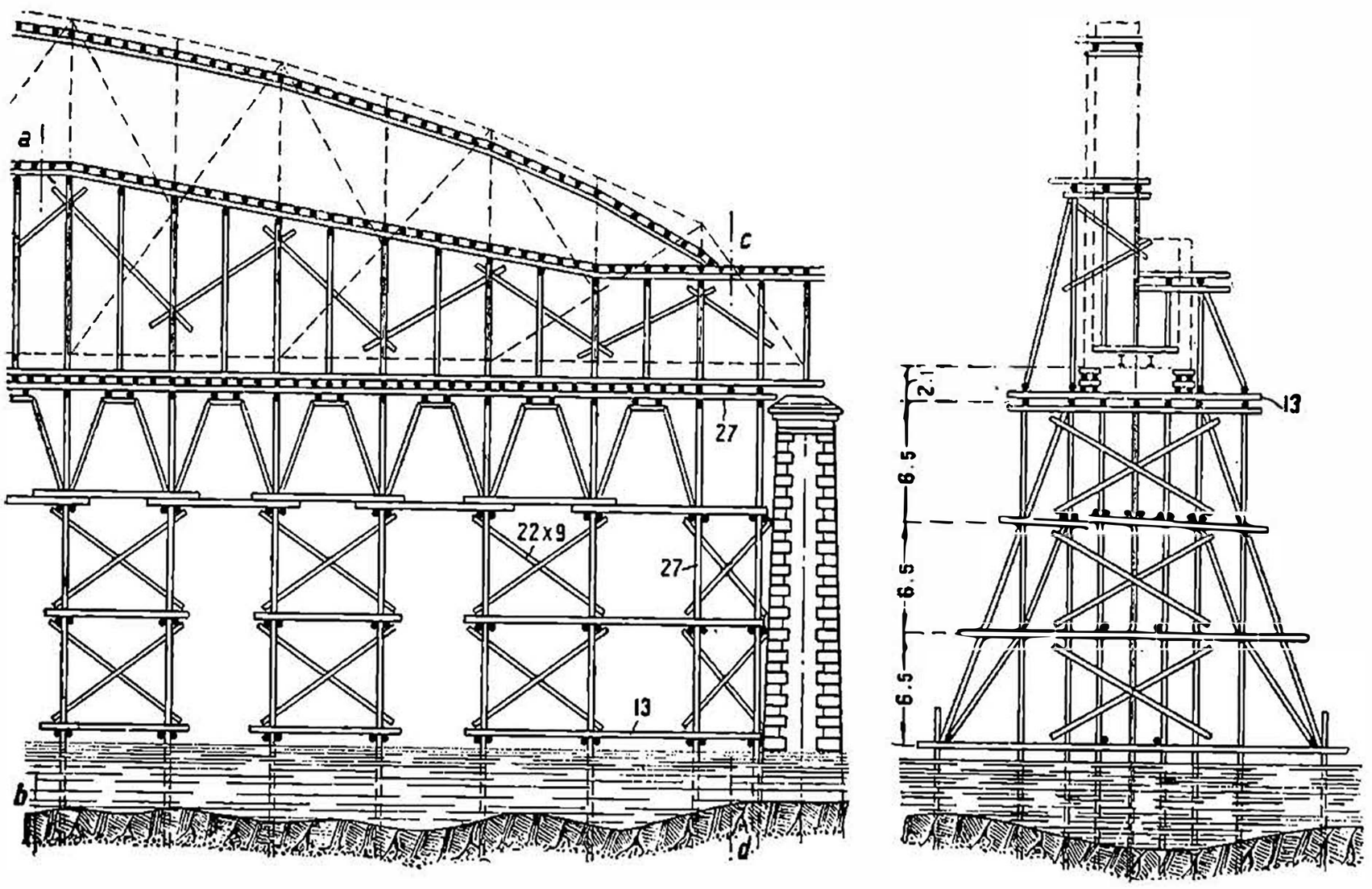


Рис. 186. Подмости для сборки пролетного строения через р. Вятку (126 *м*).

Настил подмостей состоит из накатника, укладываемого по прогонам подмостей и покрываемого досками. Настил подмостей не несет большой нагрузки от пролетного строения, которое, будучи установлено на клетки, передает давление при посредстве последних на подмости. Однако во время хода сборки весь настил подвергается частым ударам от разгрузки, подачи и переворачивания тяжелых частей, ввиду чего доски настила делаются толщиной ~ 4 *см*, и накатник настила из леса — диаметром 14 — 18 *см*, укладываемого на расстоянии от 0,8 *м* до 1,0 *м*, чем предупреждается возможность пролома досок при резких ударах. Доски настилаются возможно плотнее в предупреждение провала падающего инструмента, заклепок и, в особенности, горячих заклепок, могущих вызвать загорание подмостей.

Если по ходу сборки предполагается сосредоточение работы в нескольких плоскостях по высоте пролетного строения, то во всех этих плоскостях делается настил, ширина которого изменяется в зависимости от ширины собираемой в этой плоскости части конструкций с соответствующим запасом от 0,5 до 1,00 *м* для склада инструмента, помещения рабочих и пр. Так, например, в арочных мостах и балочных с криволинейным очертанием обоих поясов настил делается в плоскости очертания ферм и плоскости проезжей части (рис. 185).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Подмости по своей конструкции делаются возможно проще; они состоят из отдельных поперечных рядов свай, перекрытых продольными прогонами и приведенных во взаимную связь рядом схваток и крестов.

Так как основную нагрузку подмостей составляет вес собираемых конструкций, передаваемый на подмости через сборочные клетки и домкраты, располагаемые в узлах нижнего пояса, то поперечные ряды подмостей располагаются соответственно узлам ферм, чем устраняется излишняя перегрузка прогонов подмостей. При этом условии расстояние между отдельными поперечными рядами свай подмостей соответствует длине панелей. Пока расстояние между поперечными рядами не превосходит 3 *м*, продольные прогоны подмостей могут быть выполнены из неусиленных балок круглого леса; при большом расстоянии размеры балок становятся велики, и прогоны усиливаются постановкой подкосов с ригелями (рис. 186) или с подбалками.

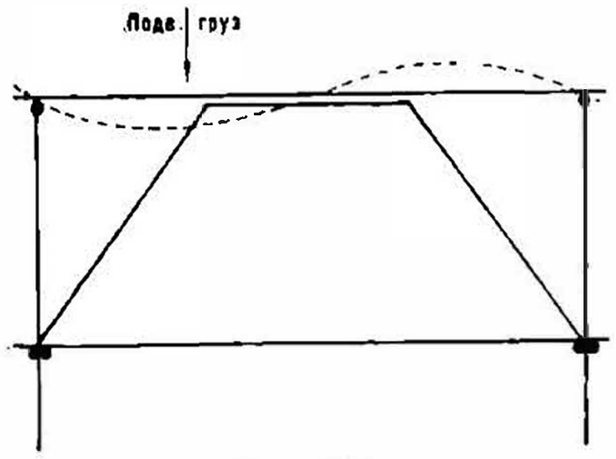


Рис. 187.

Подкосно-ригельная система имеет недостатком неравномерную одностороннюю просадку, появляющуюся под давлением подвижного груза, как это бывает, например при движении объемлющего крана. Одностороннее загружение этой системы вызывает просадку одного конца ригеля и поднятие другого (рис. 187), вследствие чего подкос стремится выпасть. Этот недостаток приходится устранять соответствующим соединением подкосов с ригелем или с балкой, обеспечивающим передачу как сжимающих, так и растягивающих усилий; ввиду этого вообще рациональнее применение подкосной системы без ригелей.

Повышение сопротивления прогонов делается также укладкой двойных прогонов, связанных между собой шпонками и болтами. Такая конструкция балок требует

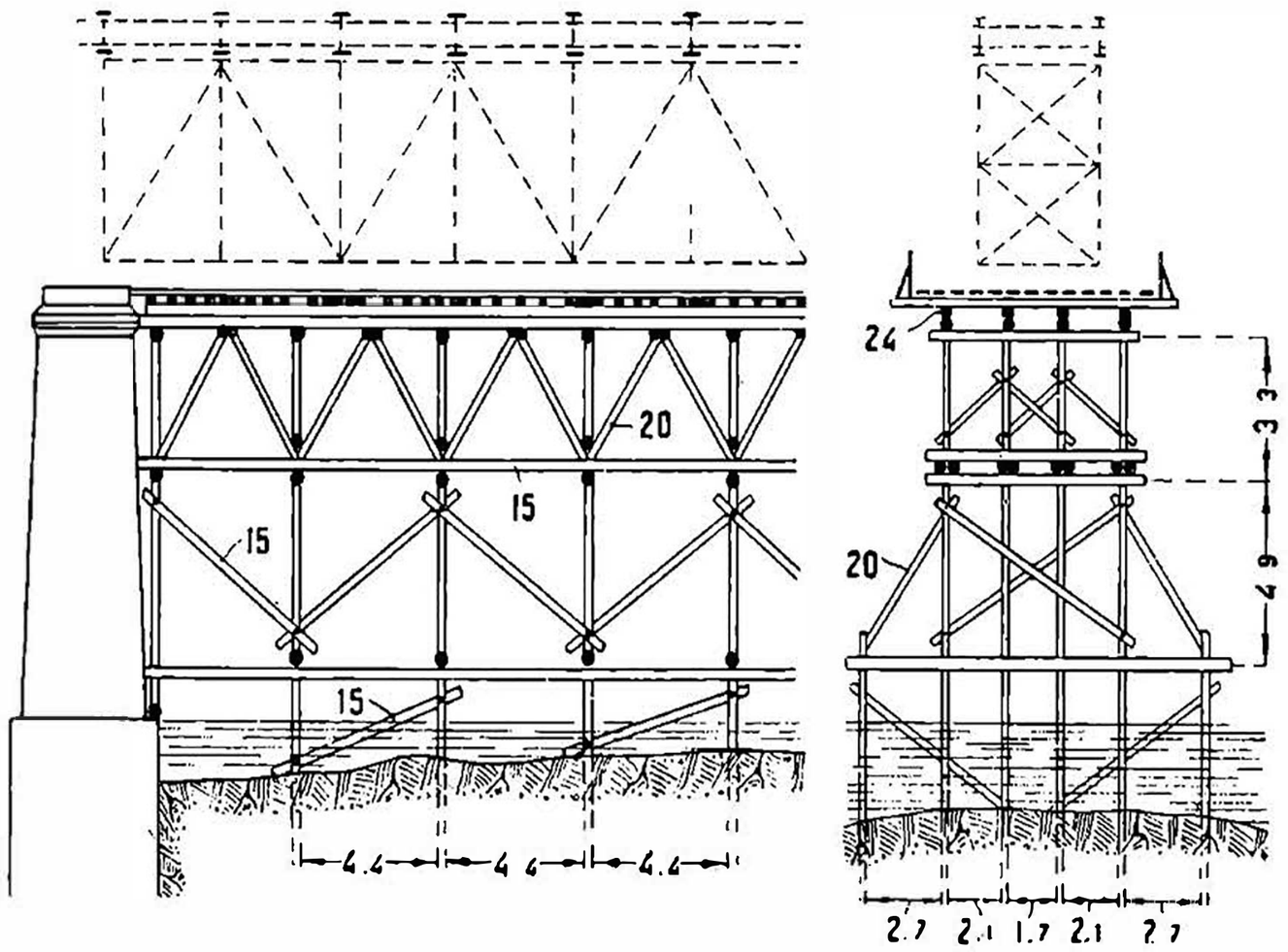


Рис. 188. Подмости для сборки пролетного строения на мосту через р. Москву.

тщательной работы, чего вряд ли можно ожидать при той спешности работы, с которой возводятся сборочные подмости; кроме того такие прогоны без надлежащего укрепления легко могут быть сдвинуты на бок и опрокинуты во время подбивки клеток, просадки подмостей и т. п.; поэтому обычно избегают устройства двойных прогонов и заменяют их укладкой двух прогонов рядом друг с другом, поступаясь для достижения той же прочности размерами лесного материала, но удешевляя стоимость работы и не обесценивая леса рядом врубок.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

В направлении поперек оси моста каждый из поперечных рядов подмостей состоит из ряда стоек, число которых определяется в зависимости от передаваемой на них нагрузки. Стойки поперечных рядов группируются непосредственно под местами наибольших нагрузок, т. е. под фермами пролетного строения и под путями, служащими для движения кранов.

Сборочные подмости кроме действия вертикальной нагрузки подвергаются давлению ветра, действующего как на самые подмости, так и на собираемую конструкцию, которая клетками непосредственно связана с подмостями. При действии ветра вдоль моста устойчивость подмостей обеспечивается их собственной жесткостью, при действии же ветра поперек моста устойчивость подмостей обеспечивается частью постановкой подкосов, частью приведением подмостей в жесткую систему постановкой диагоналей; как в том, так и в другом случае прочность подмостей определяется в предположении, что подкосы и диагональные кресты работают только на сжатие.

Подкосы упираются нижним концом в специальную откосную сваю. Обыкновенно угол наклона подкоса изменяется в пределах от 35° до 55°. Соблюдение последнего условия в подмостях с большой высотой вызывает чрезмерное уширение их. Во избежание уширения прибегают к увеличению жесткости подмостей путем постановки нескольких подкосов (рис. 186), доводя угол наклона крайнего подкоса до 70°, или же сохраняя угол наклона подкоса в указанных выше пределах, делают подкосы не во всю высоту подмостей, для чего упирают их или верхним концом в ряд промежуточных схваток (рис. 188) или нижним концом — в специальную высокую сваю (рис. 189). Как в том, так и в другом случае остающиеся неукрепленные подкосом части подмостей приводятся в жесткую систему постановкой диагоналей и крестов. Допускают также расчаливание высоких подмостей тросами или канатами (рис. 189).

На рис. 190 и 191 показаны подмости, в которых подкосные сваи заменены наклонной забивкой основных свай с приведением их в жесткую систему постановкой ряда схваток и диагоналей. Устойчивость подмостей повышается при этом сопротивлением откоса выдергивающим усилиям. Расчет прочности такого сооружения может

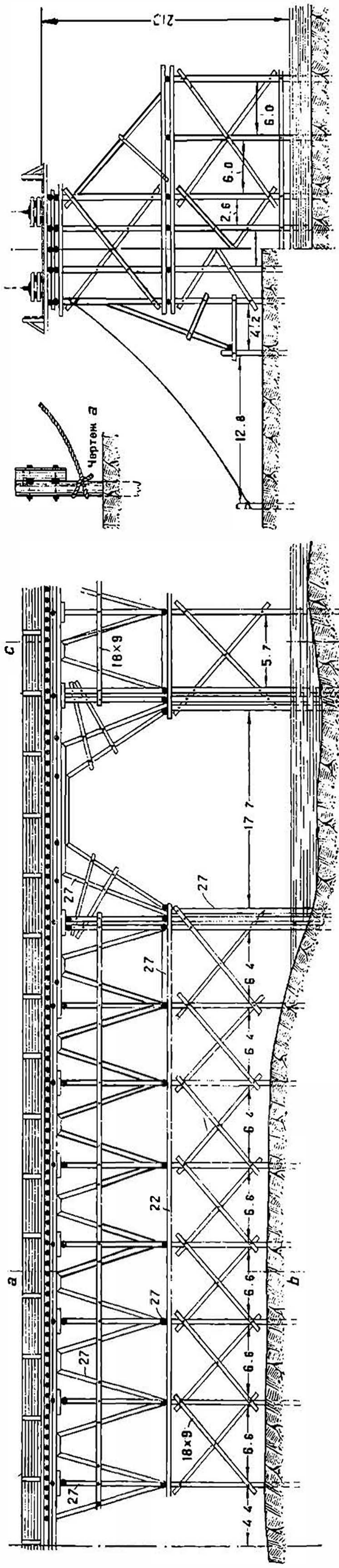


Рис. 189. Подмости для сборки пролетных строений через р. Оку.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

быть сделан в предположении, что вся система представляет собой как бы вертикально стоящую ферму, закрепленную нижним концом и подверженную ряду горизонтальных сил. Правильность передачи усилий в них должна быть обеспечена надлежащим устройством врубок.

В высоких подмостях стойки и подкосы образуются путем наращивания, которое производится или сращиванием отдельных дерев или устройством рамных соединений.

Если сращивание стоек и подкосов всего ряда производится на одном уровне, то дерева прирубаются в полдерева (рис. 192-a) и обжимаются схватками. При расположении стыков в различных плоскостях сращивание делается постановкой накладок металлических (рис. 192-c) или деревянных (рис. 192-d).

Соединение рамами делается наложением обвязочных брусьев один на другой и скреплением их между собой вертикальными схватками (рис. 192-e). В высоких подмостях

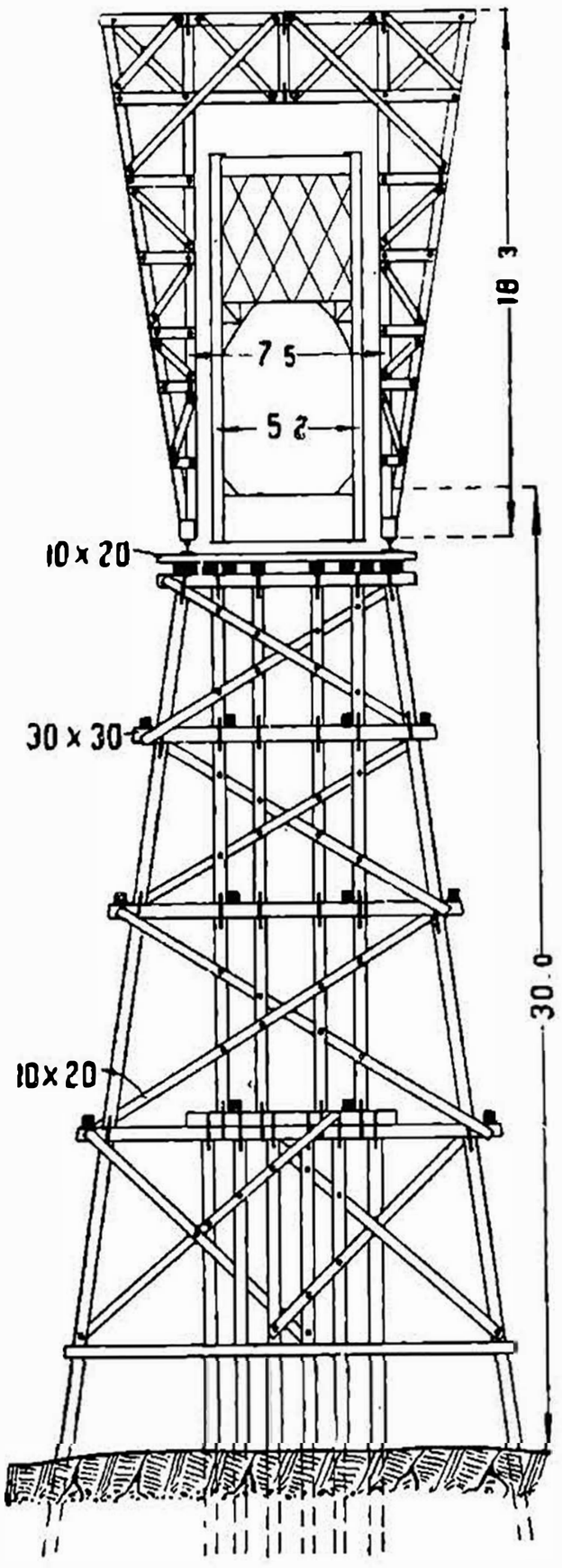


Рис. 190. Подмости для сборки пролетных строений моста Бенвуден (Америка).

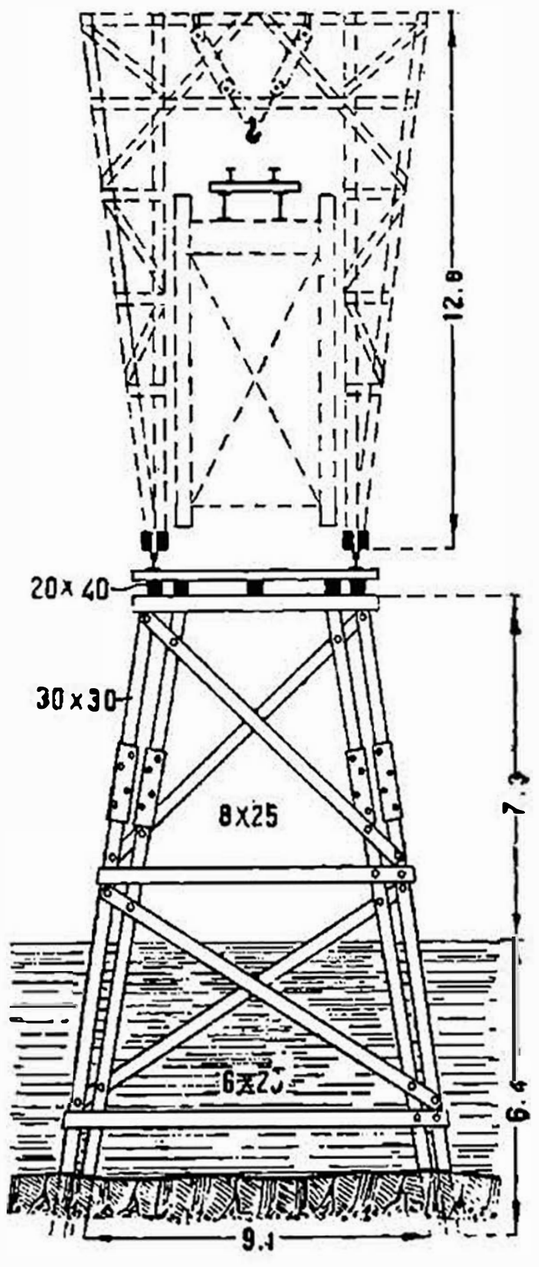


Рис. 191.

часто верхние рамы устанавливаются на нижние с перекрытием последних продольными брусьями (рис. 192-*f*, 189).

Первый вид соединений путем сращивания образует одно целое по всей высоте и отличается сложностью врубок и соединений, раз пригнанные стыки стоек при новой установке уже должны связывать определенные части, что, конечно, усложняет разборку подмостей и сборку.

Рамный тип подмостей хотя и требует несколько большего количества лесного материала, что объясняется необходимостью обеспечить их жесткость, но отличается простотой врубок. Сами рамы, имея определенную высоту, могут быть установлены на любой высоте и на любом основании, причем сборка, установка и разборка их

НБ УДУНТ (ДІІТ)

отличаются крайней простотой; поэтому в тех случаях, где предполагается использовать материал для сборки нескольких пролетов с наименьшей утерей материала, следует предпочесть рамный тип наращивания.

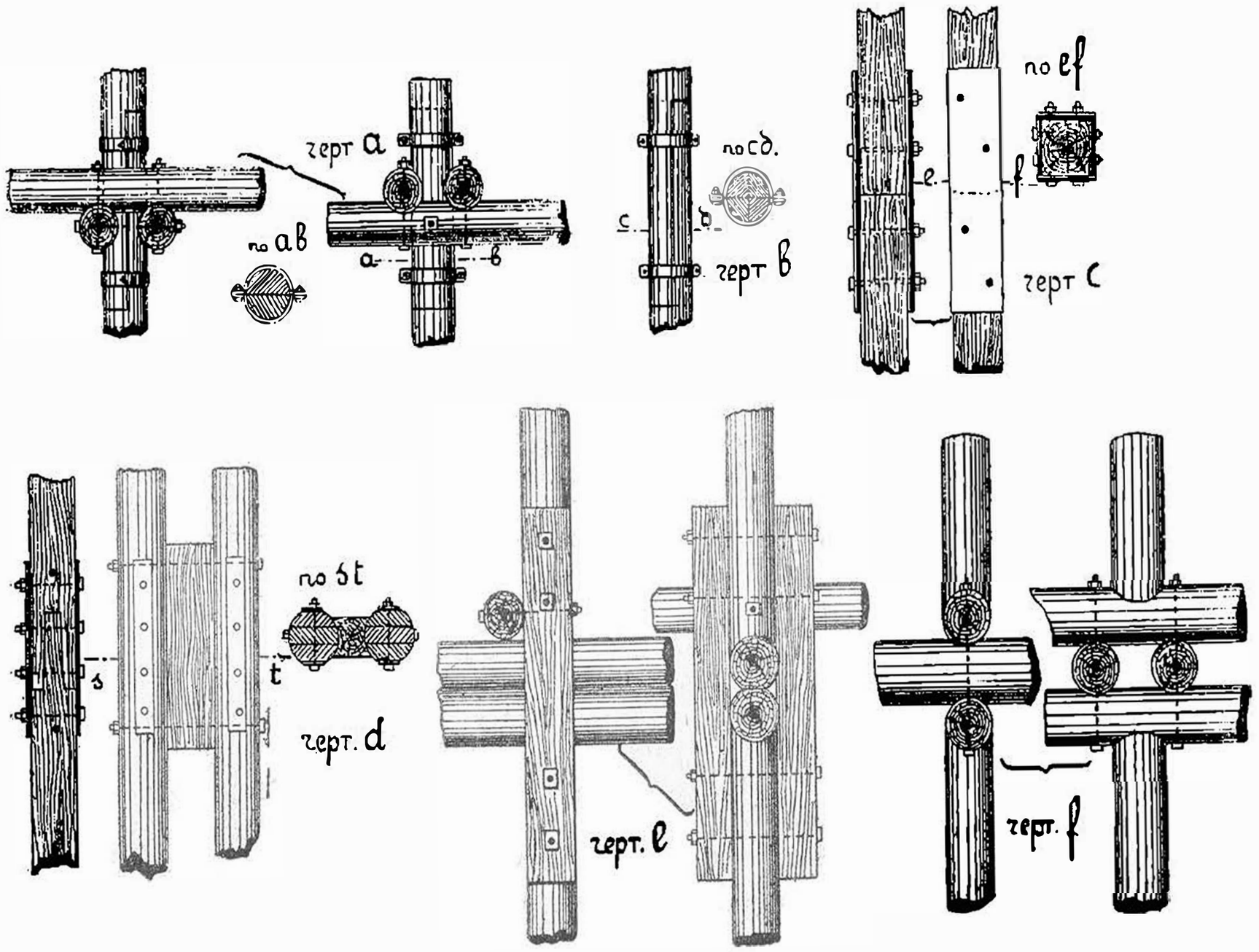


Рис. 192.

Второе преимущество рамных подмостей заключается в возможности заготовки рам заранее на берегу еще до забивки свай под основание, и в установке их в короткий срок, что особенно важно, если сборка ферм с установкой подмостей должна быть произведена в период времени между весенним и осенним ледоходом. Насколько быстро может быть произведена эта работа, можно судить по следующим примерам.

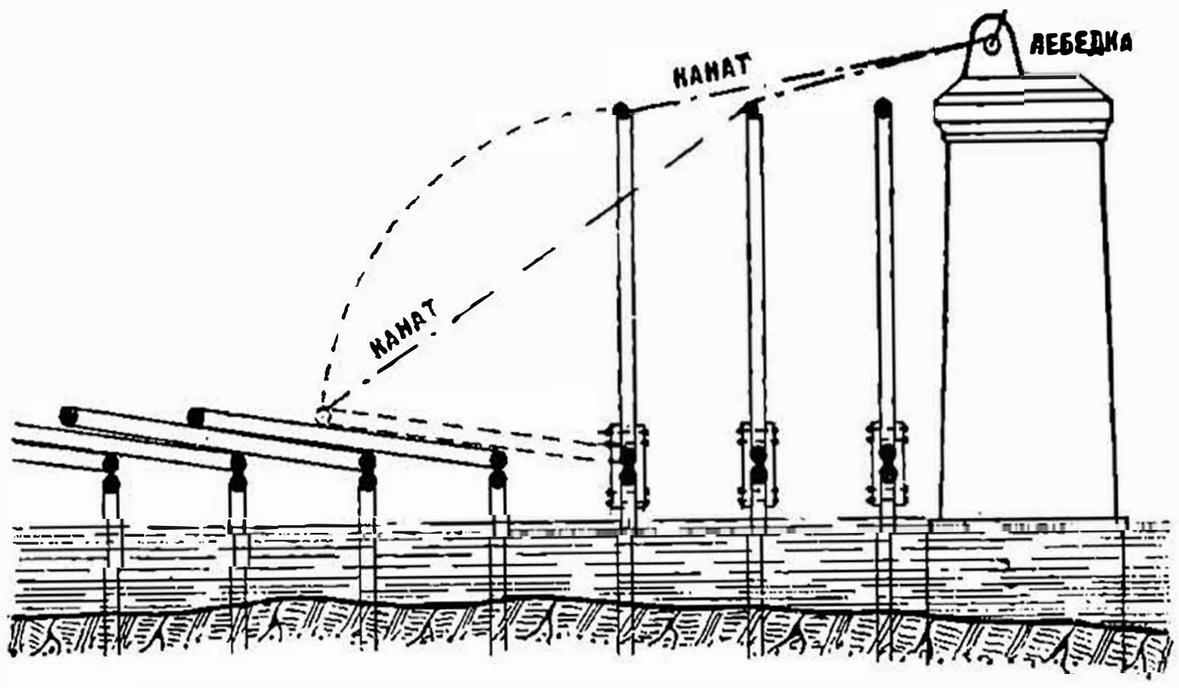


Рис. 193.

При установке подмостей для сборки ферм Аму-Дарьинского моста заготовленные рамы подмостей высотой около 6,00 *м* устанавливались при 63-метровом пролете в течение $1^1/_2$ — 2 дней (рис. 193).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При установке подмостей для накатки ферм Енисейского моста, подмости высотой около 17 *м*, состоявшие по высоте из двух рам, были установлены в шести пролетах на протяжении $138 \times 6 = 828$ *м* в течение месяца (с 12-го декабря по 12-е января).

В частных случаях обычные конструкции сборочных подмостей усложняются в зависимости от конструктивных особенностей собираемых пролетных строений, а также от местных условий, среди которых производится сборка.

На рис. 194 показаны подмости для сборки пролетного строения Трисанского виадука на Альбергской ж. д., обращающие на себя внимание своей высотой. Проезжая часть этого моста расположена на высоте 88 *м* над уровнем воды. Подмости состоят из отдельных рядов свай, расположенных на взаимном расстоянии около 10 *м*. Каждый из поперечных рядов состоит из 5 стоек вверху и 9 свай внизу. На устройство этих подмостей потребовалось около 2 000 $м^3$ лесного материала.

На рис. 195 показаны подмости для сборки арочных ферм моста через Кильский канал близ Левензау; они состоят из 20 свайных рядов, из которых средние 18 приведены к виду деревянных быков, доходящих высотой до 42 *м*. Расстояние между каждым из рядов свай сделано от 8,5 до 8,6 *м*, и только в середине пролета

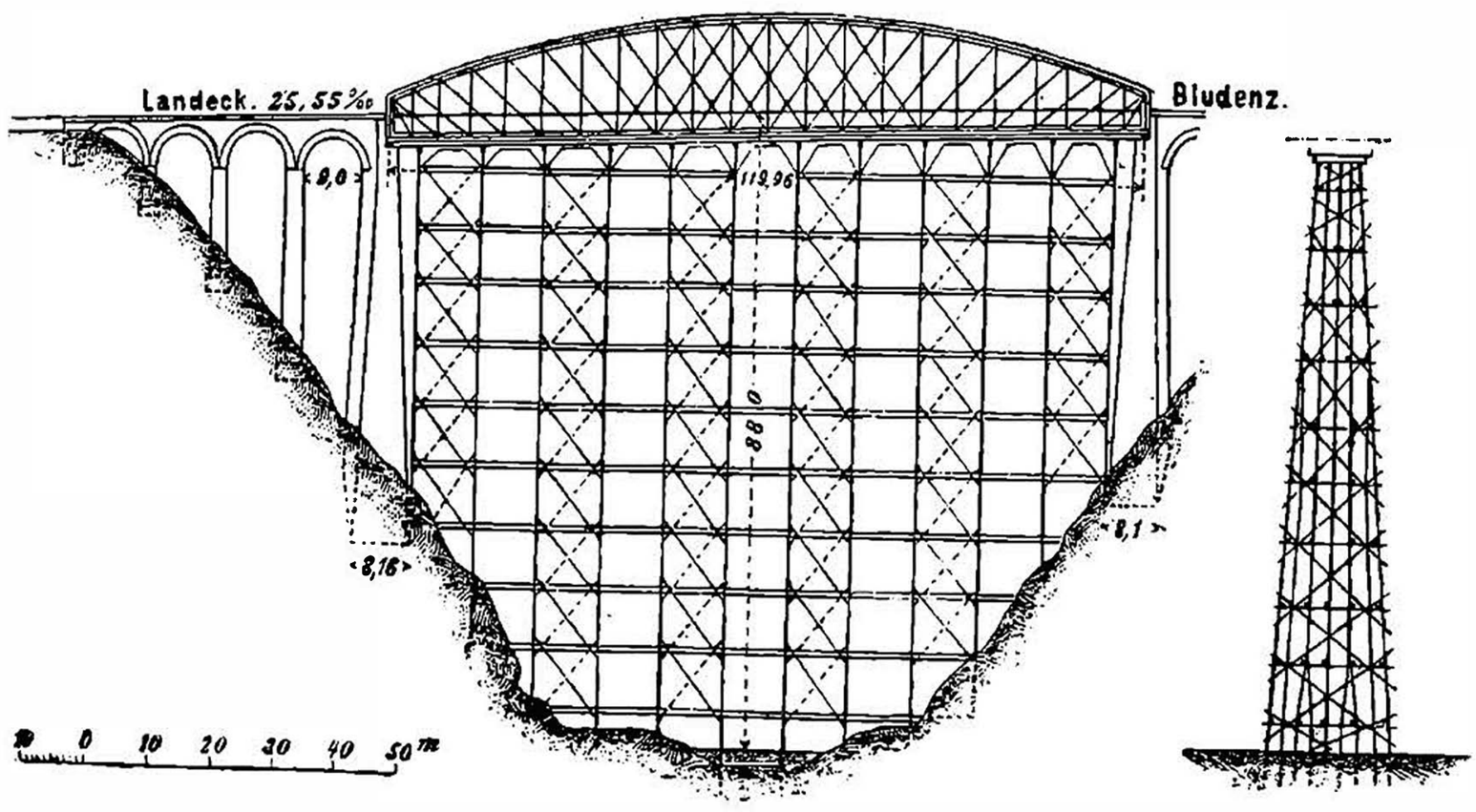


Рис. 194. Подмости для сборки пролетного строения Трисанского виадука.

в местах расположения быков оно уменьшено до 4,9 *м* с целью уширить проход для судов. В каждом поперечном ряду свай шириной 17,6 *м* помещалось по 7 свай, приведенных во взаимную связь частью деревянными крестами, частью железными тягами. На половине высоты подмостей со стороны каждого берега был устроен настил, служивший для подачи материала к месту подъемки его на подмости.

В литературе имеются указания на устройство сплошных подмостей из металла (стали 3). Такие подмости проектируются из металлических колонн, которые приводятся во взаимную связь горизонтальными и наклонными тягами. По верху колонны перекрываются металлическими балками, по которым делается настил, служащий для производства сборки.

На рис. 196 показаны подмости для сборки береговых пролетов Блек-Уэльского моста. Они имеют высоту около 36 *м* и состоят из 17 поперечных рядов, расположенных во взаимном расстоянии от 9 до 11 *м*. Каждый из поперечных рядов состоит из четырех металлических колонн, симметрично расположенных относительно оси моста. Все соединения сделаны болтами диаметром 22 *см*, чем облегчалась сборка и разборка подмостей. Все подмости весили 1 700 *т* и были установлены в течение 40 дней.

Преимущество металлических подмостей заключается в том, что они с успехом могут быть использованы для ряда установок. Так, например, при постройке мостов

НБ УДУНТ (ДІІТ)

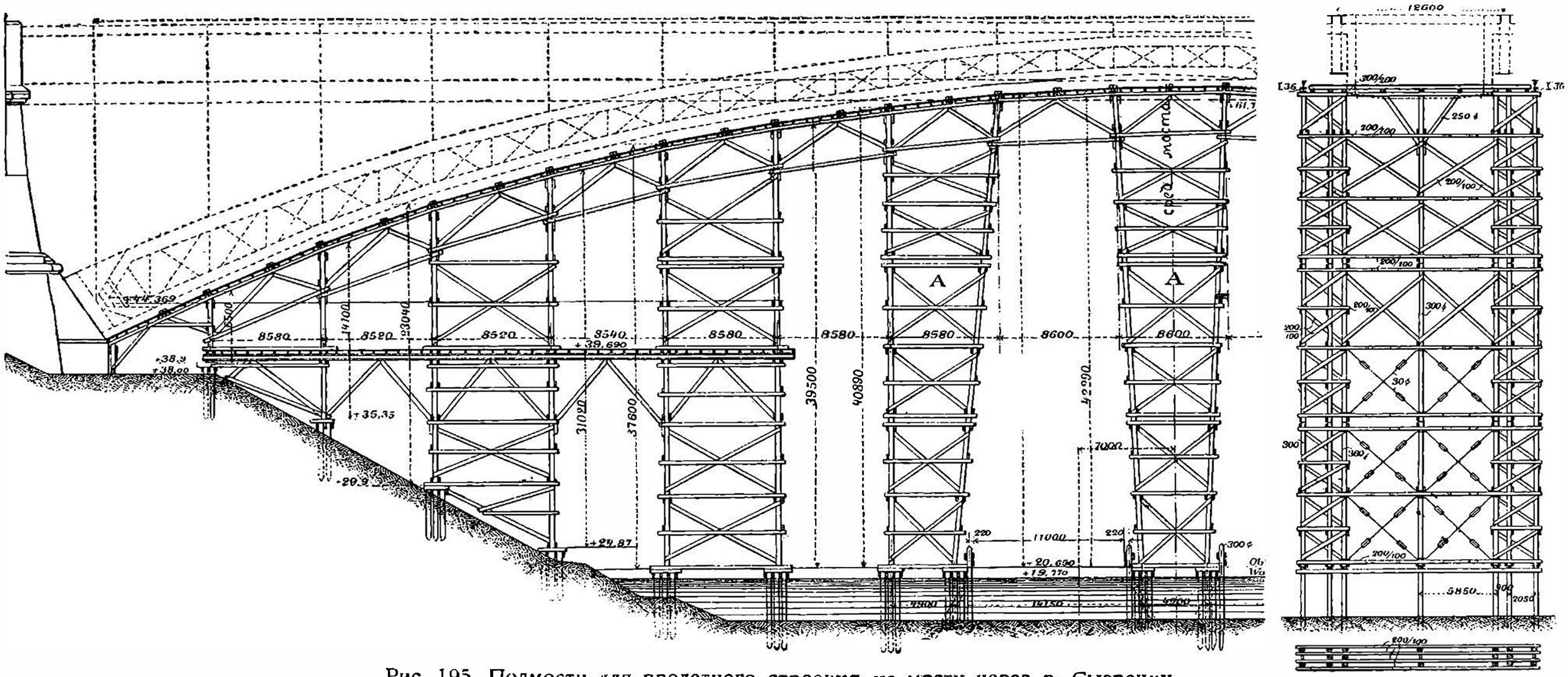


Рис. 195. Подмости для пролетного строения на мосту через р. Сызранку.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

на Южной Маратасской ж. д. в Индии железные подмости были использованы для сборки 41 моста пролетом 45,7 *м* и — 20 мостов пролетом до 30,5 *м*. Подмости состояли из легко разбираемых и собираемых железных опор, из которых каждая

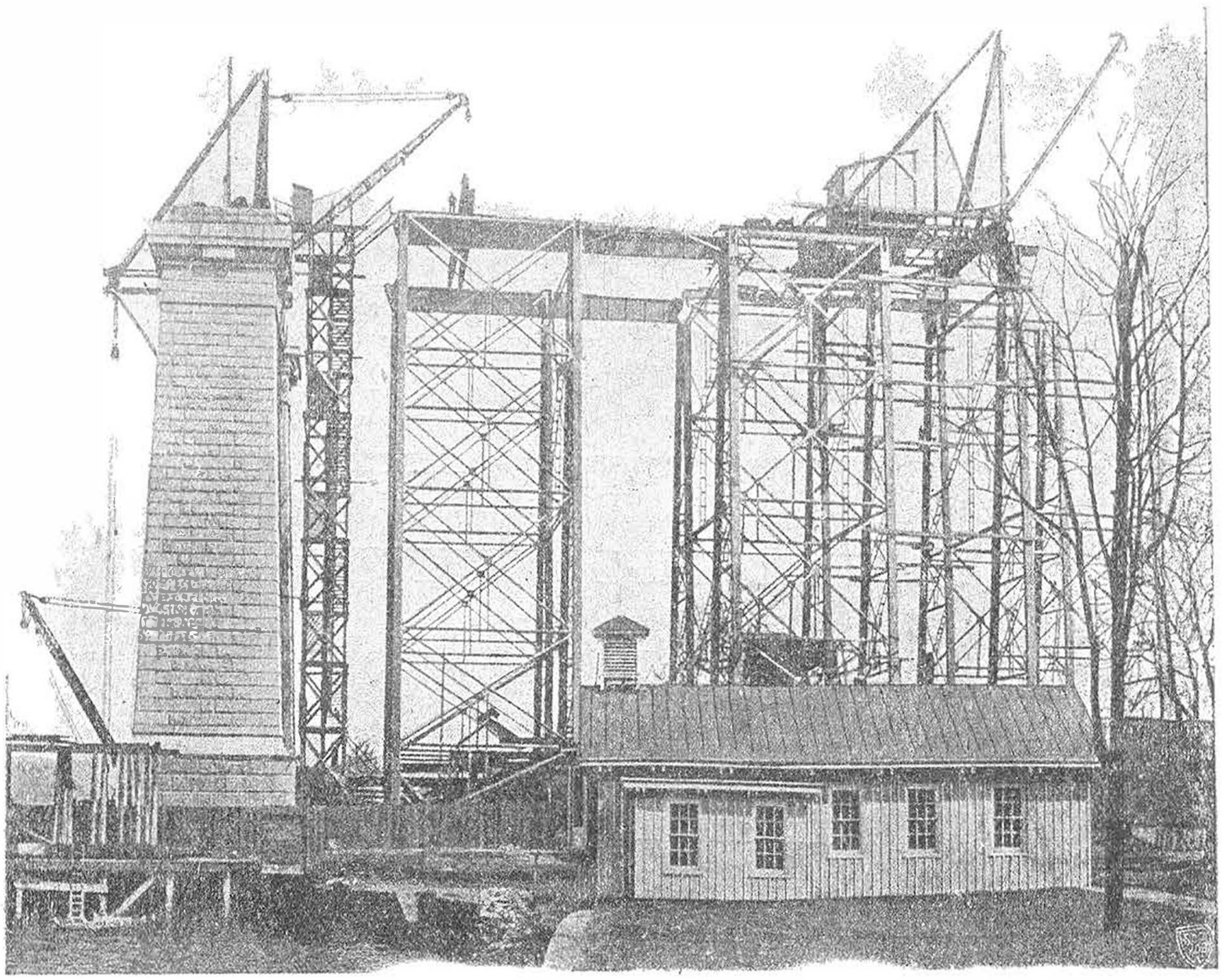


Рис. 196. Металлические подмости для сборки береговых пролетов Блэк-Уэльского моста.

состояла из 6 колонн. Стыки колонн располагались на основном расстоянии 3,68 *м*. Изменение высоты колонн в зависимости от требуемой высоты подмостей достигалось наличием дополнительных частей стоек высотой от 1,83 до 2,73 *м*. На эти колонны укладывались балки, служившие для сборки пролетных строений.

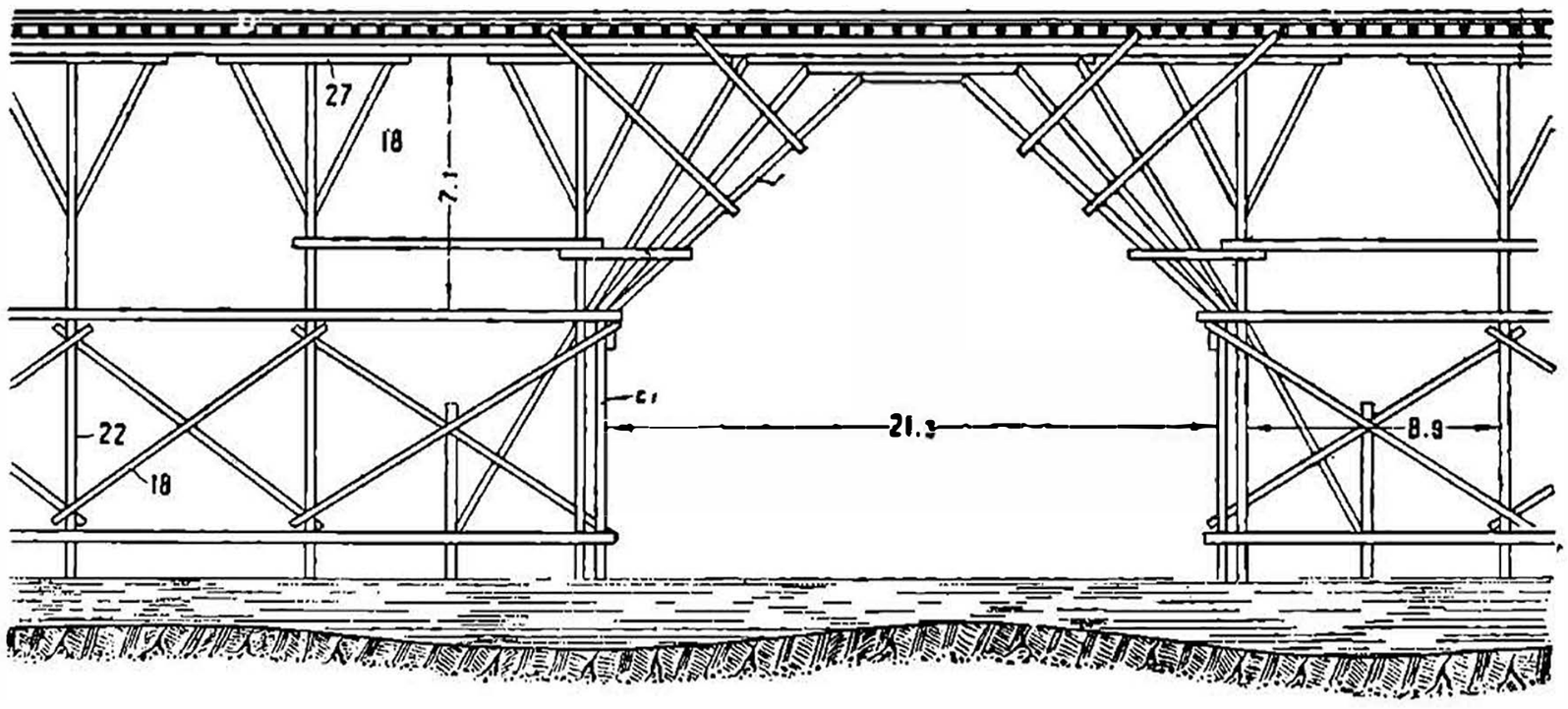


Рис. 197. Подмости для сборки пролетного строения моста через р. Оку

§ 24. Подмости с большими отверстиями. В подмостях обычного типа расстояния между отдельными опорами или рамами подмостей не превосходят 8 *м*; между тем на больших реках подмости должны удовлетворять свободному

НБ УДУНТ (ДІІТ)

пропуску судов и плотов, для чего требуются значительно большие отверстия. Независимо от этого в некоторых случаях, а именно при большой высоте расположения моста над водой, при скалистом дне реки устройство подмостей на многих опорах обходится слишком дорого и часто даже невозможно. Во всех этих случаях сплошные подмости приходится заменять особыми конструкциями.

Наиболее простой и распространенный тип устройства отверстий в подмостях — это установка многоподкосных, подвесных или шпренгельных деревянных балок. Число и размеры подкосов выбираются в зависимости от величины перекрываемого отверстия и величины нагрузки на погонный метр подмостей (рис. 189 и 197). Подкосы и ригеля помещаются ниже настила подмостей (рис. 198) и располагаются по возможности непосредственно под осями главных ферм, принимая на себя основную нагрузку. При небольшой высоте подмостей устройство подкосов невозможно вследствие получающегося при этом малого наклона их к горизонту, а также вследствие стеснения ими самого отверстия, что заставляет переходить к перекрытию отверстия специальными балками и фермами (рис. 199 и 200).

Подобно подкосным системам фермы подмостей помещаются под настилом подмостей, по оси расположения наиболее тяжелых загружений подмостей. По сравнению с подкосными системами фермы имеют то преимущество, что они могут быть заготовлены в любом удобном месте на берегу реки и доставлены к месту установки в целом виде, благодаря чему работа над водой сводится до минимума (см. ниже стр 171).

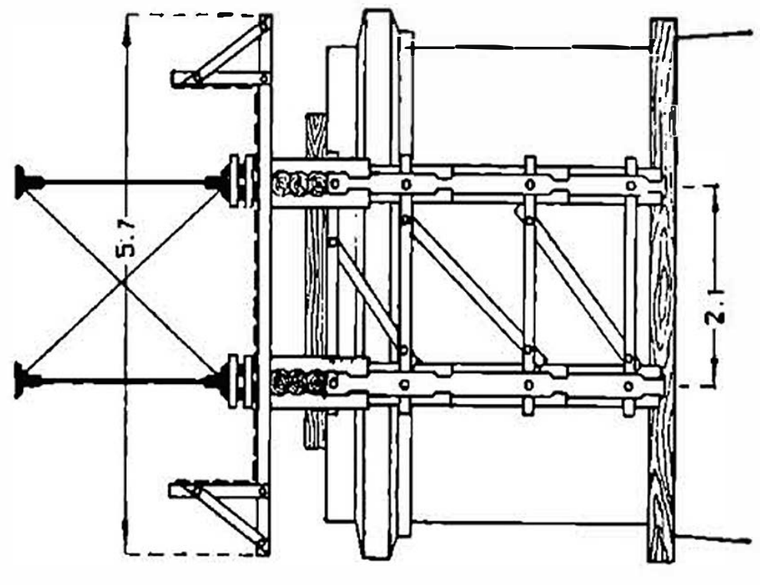


Рис. 198. Подмости для пролетного строения на мосту через р. Сызранку.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При проектировании таких ферм необходимо обращать внимание на достаточную жесткость их в вертикальном направлении, так как большая гибкость их чрезмерно затрудняет выправку подъема, поэтому, где можно, следует увеличивать высоту этих ферм.

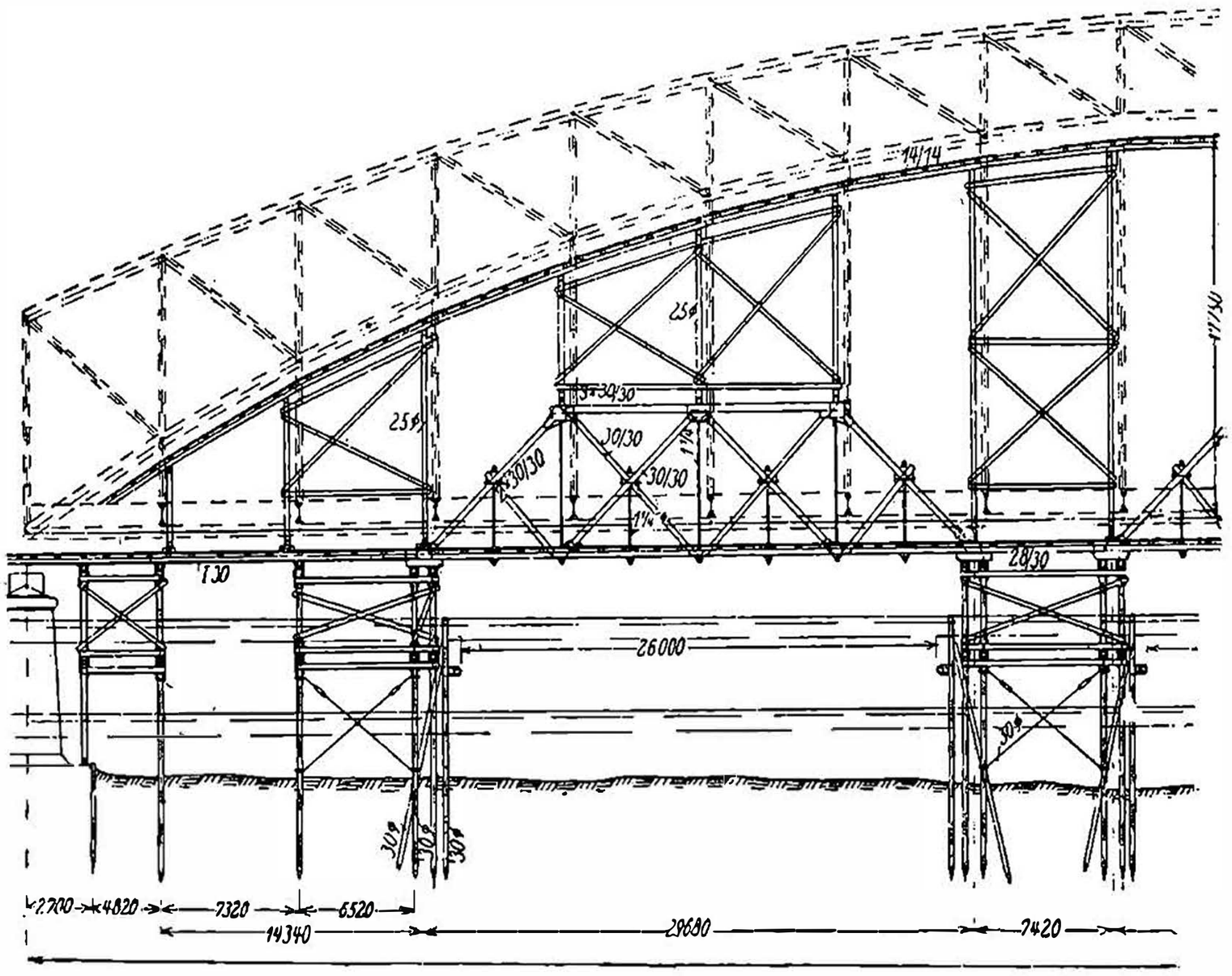


Рис. 199.

Как подкосные системы, так и фермы, устанавливаются или на специальные деревянные свайные опоры, или же для установки их используются постоянные опоры моста.

Высота деревянных опор намечается с таким расчетом, чтобы помещающаяся над ними система не выходила за линию горизонта сборочного настила (рис. 200).

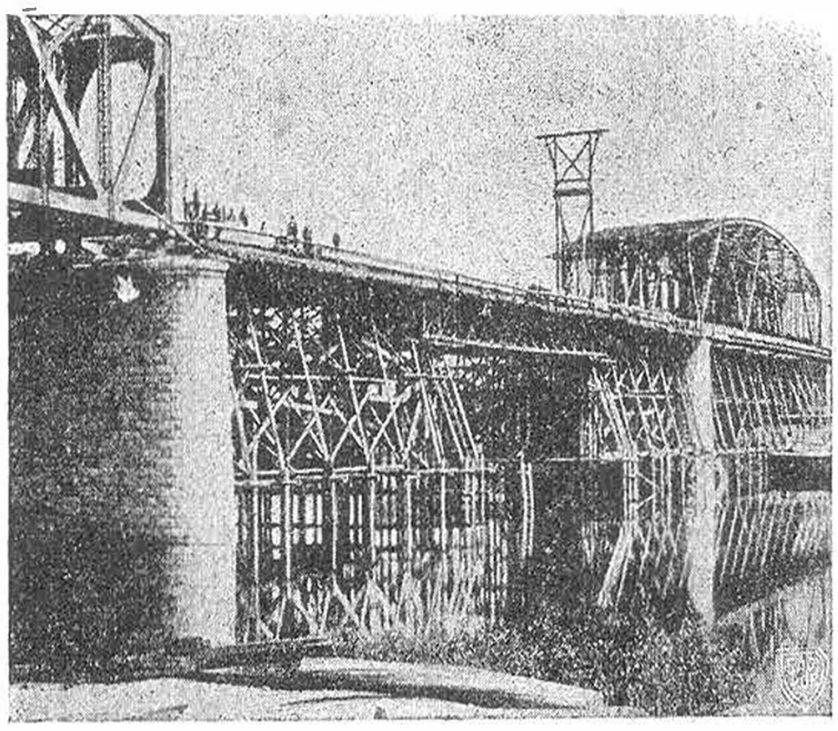


Рис. 200. Подмости на мосту через р. Москву.

При установке ферм на постоянные опоры моста они могут опираться только на подферменные площадки, в зависимости от чего они помещаются сбоку собираемых пролетных строений (рис. 201). В этих случаях для производства сборки по нижнему поясу вспомогательных ферм кладутся поперечины, поддерживающие сборочный настил. В плоскости нижнего пояса под настилом помещаются горизонтальные связи, обеспечивающие поперечную жесткость сборочных ферм. Верхние же пояса стягиваются только распорками, которые одновременно могут быть использованы как вспомогательный сборочный настил.

Постановка подкосных систем на опоры при отсутствии затяжки действует распирающим образом на опоры. В деревянных опорах при недостаточной жесткости их устанавливаются специальные откосные сваи (рис. 197). В каменных опорах величина распора поглощается весом каменной кладки.

Для перекрытия больших отверстий применяются иногда висячие системы подмостей (рис. 202 и 203), состоящие из каната, поддерживающего сборочный настил.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

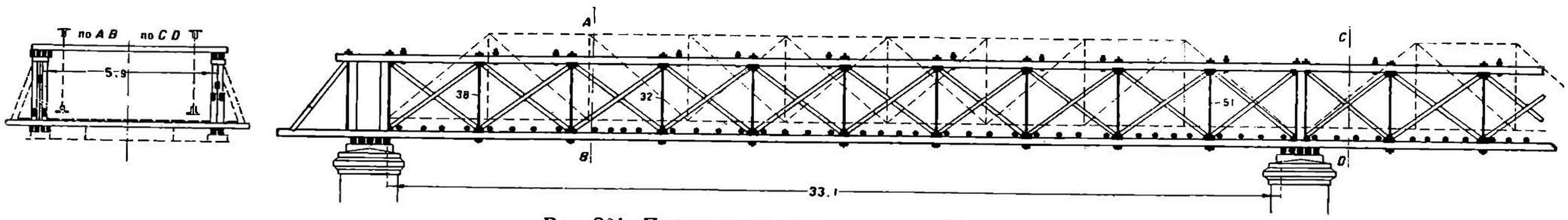


Рис. 201. Подмости на мосту через р. Куру.

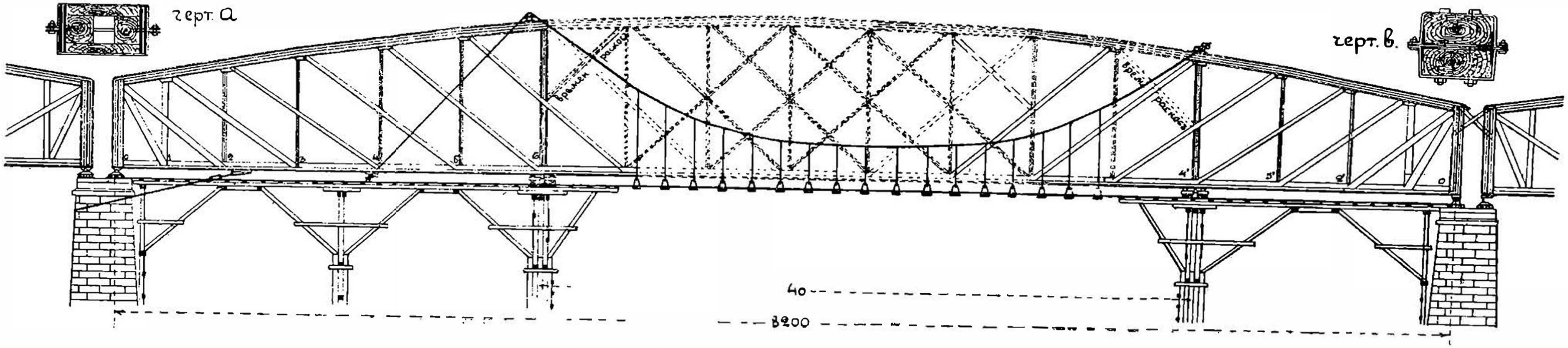


Рис. 202. Подмости на мосту через р. Дунай.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

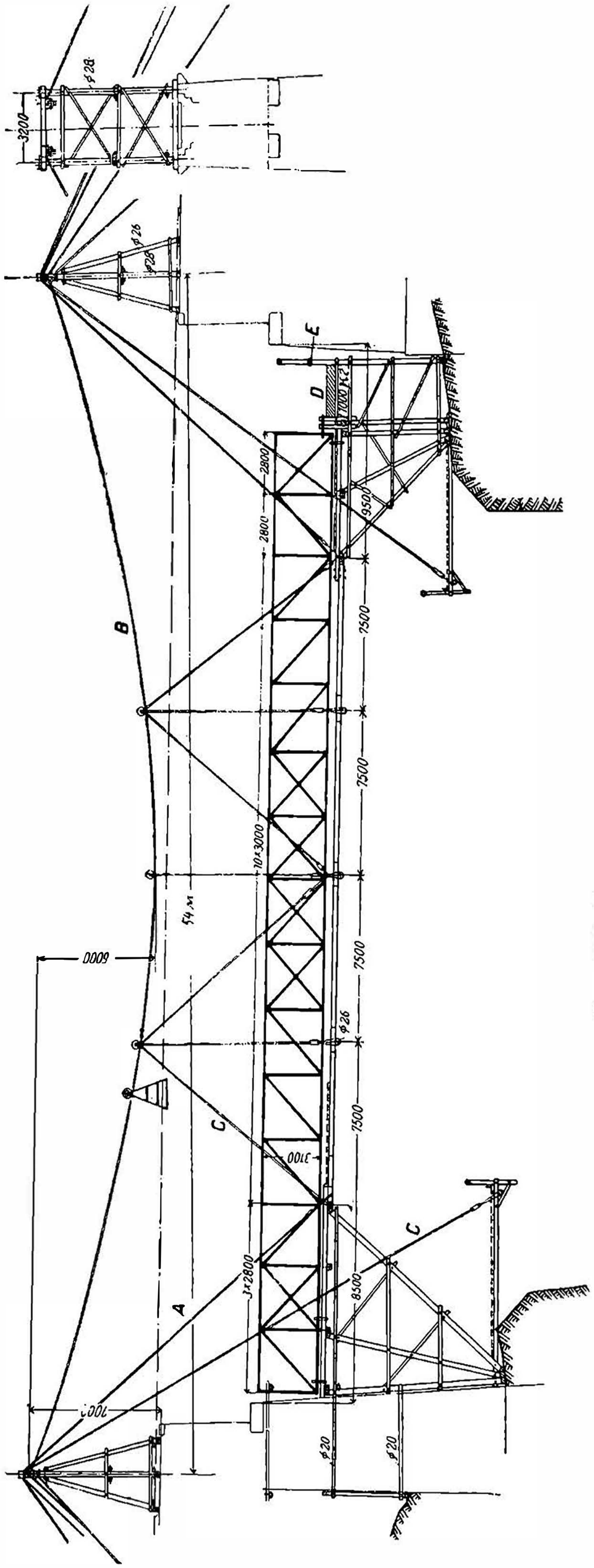


Рис. 203. Подмости на мосту Mostizzob.

Так как канат таких подмостей должен быть подвешен к точкам, значительно возвышающимся над сборочным настилом, то для укрепления его возводятся или специальные опорные рамы (рис. 203), или для этого используются соседние пролетные строения и даже части собираемого пролетного строения (рис. 202); в последнем случае эти части должны быть в достаточной степени закреплены против сдвига их распором каната, что может быть выполнено или закреплением их к соседнему пролетному строению (рис. 202 — справа), или к мостовой опоре (рис. 202—слева).

Сборочный настил подвешивается к канатам при помощи тяг, которые должны быть расположены достаточно часто (рис. 175).

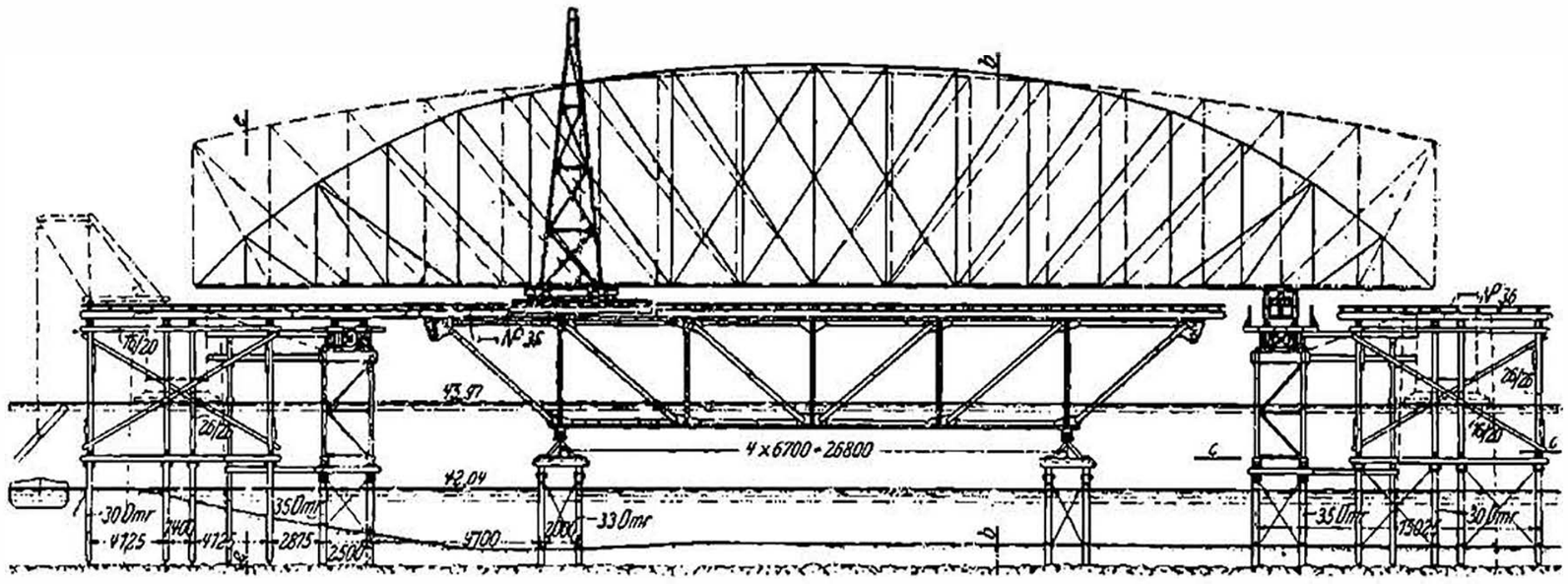
При устройстве висячих подмостей приходится обращать особое внимание на жесткость их как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Надо иметь в виду, что при отсутствии в висячих подмостях жестких продольных балок неравномерная загрузка их вызывает перекосы подмостей, которые потом трудно выправляются и затрудняют сборку; поэтому вполне понятно стремление вводить в систему висячих подмостей продольные фермочки (рис. 203), обеспечивающие жесткость их; наличие таких

НБ УДУНТ (ДІІТ)

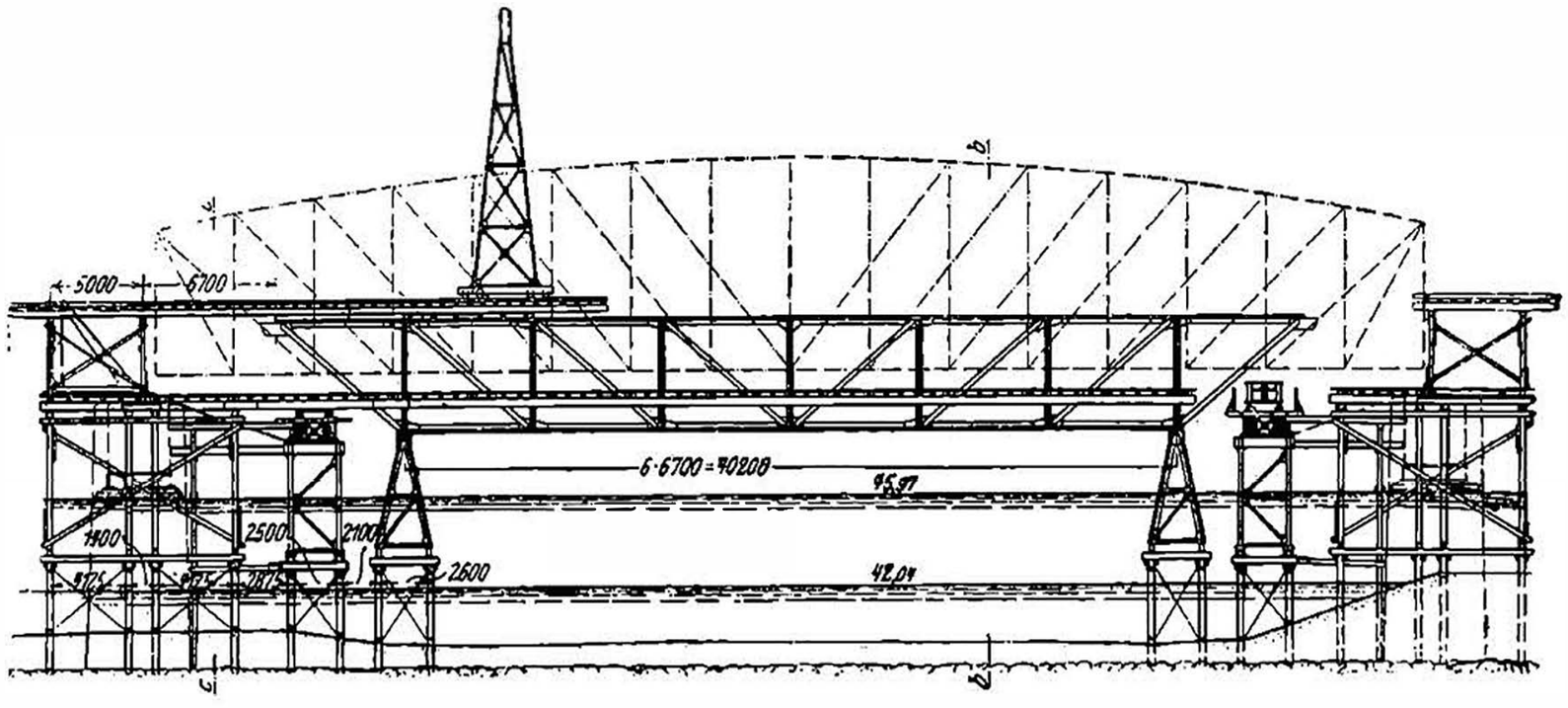
фермочек позволяет уменьшить тело подвесок и делать их наклонными, что лучше обеспечивает также продольную жесткость.

Горизонтальная жесткость в висячих подмостях может быть достигнута расшивкой накатника и продольных брусьев диагонально направленными досками.

Так как большая нагрузка подмостей вызывает необходимость постановки канатов большого диаметра, то ее рекомендуется снижать, используя подмости только для сборки и смычки главных ферм и тех частей пролетного строения, постановка которых необходима для укрепления главных ферм.



Фермы подмостей уменьшены до длины 23,8 *м*.; сборочный настил поверху.



Фермы подмостей имеют длину 40,2 *м*.; сборочный настил положен по нижнему поясу.

Рис. 204. Подмости на мосту через р. Эльбу.

Так, например, при сборке пролетного строения моста, показанного на рис. 202, до смычки главных ферм не были поставлены на место: горизонтальные листы поясов, продольные балки и настил проезжей части. Сборочные же подмости были рассчитаны на вес пролетного строения в 4,5 *т* на *пог. м*, на вес самих подмостей в 0,4 *т* на *пог. м* и на вес полезной нагрузки их в 0,1 *т* на *пог. м*.

Последнее время все чаще можно встретить применение для сборочных подмостей металлических разборных ферм. Выгода применения металлических ферм перед деревянными заключается в малой изнашиваемости их, благодаря чему их можно лучше использовать для нескольких установок, тогда как деревянные фермы во время перевозок и новых установок быстро изнашиваются.

Для того чтобы металлические сборочные фермы могли быть лучшим образом использованы для сборки пролетных строений различной длины и при различных

НБ УДУНТ (ДІІТ)

высотах установок, они должны удовлетворять следующим условиям: 1) иметь возможно более простую конструкцию решетки и соединений, обеспечивающих

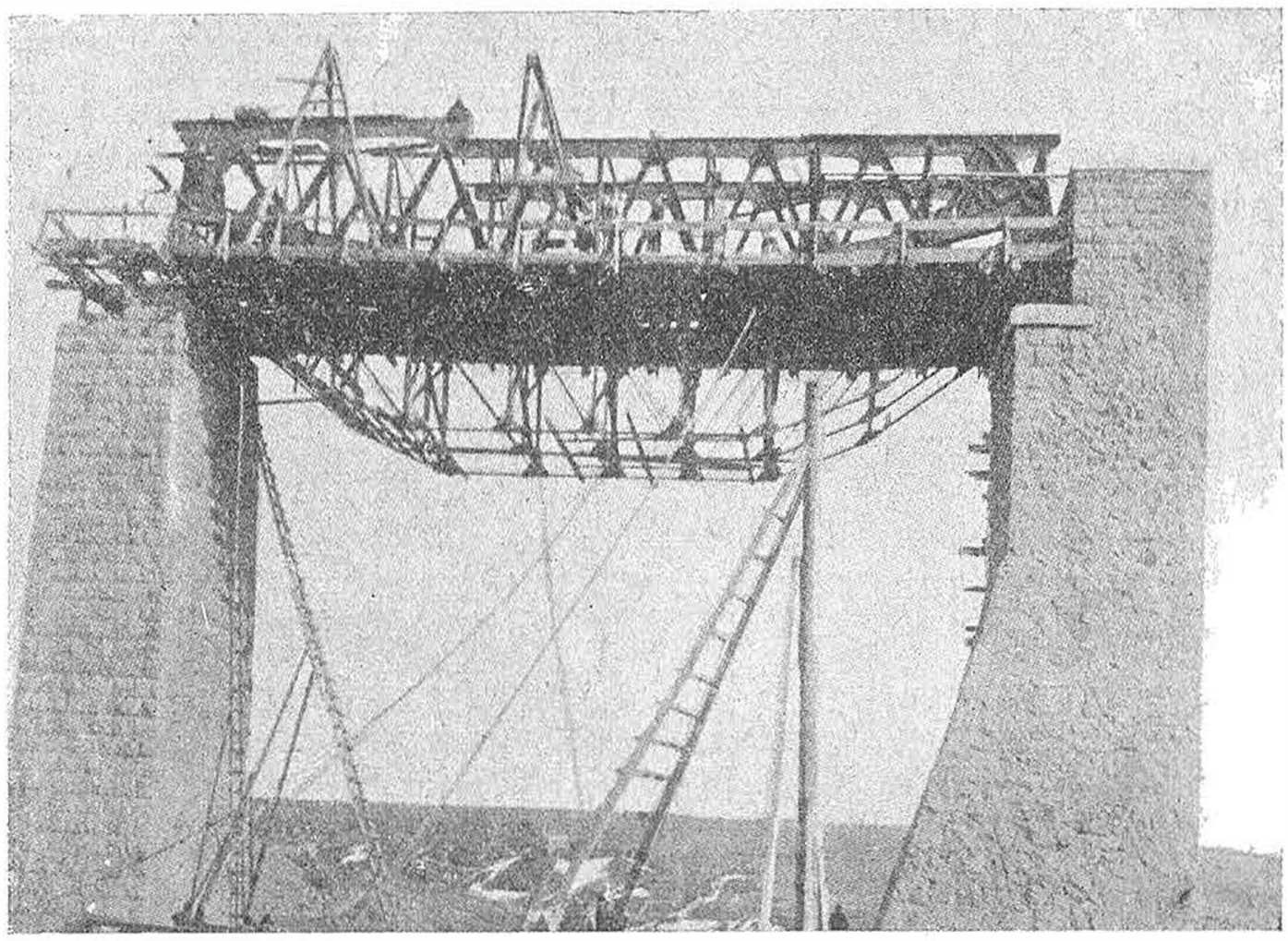


Рис. 205. Металлические подмости на Мерефо-Херсонской ж. д.

простоту сборки и разборки; 2) легко приспособляться к изменению длины и высоты и 3) иметь небольшой вес, облегчающий установку их самих.

Первое требование легко удовлетворяется выбором системы решетки и применением болтовых соединений. Наиболее простым решением является присоединение

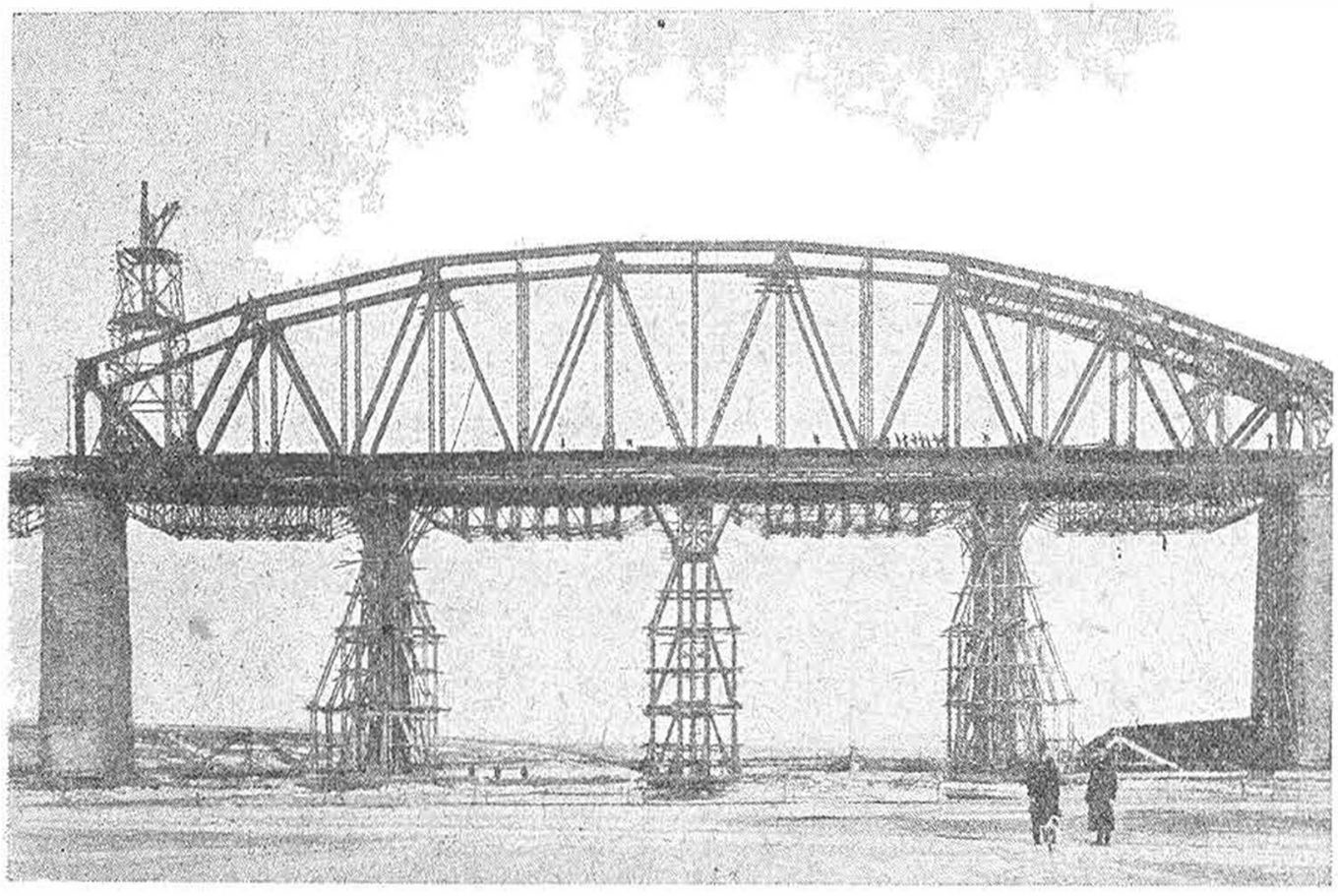


Рис. 206. Металлические подмости на Мерефо-Херсонской ж. д.

решетки к узловым планкам отдельным болтом большого диаметра по типу разборных мостов, но так как такого вида конструкции имеют всегда несколько больший вес вследствие большой сложности узлового образования, то не следует отказываться от образования узловых соединений по типу обычных заклепочных,

НБ УДУНТ (ДІІТ)

но с заменой заклепок болтами, где это нужно по плану разборки на отдельные части. Такой вид соединения болтами диаметром 19 *мм* был использован для сборочных ферм пролетом 25 *м*, примененных в различных комбинациях для сборки ряда мостов с различными пролетами на ж.-д. линии Одесса — Бахмач, и оправдал себя вполне.

Приспособляемость сборочных ферм для сборки пролетных строений различной длины сравнительно просто достигается наращиванием их по длине, т. е. тем, что к средней части ферм, рассчитанной на минимальную длину пролета, присоединяются с концов дополнительные панели.

На рис. 204 показана схема металлических ферм подмостей, применявшихся на мосту через р. Эльбу, с изменением в них не только длины пролета, но и положения сборочного настила.

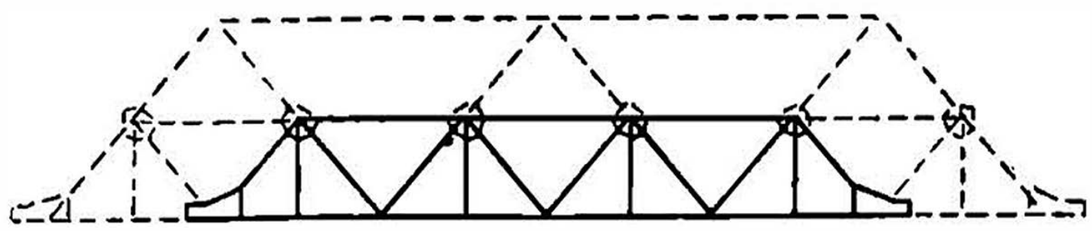


Рис. 207.

При сборке пролетных строений мостов ж.-д. линии Одесса—Бахмач сборочные фермы должны были быть запроектированы с таким расчетом, чтобы, изменяя их длину путем наращивания панелей, можно было собирать пролетное строение от 10 до 25 *м* (рис. 205 и 206).

Чрезмерное увеличение длины сборочных ферм сильно отзывается на увеличении веса их самих, поэтому их не следует делать пролетом более 50 *м*. Возможность применения таких сборочных ферм для сборки пролетных строений с длиной более 40 *м* достигается комбинированием сборочных ферм с деревянными или металлическими промежуточными опорами (рис. 206) и введением дополнительных сборочных подмостей по концам пролетов (рис. 204). В последнем случае можно рекомендовать устройство консолей в сборочных фермах, уменьшающих величину изгибающего момента в средней части.

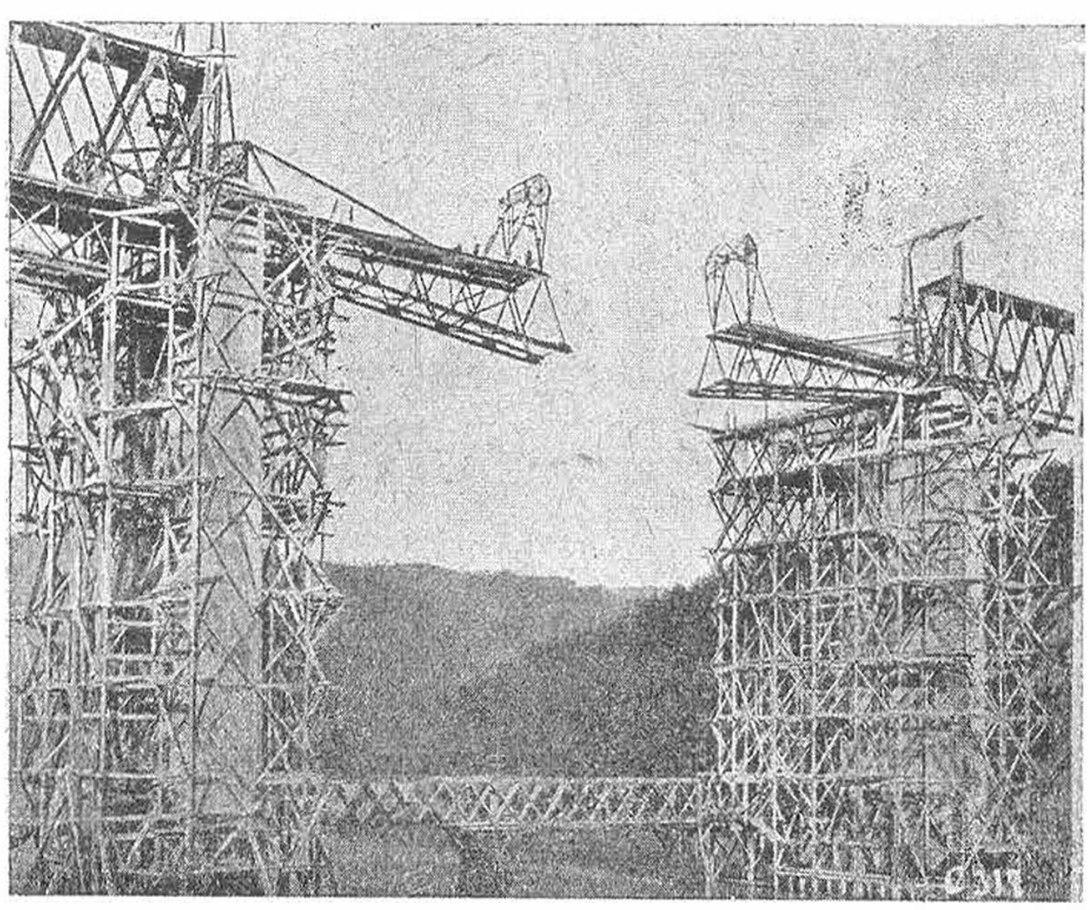


Рис. 208. Установка металлических подмостей на Кенигсвартском мосту.

Так как сборочные фермы должны иметь достаточную жесткость, то при проектировке таких ферм крайне желательно предусмотреть возможность изменения их высоты в соответствии с пределами изменения длины их пролета. Примером выполнения этого пожелания может служить проектировка для малых пролетов раскосной системы (рис. 207) с постановкой в узлах ее нижнего пояса планок, которые позволяли бы превратить ее в ферму с высотой вдвое большей.

Возможность варьировать применение одних и тех же сборочных ферм для сборки больших и малых пролетов, резко отличающихся между собой по весу, обеспечивается изменением числа сборочных ферм, устанавливаемых по ширине сборочных подмостей (рис. 205 и 206).

Панели сборочных ферм не следует делать большими, так как необходимость устройства сплошного настила с поперечными накатниками вызывает местный изгиб.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Во избежание такого местного изгиба следует предвидеть выкладку сборочных клеток только над узлами ферм.

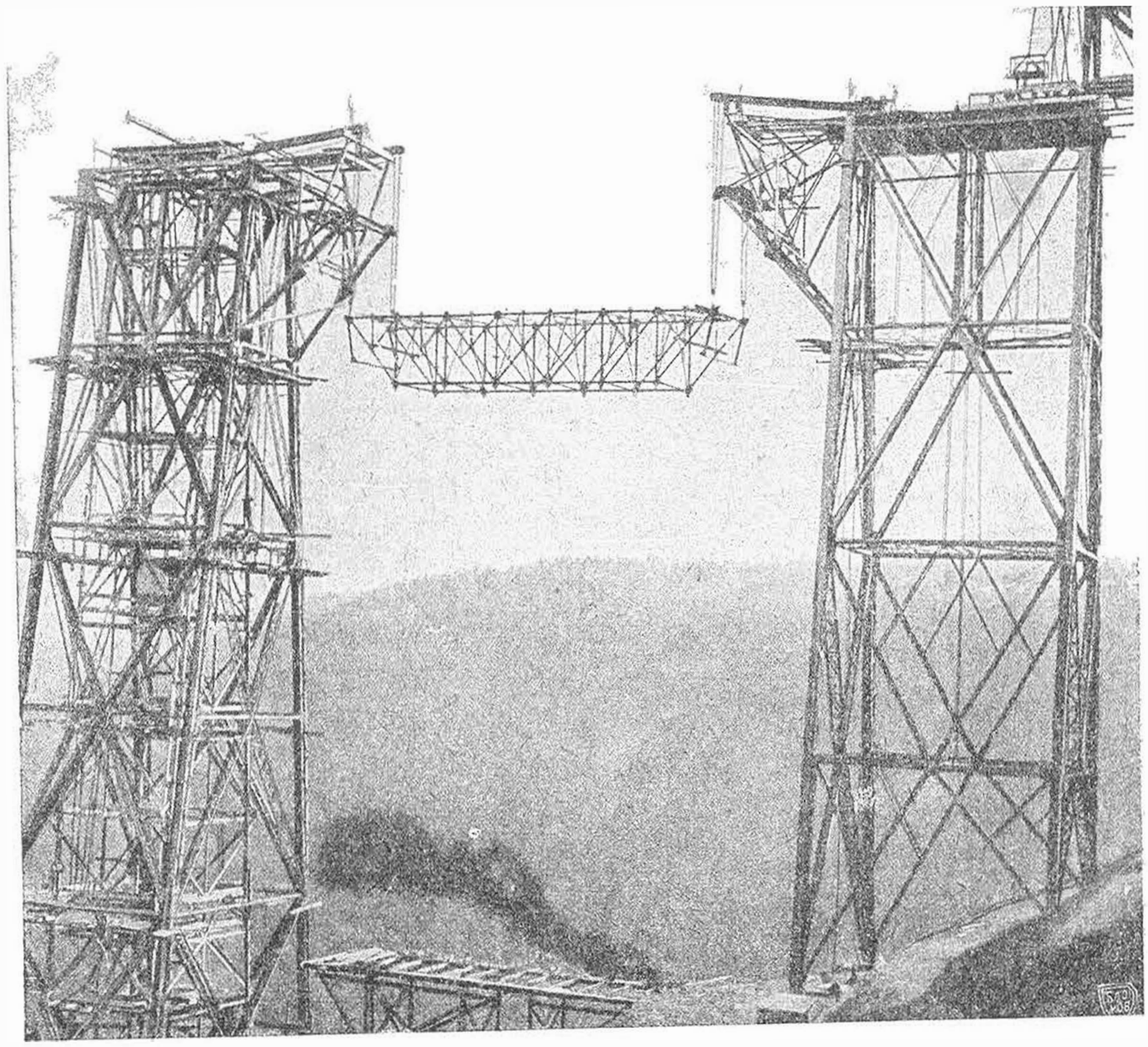


Рис. 209. Установка металлических подмостей на мосту через р. Вуппер.

Характеристикой веса металлических сборочных ферм могут служить следующие данные.

1. Для сборки пролетных строений Кенигсвартского виадука в Баварии (рис. 208) с пролетами в 65,8 *м* были применены металлические фермы того же пролета. Нагрузка от веса собираемых конструкций составляла около 2 500 *кг* на *пог. м*. Вес сборочных ферм со связями составлял 84 *т*, или около 1 240 *кг* на *пог. м*. Большой вес их объясняется большим пролетом самих сборочных ферм.

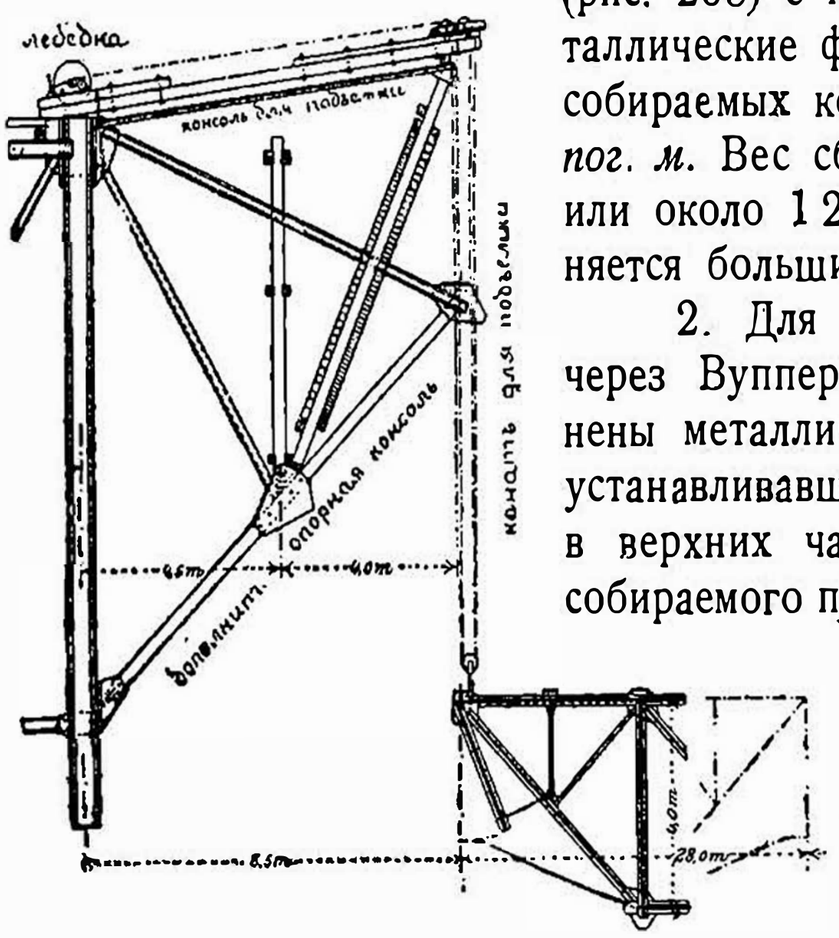


Рис. 210.

2. Для сборки 45-*м* пролетных строений моста через Вуппер близ Мюнгстена (рис. 209) были применены металлические сборочные фермы пролетами 28 *м*, устанавливавшиеся на специальные консоли, устроенные в верхних частях опор моста (рис. 210). Нагрузка от собираемого пролетного строения составляла 123 *т* : 45 = около 2 750 *кг* на *пог. м*. Вес двух сборочных ферм, устанавливавшихся в каждом пролете, со связями между ними, составлял 24 *т*, или около 850 *кг* на *пог. м*.

3. Металлические фермы, применявшиеся для сборки пролетных строений на линии Одесса — Бахмач, были рассчитаны на возможность сборки 110-*м* пролетных строений (рис. 206), дававших нагрузку около 5 650 *кг* на *пог. м*, распределяющуюся

НБ УДУНТ (ДІІТ)

на 5 сборочных ферм. Вес каждых двух сборочных ферм со связями между ними составлял примерно 300 *кг* на *пог. м* [1]).

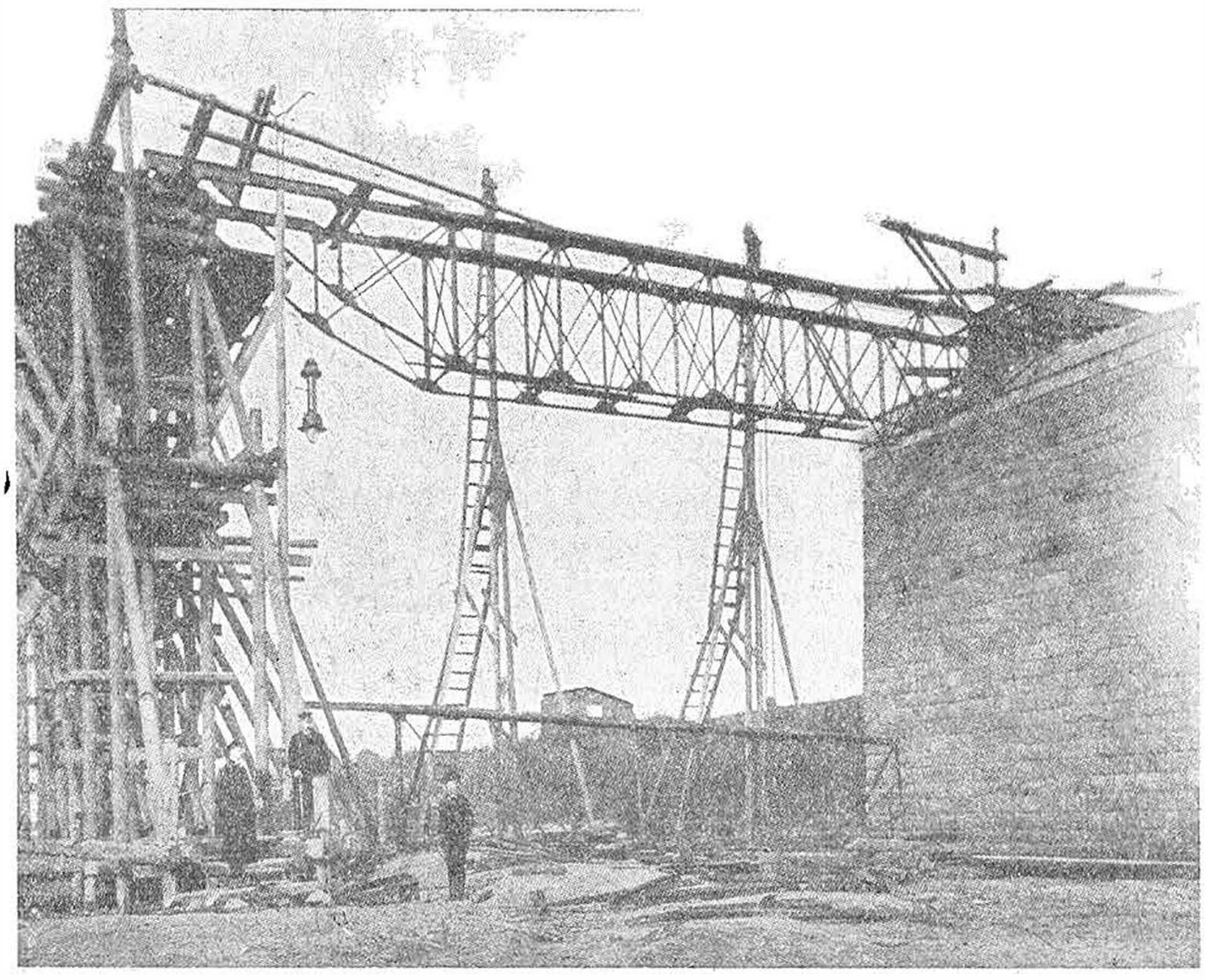


Рис. 211. Установка металлических подмостей копрами.

Установка сборочных ферм на место в большинстве случаев производится непосредственно подъемкой их при помощи или мачт (рис. 211) или специальных консольных устройств (рис. 209 и 212), выступающих над местом установки сборочных ферм. К концу таких консолей подвешиваются блоки, через которые проходит канат от лебедки.

При устройстве сборочных ферм на мосту через р. Вуппер подъемка сборочных ферм весом 24 *т* на высоту 50 *м* производилась лебедками в течение 3 часов (рис. 209).

Менее выгодной и удобной представляется установка сборочных ферм навесным способом (рис. 208) или путем надвигания. Оба они требуют вспомогательных устройств в виде специальных закреплений и кранов при навесной сборке и в виде аванбека и подвижных приспособлений при надвижке. Надвижку можно рекомендовать только при применении неразрезных сборочных ферм типа, показанного на рис. 201.

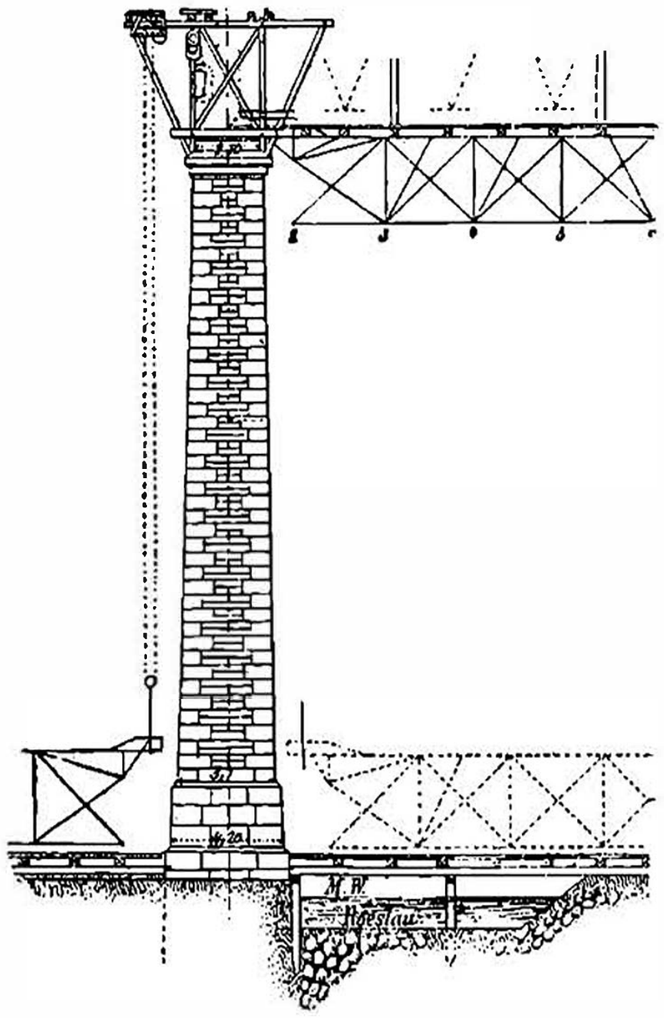


Рис. 212. Установка металлических подмостей на мосту через Роэслау.

§ 25. Основания для подмостей. Выбор основания для подмостей зависит исключительно от местных условий и быта реки. Их можно подразделить на основания: 1) лежневые, 2) свайные, 3) ряжевые и 4) пловучие.

Лежни. Лежневое основание — наиболее простое по устройству и наиболее дешевое. Применяется во всех случаях, где сборка производится над пространством

---

[1]) Данные о весе сообщены автору производителем работ. Этот вес представляется несколько преуменьшенным.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

земли свободным от воды и достаточно прочным, чтобы выдержать подмости с их нагрузкой, не давая под ними просадки. В этих случаях поперечные ряды стоек подмостей нижними концами опираются на специальные поперечные брусья из 22—27 *см* леса, под которыми делается или выстилка из продольных лежней или выстилка из толстых досок в виде прямоугольников под каждой стойкой (рис. 213) с таким расчетом, чтобы давление на грунт, принимаемое равномерно распределенным по площади выстилки, не превосходило допускаемого. Надо иметь в виду, что вследствие упругой просадки земли давление на грунт распределяется неравномерно, возрастая к середине; поэтому при большой величине допускаемого давления можно ожидать просадки выстилки.

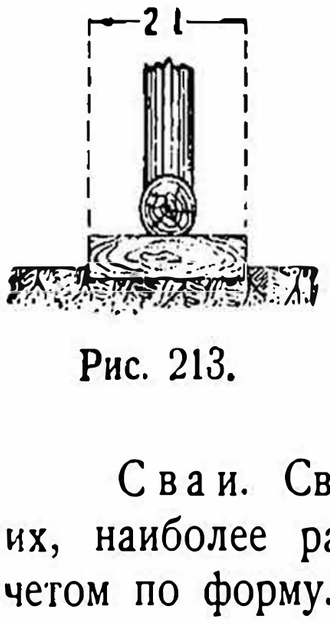


Рис. 213.

Выстилку из 6 досок толщиною 60 *мм* можно делать только в тех случаях, если по условиям расчета длина выстилки не превосходит 70 *см*. При большей длине выстилки доски следует заменять лежнями.

При постройке моста через Березовую бухту на Байкальском озере [1]) предполагалось лежневое основание подмостей сделать на льду; однако эта мысль по общим условиям хода работ не могла быть приведена в исполнение. Хотя лежневые основания неоднократно применялись для пропуска паровозов и вагонов по льду, но при этом всегда замечалось постепенное затопление и просадка лежней. На основании этого надо признать, что укладка лежневых подмостей даже на толстом льду при постоянно возрастающем давлении на них повлечет за собой углубление лежней в лед и если не провал, то просадку подмостей.

С в а и. Свайное основание подмостей, обеспечивающее полную устойчивость их, наиболее распространено. Число свай и глубина забивки их определяется расчетом по формуле:

$$S = n \frac{5FQH}{2P(P+5F)} \cdot \frac{Q+0{,}2q}{Q+q}, \qquad (17)$$

где P — расчетная нагрузка на сваю, но не менее 8 000 *кг*; Q — вес бабы; q — вес сваи с подбабком, если таковой применяется; H — высота подъема бабы; F — площадь сечения сваи в *кв. см*; n — число ударов в залоге, принимаемое при машинном корпе равном 10, при ручном равном 20; S — величина отказа в залоге.

При расчете отказа следует повышать величину расчетной пагрузки на 10 — 15%; это делается ввиду того, что при выверке строительного подъема ферм происходит местная перегрузка подмостей, а следовательно и свай, могущая вызвать просадку их и даже невозможность выдержать требуемый подъем. Предельные допускаемые нагрузки на сваи разных диаметров указаны в приложении.

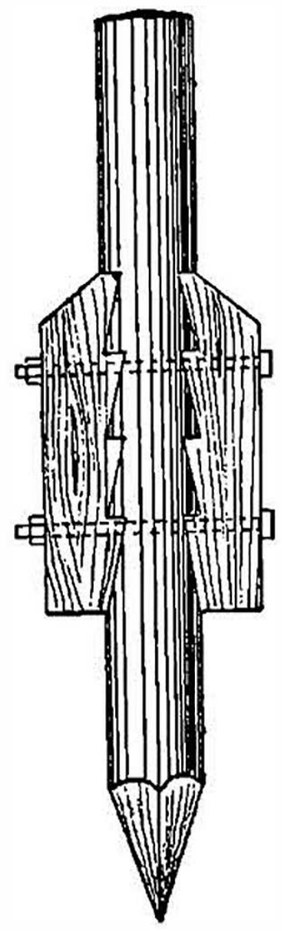


Рис. 214.

В илистых руслах реки часто приходится забивать сваи на глубину до 10 *м* и более; при такой глубине забивки требуемая длина сваи превосходит обычные размеры лесного материала. Для удовлетворения же условиям устойчивости подмостей против просадки приходится прибегать или к наращиванию или к усилению свай «бабошниками» по способу инженера Г о л и н е в и ч а.

Способ усиления свай заключается в том, что на концы сваи наращиваются помощью шпонок или зубьев куски дерева (рис. 214), увеличивающие сопротивление свай просадке. Опыт, произведенный с подобными сваями при постройке линии Тимирязево — Нижний Новгород, показал

[1]) Альбом постройки Кругобайкальской ж. д., изд. МПС.

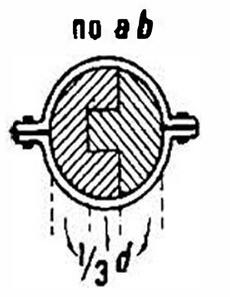
НБ УДУНТ (ДІІТ)

полную пригодность их. Сваи, не дававшие отказа при забивке на глубину 10 *м*, наращенные «бабошниками», давали его при забивке на глубину до 7 *м*. Усиленные подобным образом сваи с большим трудом поддаются выдергиванию их как льдом, так и при очистке русла при окончании работ.

Последнее обстоятельство заставляет отказаться от применения усиленных свай на судоходных реках, где требуется безусловно полная очистка русла от свай, и прибегнуть к наращиванию их. Способ наращивания должен быть выбран с таким расчетом, чтобы стык мог сопротивляться разрывающему усилию, возникающему в свае при выдергивании.

При забивке свай для подмостей Вятского моста (Вологдо-Вятской ж. д.) сваи были наращены клинообразным стыком, стянутым хомутами (рис. 215), который при выдергивании сам собой затягивался и этим противодействовал разрыву, что подтвердилось успешным выдергиванием свай.

При большой глубине воды свайные основания слабо сопротивляются боковому действию воды, ветра и т. п. Для увеличения устойчивости их применяют боковую забивку свай как основных, так и подкосных. Вполне возможно также привести их во взаимную связь помощью крестов из круглого железа, натягиваемых стяжными муфтами (рис. 216). Тяги этих крестов еще до забивки нижним концом укрепляются на известной высоте сваи, приблизительно у дна реки, что определяется



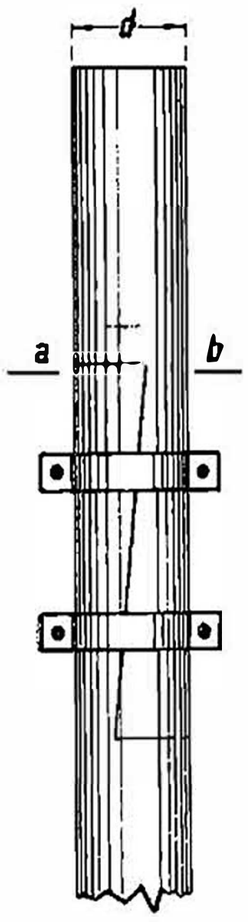


Рис. 215.

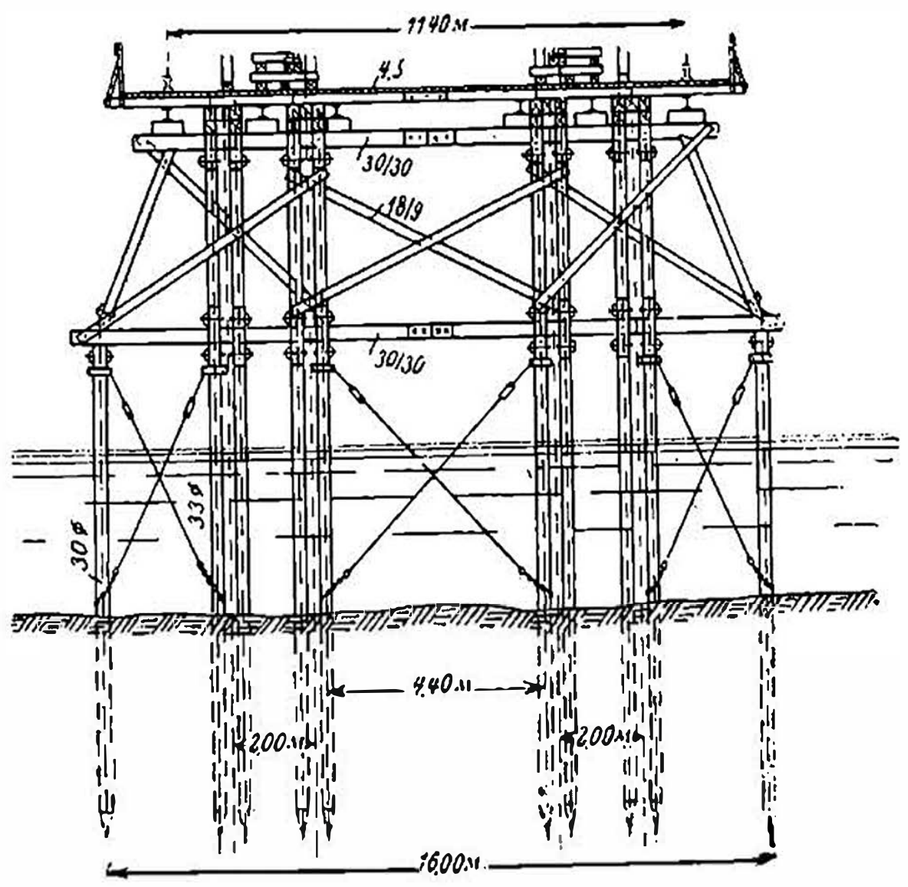


Рис. 216.

Рис. 217.

путем забивки пробных свай, а по окончании забивки укрепляются верхним концом в соответствующем пункте подмостей.

Злым бичом свайных оснований является ледоход. Разрушающему действию весеннего ледохода всякие подмости сопротивляются крайне слабо, и ограждение их от излома требует постановки перед ними солидных близко расположенных друг от друга ледорезов, что обходится очень дорого; поэтому при устройстве подмостей на свайном основании вся работа по сборке планируется так, чтобы пролетное строение ко времени весеннего ледохода могло быть снято с подмостей. Но и осенний лед, не обладая такой силой, как весенний, тонкий сам по себе, двигаясь сплошной массой, своим трением о поверхность свай быстро истирает их и даже перерезает. На рис. 217 показан кусок сваи из подмостей на мосту через р. Вятку (Ленинград-Вятской ж. д.), стоявший во время осеннего ледохода 1905 г., продолжавшегося более $1^1/_2$ суток.

Силой ледохода было вызвано: крушение фермы Аму-Дарьинского моста

НБ УДУНТ (ДІІТ)

в 1901 году [1]), повреждение подмостей через Москва-реку в 1906 году (Московско-Окружная ж. д.) и много других.

Приведенные примеры в достаточной степени характеризуют, какой опасности подвергаются свайные опоры во время осеннего ледохода Мерой предохранения подмостей от образования заторов можно рекомендовать устройство возможно более широких расстояний между поперечными рядами свай, благодаря чему лед не успевает сильно намерзать около свай, и его успевают пропихивать, как это было замечено при постройке моста через р. Вятку, а также на р. Рейне при постройке моста близ Вормса [2]).

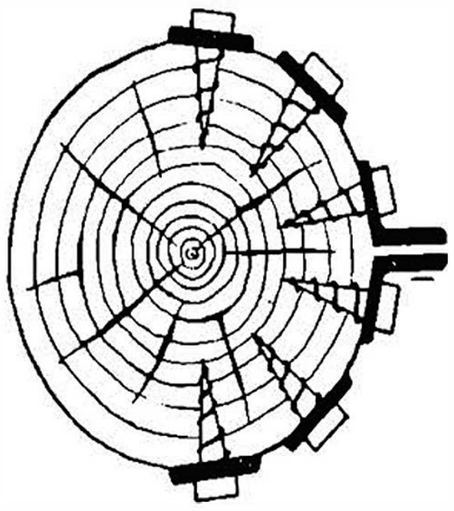


Рис. 218.

В предупреждение срезызания сваи обшиваются кровельным железом, а к передней свае нашиваются куски углового железа и рельс, содействующие разрезыванию льдин (рис. 218).

Кроме разрушающего действия льда на сплавных реках свайные основания подвергаются опасности разрушения от ударного действия плывущих предметов. Большею частью в этих случаях ограничиваются установлением особых сигналов и правил для пропуска плотов и судов. В виде предохранения против всяких случайностей впереди подмостей иногда устанавливаются специальные кусты свай с заплывями. Эти приспособления обладают малой эластичностью и легко сами разрушаются под действием живой силы удара. При постройке моста через р. Вислу близ Диршау [3]) были устроены наиболее рациональные заплыви, с успехом работавшие в течение двухлетней постройки моста.

Впереди моста на расстоянии 80 *м* от оси его были забиты кусты свай на взаимном расстоянии 12,00 *м* (рис. 219). К кустам свай помощью железных канатов $d = 23$ *мм*, проходящих в специальных тормозных колодках, прикреплялись заплыви, изготовленные в виде трехгранных призм. Эти заплыви составляли непрерывную цепь и в случае поломки одного куста удерживались другими. Проволочный канат, привязанный одним концом к заплыви, другим концом спирально проходил в тормозном брусе, а затем был нагружен на противоположном конце камнем. Таким образом под ударным действием плывущего предмета заплывь, поддаваясь вперед, увлекала за собой канат, который своим трением и весом камня оказывал противодействие этому движению.

---

[1]) В описании постройки Аму-Дарьинского моста мы читаем: «1 января 1906 г. начался ледоход. Лед этот не представлял собою отдельных льдин, а шел сплошной снегообразной массой, частью смерзшейся. Благодаря густоте этой массы рабочие не успевали пропускать ее между сваями подмостей. Увеличить число рабочих на этой работе не представлялось возможным, вследствие чего у подмостей быстро образовался затор, который благодаря все прибывающим массам ледяного снега к утру 2 января образовался в 4 пролетах и протянулся выше нового моста саженей на 30. Ледяные массы, не находя себе выхода, под напором следующих забивались вниз и заполняли живое течение русла, образуя таким образом ледяную плотину и напирая всей массой на подмости. Вода, не находя себе прежнего выхода, частью ударила в берег, частью стала подмывать дно, и к вечеру 2 числа глубина воды на 2-м пролете достигла 3 саж. Подмости стали садиться, а вместе с ними части пролета, находившегося на подмостях. Толщина ледяной массы была так велика, что камень не пробивал ее и не доходил до дна. 3 января были опрокинуты подмости пролета № 21 (Альбом постройки Аму-Дарьинского моста, стр. 91).

[2]) Расстояния между поперечными рядами подмостей:

На мосту	через р. Аму-Дарья	. 4,73 *м*
» »	» Москву .	. 2,15—7,0 *м*
» »	» Вятку	. 7,90 *м*
» »	» Рейн	. 5,78—10,3 *м*

[3]) «Centralblatt d. Bouverwol», 1898 г., № 36, стр. 398.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Вес камня определяется в зависимости от силы удара на заплывь. Для этого предварительно путем опыта устанавливается коэфициент соотношения между грузом камня и силой удара на заплыв. Величина коэфициента изменяется в зависимости от длины соприкасания каната с колодками.

В описанном случае применения упругих заплывей путем опыта было установлено, что при длине соприкасания каната с тормозными колодками равными 8,14 *м*, для удержания заплыви на месте, когда на нее действовала сила равная 1 900 *кг*, на противоположном конце каната тре-

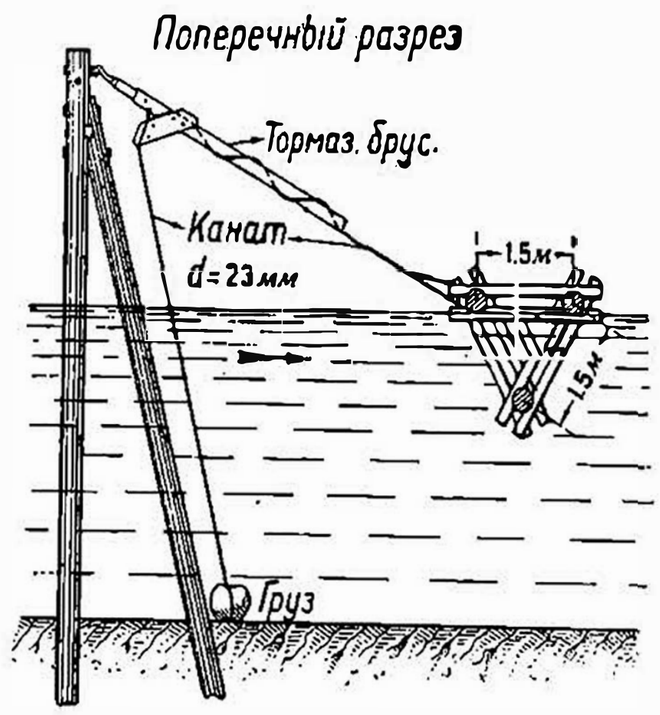


Рис. 219.

бовался груз от 58 до 88 *кг*, откуда вытекало, что коэфициент соотношения — a был равен от 21,6 до 32,8.

Зная пределы коэфициента соотношения, нетрудно определить работу сопротивления, оказываемую заплывью работе удара. Если h — высота подъема камня в воде; p — вес груза (камня), с соответствующим уменьшением веса в случае погружения его в воду; q — сила, или груз, потребный для удержания на месте самой заплыви, — то живая сила сопротивления груза будет изменяться в пределах:

$$T = \left.\begin{matrix}\text{от } a_1 \\ \text{до } a_2\end{matrix}\right\} (p-q)\cdot h, \qquad (18)$$

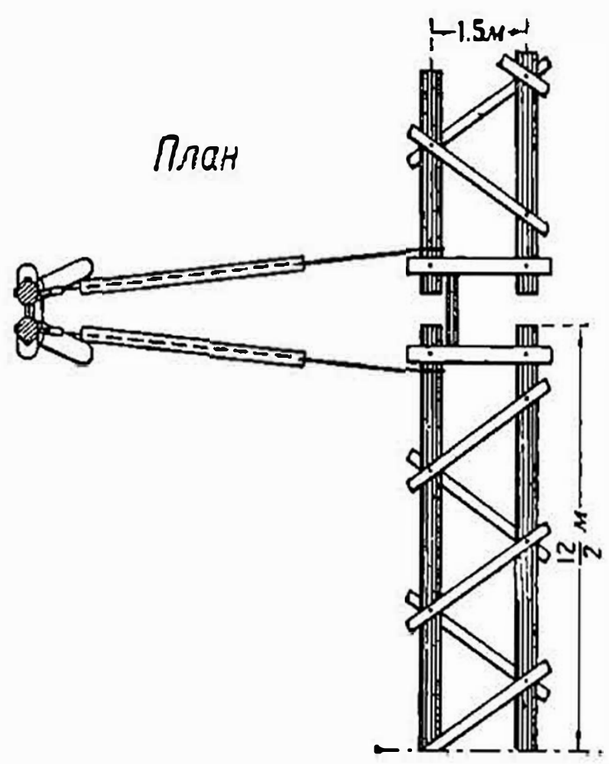


Рис. 219а

Эти два предела соответствуют разным условиям состояния погоды.

Сдвинутые ударом заплыви легко возвращаются на свое место помощью лодок.

Р я ж е в ы е о с н о в а н и я. В реках со скалистым дном свайные основания заменяются ряжевыми ящиками с каменной засыпкой (рис. 220).

Отрицательной стороной применения ряжевых оснований является трудность разборки их в русле,— нередко приходится производить разборку при помощи водолазов.

П л о в у ч и е о п о р ы. Хотя устройство подмостей на пловучем основании, т. е. на баржах, применялось на практике (рис. 221), однако рекомендовать применение его нельзя, так как такие подмости мало удовлетворяют основному условию постоянства положения. В действительности каждая из подвижных опор легко изменяет свое положение относительно других под действием волнения, односторонней перегрузки, бокового давления ветра и пр. В лучших условиях находятся подмости, в которых стоечная система подмостей заменена жесткими ф е р мами (рис. 222), в виде ферм Г а у, Т а у н а и др., своей жесткостью регулирующими колебания отдельных барж или понтонов. Некоторой мерой ослабления

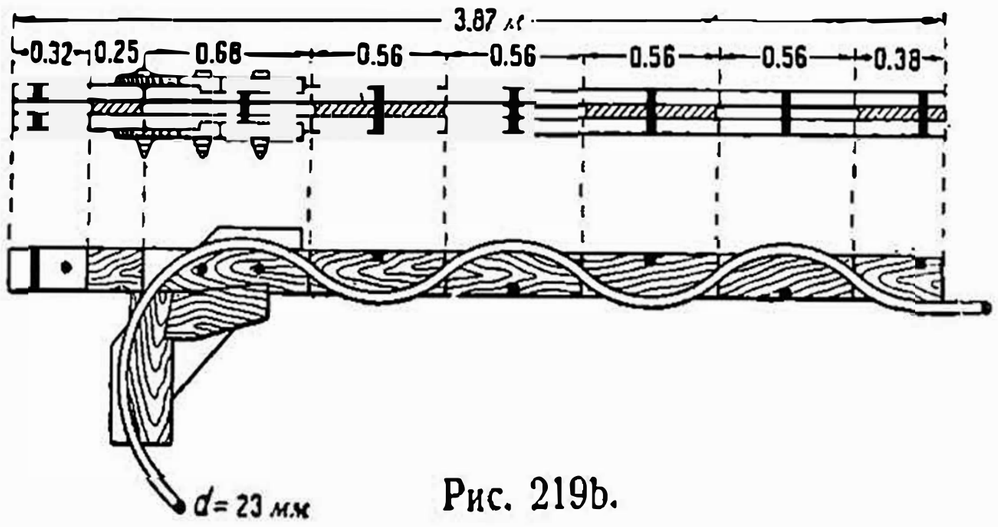


Рис. 219b.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

вредного действия волнения реки служит устройство заплывей из бревен, фашин и пр., связываемых в виде плотов шириной около 1 *м* и цепью окружающих пловучие опоры с верховой стороны.

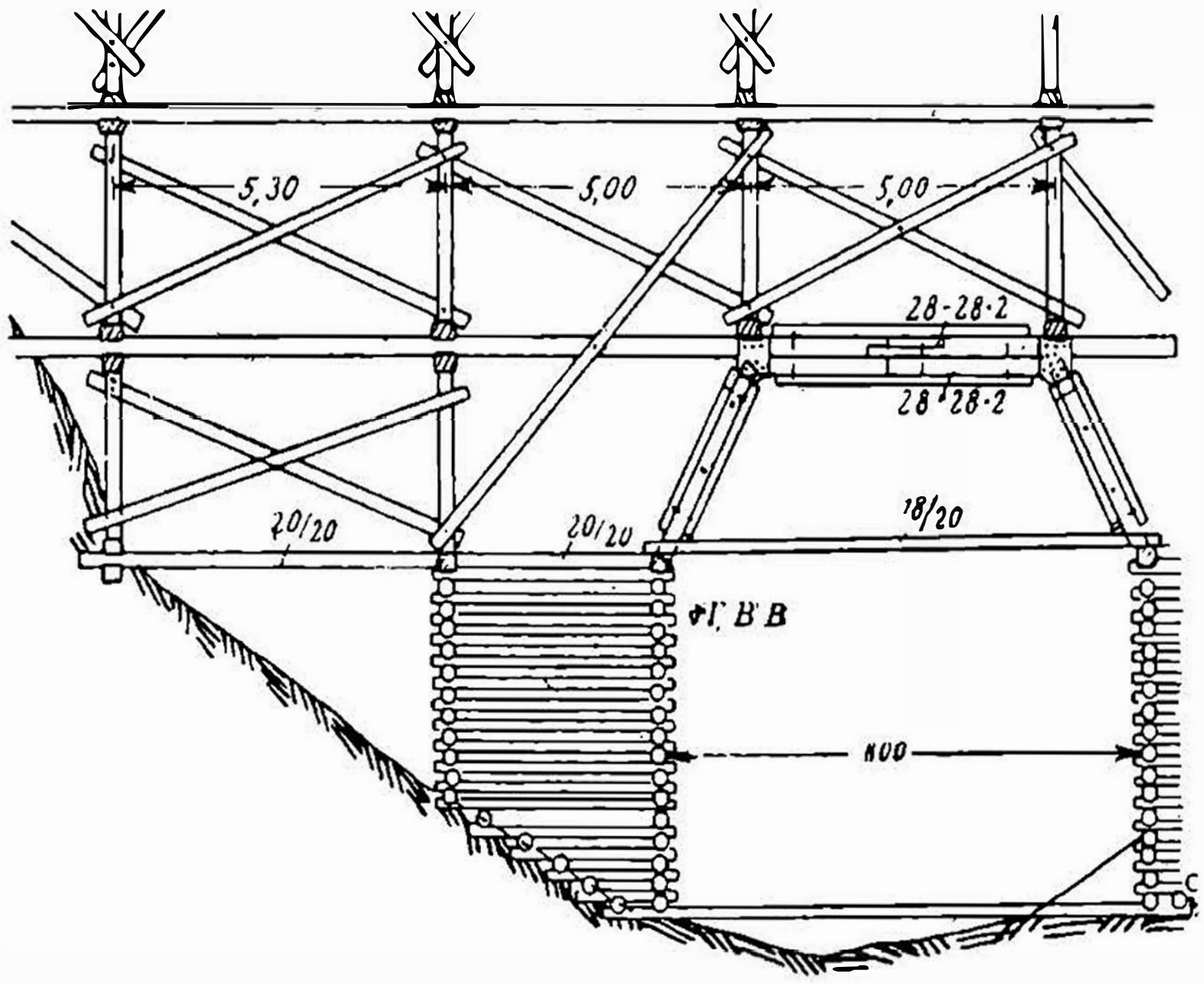


Рис. 220.

Вторым недостатком подмостей на пловучих опорах является изменчивость их высоты в зависимости от колебания уровня воды в реке. Сохранение определенной высоты подмостей достигается изменением количества водного баласта в них путем откачивания его или накачивания. Во время крена барж от волнения или давления ветра водный баласт стремится слиться в одну сторону и тем повышает общий крен; устраняется это путем постановки в баржах непроницаемых перегородок, удерживающих баласт в более равномерном распределении по всей барже.

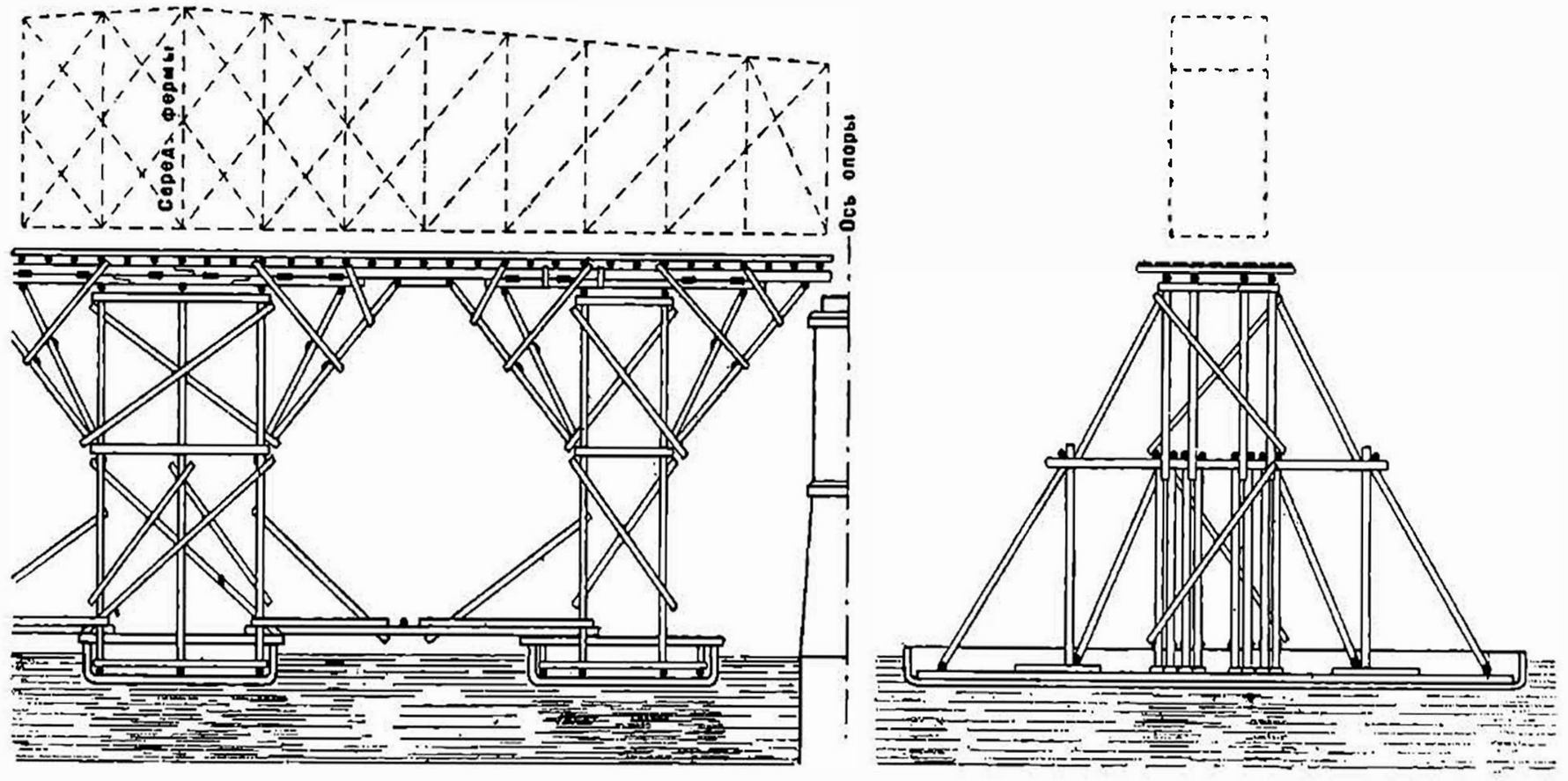


Рис. 221. Пловучие подмости для сборки на мосту через р. Дон.

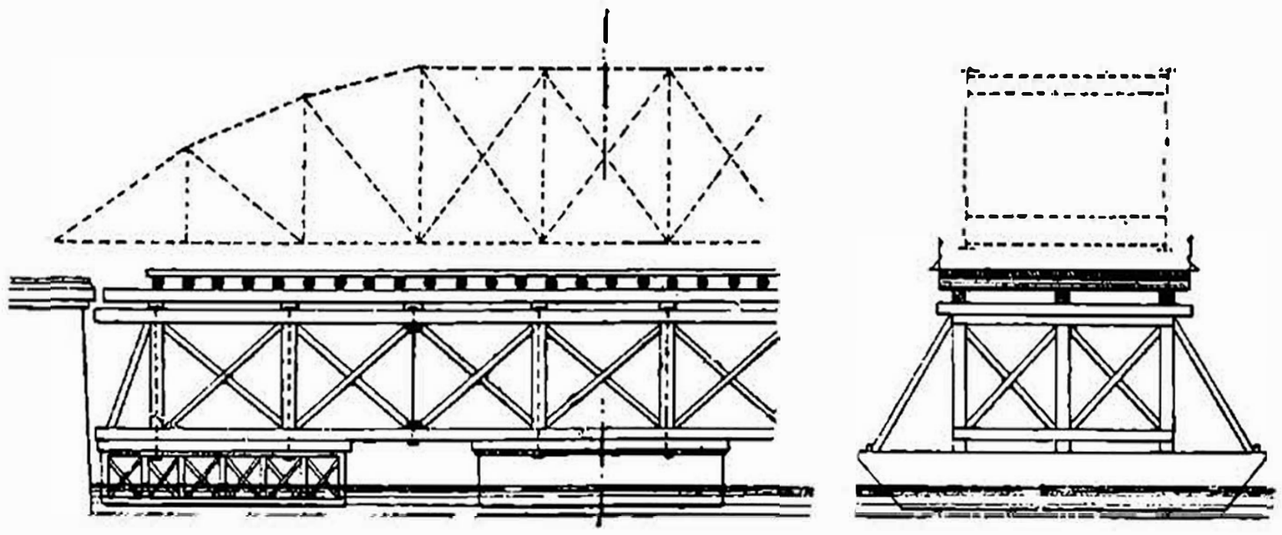


Рис. 222. Пловучие подмости с жесткими фермами.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Под давлением ветра на подмости и собираемое пролетное строение, а также от давления текущей воды на баржи пловучие подмости стремятся сдвинуться с оси моста. От этого сдвига они удерживаются расчаливанием их к берегам реки, где это возможно, или к неподвижным якорям.

Гидродинамическое давление воды, зависящее от скорости течения v, без учета влияния волнения, величина которого вообще незначительно определяется по формуле:

$$S = \varphi \gamma F \frac{v^2}{2g},$$

где F — проекция смачиваемой поверхности на плоскость нормальную течению; γ вес $1\,м^3$ воды $= 1\,000\,кг$; $2g$ — ускорение силы тяжести $9{,}81\,м/сек^2$ и φ — коэфициент зависящий от очертания баржей. Величина коэфициента φ для призматического тела с притупленными концами принимается:

При отношении $\frac{L}{\sqrt{F}}$.	0,03	1,00	2,00	3,00,
для неподвижного тела φ =	1,86	1,47	1,35	1,33,

По опытам Боссю величина коэфициента φ уменьшается в зависимости от величины заострения концов баржей в следующих отношениях:

1) При заострении переднего конца до угла . .	132°	84°	60°	12°
φ уменьшается на	15%	40%	56%	60%
2) При заострении заднего конца до угла .	96°	48°	24°	
φ уменьшается на .	11%	14%	16%	

При скоростях течения реки менее 3 *м/сек* величина давления воды на баржи вообще весьма незначительна по сравнению с давлением ветра на подмости и собираемое пролетное строение.

Так как сборка на подмостях ведется продолжительный срок, то приходится вводить в расчет повышенное давление ветра на поверхности очертания подмостей и собираемого пролетного строения, вводя коэфициент заполнения этих поверхностей по соображению с конструкцией подмостей и ферм пролетного строения согласно установленным нормам.

Укрепление пловучих подмостей против сдвига делается как с верховой, так и с низовой стороны реки. Закрепление их с берегами реки возможно, когда ширина ее не превосходит 150 — 200 *м*. При большей ширине закрепление делается к якорям. Размеры последних изменяются в зависимости от скорости течения реки и нагрузки баржей. При скоростях течения 0,5 — 2 *м/сек* вес якорей берется от 1/150 до 1/250 общей нагрузки баржей [1]). Якоря считаются хорошо закрепленными, когда канат действует на якорь в направлении почти горизонтальном, и когда канат идет по направлению течения. Первое из этих условий обеспечивается длиной якорного каната, которая делается не менее 10-кратной глубины воды; в этом случае угол наклона каната к горизонту $= 5°45'$ ($\sin 5°45' = 0{,}1$).

При несоблюдении второго условия, а именно несовпадения каната с направлением течения, канат под давлением воды понуждает опоры выйти из своего первоначального положения и этим сдвигает подмости.

Баржи, образующие пловучие опоры, должны быть рассчитаны на прочность от изгиба их и на устойчивость под давлением ветра (см. § 34).

---

1) На работах по снятию пролетных строений на Подольском мосту через р. Днепр устройство неподвижного якоря было сделано путем погружения на дно баржи с загрузкой ее камнем; коэфициент трения баржи по дну был принят равным 0,35 и использован с двойным запасом прочности.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

§ 26. Стоимость подмостей. При разработке вопроса о выборе того или иного вида сборки представляется крайне важным заранее, хотя бы приблизительно, определить стоимость сборочных подмостей. Вывод единичной стоимости подмостей осложняется большим разнообразием конструкции их и различием в размерах загружения; к тому же стоимость лесного материала, оплата рабочих изменяются в зависимости от местоположения работ. Более общий подход к решению вопроса о стоимости может быть сделан путем определения количества материала, потребного для изготовления подмостей и вычисления количества рабочих, потребных на изготовление их; стоимость материалов и оплата рабочих рук может быть установлена в каждой местности путем предварительных справок.

1. Стоимость настила подмостей слагается из стоимости накатника, досок, гвоздей и рабочей силы.

В зависимости от величины нагрузки накатник из круглого леса, диаметром от 14 до 20 *см*, укладывается на взаимном расстоянии от 0,8 до 1,0 *м*. В таблице 1,0 показано количество накатника разного размера, приходящегося на 1 $м^2$ настила.

В той же таблице вычислено количество кубических метров досок, приходящихся на 1 $м^2$ настила при толщине их от 3,8 до 5,0 *см*.

ТАБЛИЦА 10.

Количество лесного материала, потребного на 1 $м^2$ настила при весе 1 $м^3$ дерева—750 кг.

Размеры		При расстоянии между накатником							
		0,80 *м*				1,00 *м*			
		Накатника		Досок		Накатника		Досок	
Накатника *см*	Досок *см*	$м^3$	*кг*	$м^3$	*кг*	$м^3$	*кг*	$м^3$	*кг*
14	3,8	0,0193	14,48	0,038	28,5	0,0154	11,55	0,038	28,5
14	5,0	0,0193	14,48	0,050	37,5	0,0154	11,55	0,050	37,5
17	3,8	0,0284	21,30	0,038	28,5	0,0227	17,03	0,038	28,5
17	5,0	0,0284	21,30	0,050	37,5	0,0227	17,03	0,050	37,5
20	5,0					0,0314	23,55	0,050	37,5

Эта таблица определяет теоретическое количество лесного материала, потребного на перекрытие 1 $м^2$. В действительности накатник укладывается всегда с напуском, а доски прирубаются; поэтому при расчете действительно потребного количества лесного материала надо количество накатника увеличивать на $15^0/_0 — 20^0/_0$, а досок на $12^0/_0 — 15^0/_0$.

Исходя из этих соображений, можно вычислить примерную стоимость лесного материала при любой комбинации количества накатника — *a* и настила — *b*. Например, для накатника диаметром 17 *см* и досок толщиной 5 *см* при расстоянии между накатником 0,8 *м* стоимость лесного материала определяется выражением:

$$A_1 = 1{,}15\,\beta_1 .\ 0{,}028 + 1{,}12\,\beta_2 \cdot 0{,}50,$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

или в общем виде:

$$A_1 = 1{,}15\,\beta_1 a + 1{,}12\,\beta_2 b, \tag{19}$$

где β_1 и β_2 — стоимости $1\,м^3$ накатника и досок.

Количество гвоздей, потребное для пришивки досок, определяется из расчета, что на пришивку 1 *пог. м* досок в среднем расходуется 2,5 штук 10-*см* гвоздей. При этом расходе на пришивку $1\,м^2$ настила требуется в среднем $0{,}20\,кг$ гвоздей, что составляет стоимость:

$$A_2 = \beta_3 \cdot 0{,}20,$$

где β_3 — стоимость $1\,кг$ гвоздей на месте работ.

Рабочая сила, потребная на устройство $1\,м^2$ настила по данным производившихся работ, составляет:

плотников на укладку 1 *пог. м* накатника . . 0,028,
» » пригонку и пришивку с $1\,м^2$ досок 0,035.

При расстоянии между накатником в $0{,}80\,м$ стоимость рабочей силы плотников определяется выражением:

$$A_3 = \left(\frac{0{,}028}{0{,}8} + 0{,}035\right)\beta_4 = 0{,}07\,.\beta_4, \tag{20}$$

где β_4 — оплата плотника за 8-часовой рабочий день.

К стоимости рабочей силы надо присоединить еще стоимость разборки настила. По данным современных работ оплата этой работы со складом материала по сортам оценивается:

Стоимость снятия 1 *пог. м* накатника 0,013 — 0,015 плотников.

Разборка $1\,м^2$ настила — 0,02 плотников; что при расстоянии между накатником в $0{,}8\,м$ составляет расход на $1\,м^2$ настила:

$$A_4 = \left(\frac{0{,}014}{0{,}8} + 0{,}02\right)\beta_5 = 0{,}0375\,\beta_5, \tag{21}$$

где β_5 — оплата за день плотника второй руки.

Таким образом стоимость $1\,м^2$ настила определяется суммой:

$$A = 1{,}15\,\beta_1\,a + 1{,}12\,\beta_2\,b + 0{,}20\,\beta_3 + 0{,}07\,\beta_4 + 0{,}0375\,\beta_5. \tag{22}$$

2. Количество лесного материала, идущего на постройку подмостей, зависит от конструкции последних, высоты и ширины их.

В таблице 11 (см. стр. 180) показано количество *куб. м* круглого леса, идущего на $1\,м^2$ продольного очертания подмостей различной конструкции, считая высоту их от уровня меженних вод до настила и длину, равной длине пролета.

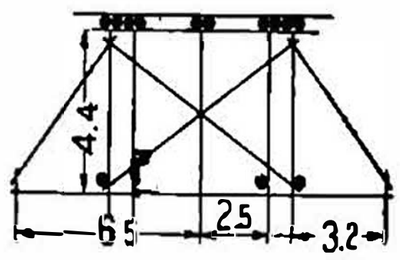
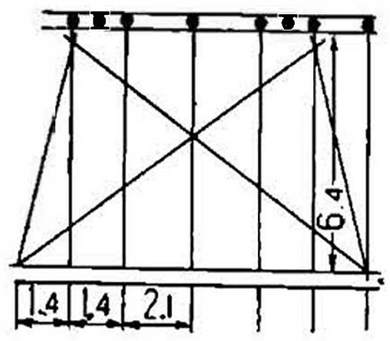
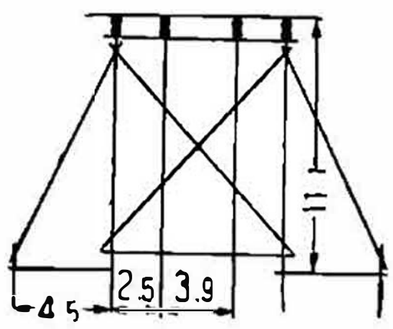
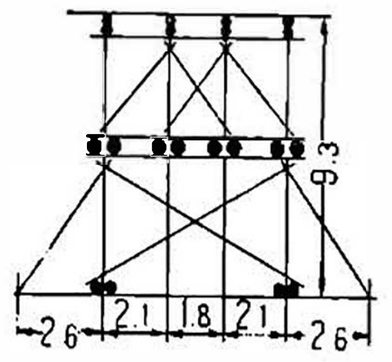
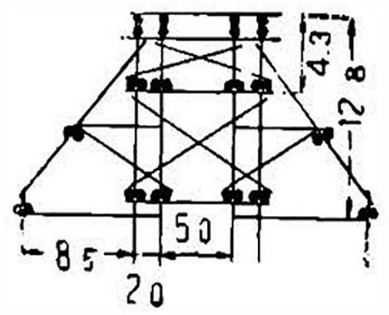
Из сопоставления данных таблицы 11 видно, что количество C лесного материала, идущего на $1\,м^2$ продольного очертания подмостей с одинаковым числом основных сваек и подкосов в поперечном сечении, более или менее постоянно. По характеру изменения величины количества C подмости могут быть разделены на три группы:

$$\left.\begin{array}{l} 1.\ \text{Подмости с 4 или 5 основными стойками и 2 подкосами } C = \\ \quad = 0{,}135 \\ 2.\ \text{Подмости с 4 основными стойками или с 3 основными стойками} \\ \quad \text{и 2 подкосами } C = 0{,}110 \\ 3.\ \text{Подмости с 2 основными стойками и 2 подкосами } C = 0{,}085 \end{array}\right\} \tag{23}$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

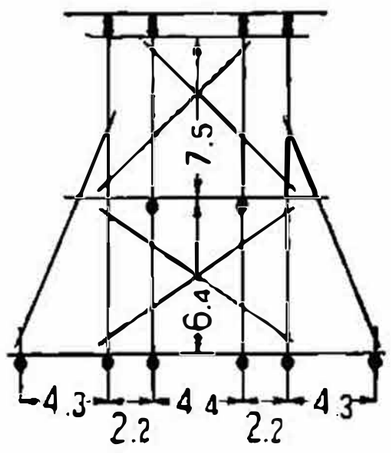
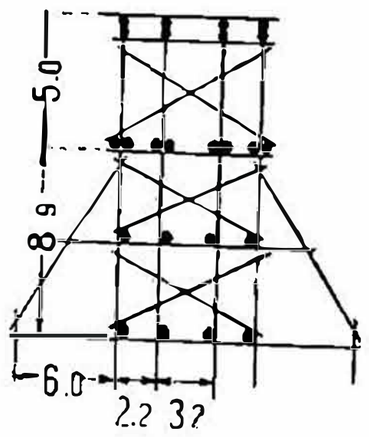
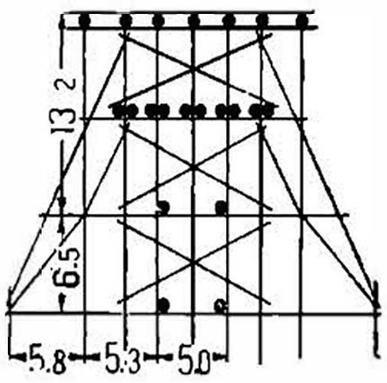
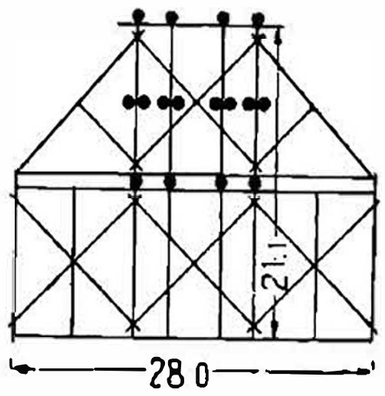
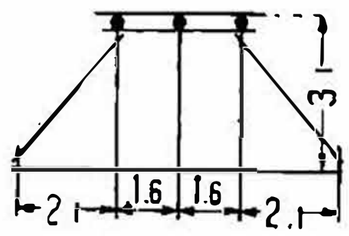
ТАБЛИЦА 11.

Количество лесного материала на 1 м² продольного очертания подмостей.

№№ по порядку	Наименование моста на реках	Пролет L м	Высота подмост. h м	Характер продольной конструкции подмостей	Расст. между поп. рядами подмостей м	Поперечная конструкция подмостей	Количество лесного материала в м³ на 1 м² продольного очертания подмостей
1	Хопер	107	5,56	Парные прогоны	6,95		0,128
2	Аму-Дарья . .	64,3	7,3	Парные прогоны	4,75		0,138
3	Москва	53,5	9,3	Двойные прогоны с подкосами	5,0		0,137
4	Жиздра .	75,0	11,15	Двойные прогоны с подбалками	6,45		0,126
5	Суда .	126,5	12,8	Двойные прогоны и подкосы с подбалками	6,45		1,137

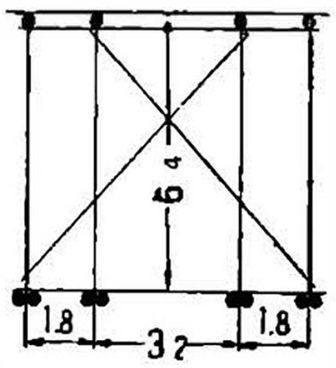
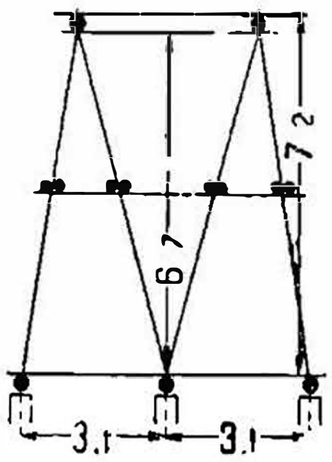
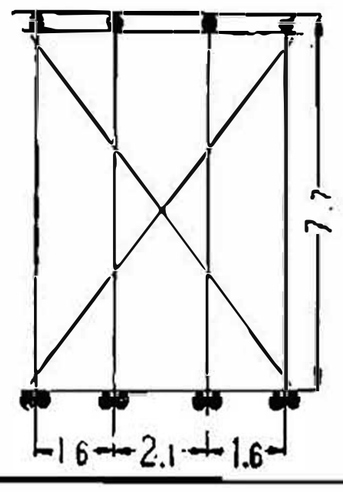
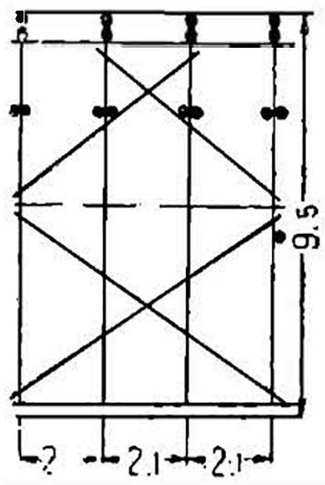
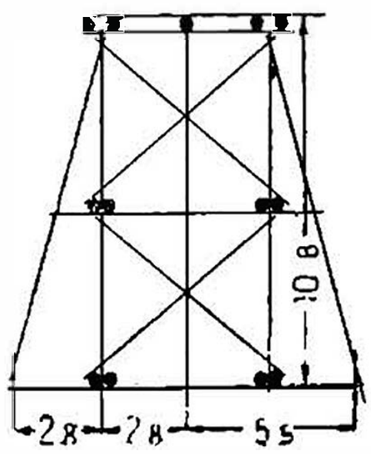
НБ УДУНТ (ДІІТ)

Таблица 11 (продолжение).

№№ по порядку	Наименование моста на реках	Пролет L м	Высота подмост. h м	Характер продольной конструкции подмостей	Расст. между поп. рядами подмостей м	Поперечная конструкция подмостей	Количество лесного мат-риала в м³ на 1 м² проекции его очертания подмостей
6	Ока . .	124	13,9	Двойные прогоны с подкосами и подбалками	7,95		0,124
7	Казанка	64,5	15,2	Двойные прогоны в подкосы с ригелями	6,45		0,131
8	Вятка .	12,5	19,8	Прогоны и подкосы с ригелями	7,3		0,135
9	Ока .	96,5	21,2	Двойные прогоны и подкосы с ригелями	5,9		0,138
10	Киржач .	16,3	3,64	Одиночные прогоны и подкосы с ригелями	7,85		0,106

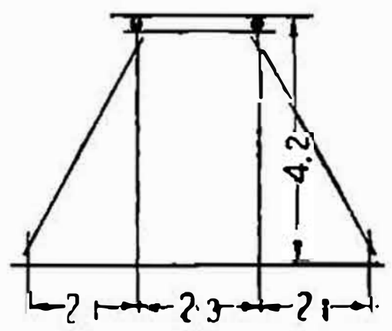
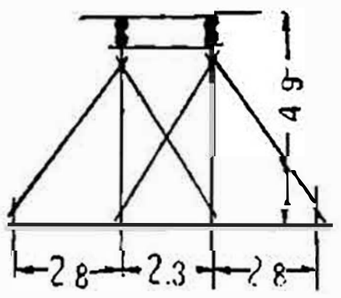
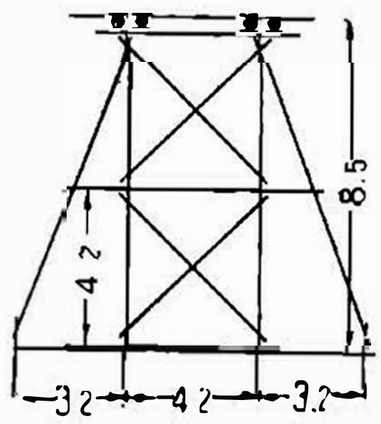
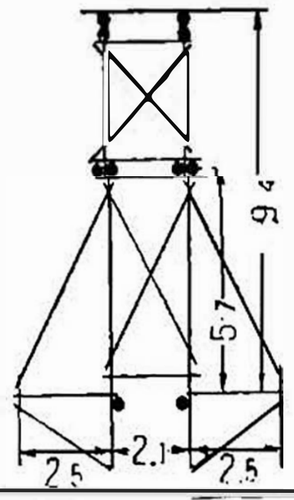
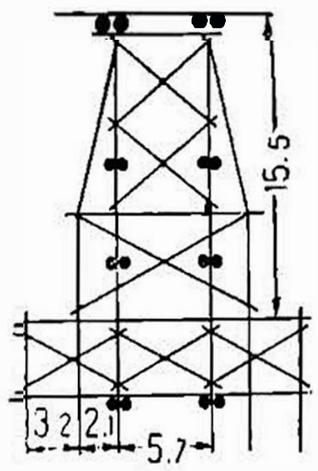
НБ УДУНТ (ДІІТ)

Таблица 11 (продолжени).

№№ по по ядку	Наименование моста на реках	Пролет L м	Высота подмост. h м	Характер продольной конструкции подмостей	Расст. между п п. рядами подмостей м	Поперечная конструкция подмостей	Количество лесного материала в $м^3$ на 1 $м^2$ продольного очертания подмостей.
11	Пойма р. Волга .	25,7	6,42	Одиночные прогоны и подкосы с подбалками	7,15		0,109
12	Павловка	43,0	7,3	Одиночные прогоны с подбалками	2,85		0,117
13	Лозовятка .	32,1	7,7	Одиночные прогоны	3,06		0,109
14	Ока	53 5	9,65	Двойные прогоны и подкосы с подбалками	9,1		0,111
15	Москва	64,3	10,7	Парные прогоны с подбалками	4,86		0,102

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Таблица 11 (продолжение).

№№ по порядку	Наименование моста на реках	Пролет L м	Высота подмост. h м	Характер продольной конструкции подмостей	Расст. между п. рядами подмостей м	Поперечная конструкция подмостей	Количество лесного материала в м³ на 1 м продольного очертания подмостей
16	Осиновка .	32,15	4,94	Одиночные прогоны и подкосы с подбалками	6,45		0,0785
17	Ромод.-Нижегор. .	21,4	4,3	Одиночные прогоны и подкосы с ригелями	6,1		0,086
18	Оптуха .	43,0	8,56	Парные прогоны	4,72		0,0855
19	Яуза	21,4	9,4	Двойные прогоны с подкосами	4,50		0,0765
20	Самарка	85,6	19,5	Парные прогоны	5,50		3,008

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Для подмостей высотой менее $4\,м$ эти величины — C должны повышаться на 25%.

Приведенные в таблице 11 данные о количестве лесного материала получены путем вычисления теоретического объема без учета припусков, обрезков; поэтому при вычислении покупного количества лесного материала следует теоретическое количество материала увеличить на 20%.

На основании этих данных покупная стоимость лесного материала определяется выражением:

$$B_1 = 1{,}2\,C \cdot l \cdot h \cdot \beta_1, \tag{24}$$

где l — длина пролета, h — высота подмостей от уровня воды до настила и β_1 — стоимость $1\,м^3$ круглого леса.

Стоимость железных скреплений в подмостях (болтов, скоб и пр.) изменяется в пределах от 5% до 8% стоимости лесного материала [1]). Это процентное отношение зависит от конструкции подмостей, конструкции прогонов, а также от места положения работ.

При расчете стоимости скреплений принимают ее равной 7% стоимости лесного материала, а именно:

$$B_2 = 0{,}07\,C \cdot L \cdot h \cdot \beta_1. \tag{25}$$

Стоимость рабочей силы, потребной на изготовление подмостей, возрастает с увеличением высоты подмостей. С достаточной степенью точности можно считать, что для постановки в подмости высотой от 4 до $20\,м$ 1 *пог. м* круглого леса требуется от 0,10 до 0,12 рабочих дней плотников [2]).

Если принять средний диаметр лесного материала равным $22\,см$, то на постановку в подмости $1\,м^3$ круглого леса в среднем потребуется от 2,63 до 3,16 рабочих дней плотников.

В соответствии с этим стоимость рабочей силы по постройке подмостей определяется выражением:

$$B_3 = \left.\begin{matrix}\text{от } 2{,}63 \\ \text{до } 3{,}16\end{matrix}\right\} C \cdot l \cdot h \cdot \beta_4 \tag{26}$$

К стоимости подмостей надо отнести еще расход на рабочую силу по разборке их. На производство этой работы по современным данным требуется $0{,}025 - 0{,}03$ плотников на снятие 1 *пог. м* лесного материала, с уборкой его по сортам, что составляет на $1\,м^3$ лесного материала от 0,65 до 0,80 плотников.

Стоимость разборки всех подмостей:

$$B_4 = \left.\begin{matrix}\text{от } 0{,}65 \\ \text{до } 0{,}80\end{matrix}\right\} C \cdot l \cdot h \cdot \beta_4. \tag{27}$$

Таким образом средняя стоимость сооружения подмостей определяется суммой:

$$B = C \cdot l \cdot h\,(1{,}2\,\beta_1 + 0{,}07\,\beta_1 + 2{,}90\,\beta_4 + 0{,}725\,\beta_4) \tag{28}$$

---

[1]) По Мессершмиту (Messerschmitt, «Calculation. d. Eisenconstruct») стоимость железных скреплений в подкосных простых подмостях составляет 5% стоимости лесного материала. По отчетным данным по сборке пролетных строений на мосту через р. Вятку стоимость круглого лесного материала составляла 17 330 руб, стоимость болтов и скоб — 1 100 руб. Последнее составляет около $6{,}3\%$ первого, не считая гвоздей для подшивки решетования.

[2]) По довоенным работам постановка 1 пог. саж. обходилась от 30 до 40 коп., что при средней оплате плотника 1 р. 20 к. за 10-часовой рабочий день составляло от 0,25 до 0,33 плотников на 1 пог. саж., или 0,117 до 0,154 на *пог. м*. По расчетам работ на мосту через р. Оку (1926 г.) постановка 1 пог. саж. подмостей оценивалась 1 р. 25 к., что при средней оплате плотника 5 р. составляет 0,25 плотников на 1 пог. саж., или 0,117 плотников на 1 *пог. м*.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Определение стоимости подмостей с большими отверстиями, перекрытыми деревянными фермами, представляет большие трудности, так как стоимость их сильно изменяется в зависимости от конструкции, взаимного расположения ферм и пр. Несколько проще обстоит вопрос об определении стоимости подмостей с большими отверстиями, перекрытыми металлическими фермами, амортизация которых определяется по весу их.

Учет стоимости основания подмостей не введен в вышеприведенные формулы, так как стоимость основания существенно зависит от местных условий, т. е. свойства дна реки; эта стоимость подсчитывается по данным урочного положения.

3. При исчислении стоимости подмостей необходимо предвидеть накладные расходы. Этот вид расходов не может быть нормирован по отдельным своим статьям, так как в существенной степени зависит от внутренней организации. В СССР принято этот расход выражать в процентном отношении к стоимости заработной платы по производству.

При расчете стоимости подмостей эти начисления должны делиться на:

1) заработную плату по изготовлению и разборке настила, равную

$$0{,}07\,\beta_4 + 0{,}0375\,\beta_5,$$

2) заработную плату по изготовлению и разборке подмостей, равную

$$(2{,}93\,\beta_4 + 0{,}725\,\beta_4)\,C\cdot l\cdot h = 3{,}625\,\beta_4 .\, C\cdot l\cdot h.$$

Ниже приведены данные о накладных расходах одной из центральных организаций по сборкам мостов, выраженные в процентном отношении к заработной плате.

1. Начисления на рабочую силу: соцстрах, профсоюз	11%
2. Накладные расходы на рабочую силу: проездные, суточные, квартирные, прозодежда, выходные и пр.	25—30%
3. Цеховые расходы: содержание административно-технического персонала, командировочные, содержание конторы и пр.	24—28%
4. Амортизация инструмента . .	4 — 5%
5. Содержание центральных органов . .	8—10%
Всего . .	72—84%

Таким образом если принять накладные расходы равными 80%, то при ширине настила s полная стоимость подмостей определится суммой:

$$\left.\begin{aligned} K = [1{,}15\,\beta_1 a + 1{,}12\,\beta_2 b + 0{,}2\,\beta_3 + 1{,}8\,(0{,}07\,\beta_4 + 0{,}375\,\beta_5)]\,ls + \\ + (1{,}2\,\beta_1 + 0{,}07\,\beta_1 + 1{,}8\cdot 3{,}625\,\beta_4)\,Clh \end{aligned}\right\} \qquad (29)$$

Эта расчетная стоимость несколько снижается за счет стоимости лесного материала, остающегося после разборки подмостей и частичо используемого или для других работ или в виде дров. При аккуратной разборке этот отход лесного материала можно считать в размере $20 — 25\%$ первоначальной стоимости.

§ 27. Данные для расчета подмостей. Подмости подвергаются действию вертикальной и горизонтальной нагрузок. Вертикальная нагрузка состоит из веса собираемой конструкции, веса подвижных кранов, веса артелей рабочих, веса настила и веса самих подмостей. К горизонтальной нагрузке относится давление ветра на собираемую конструкцию и на подмости.

Нагрузка от веса собираемой конструкции вычисляется по спецификации веса. Собираемые конструкции помещаются на клетках, а потому нагрузка от них передается на подмости в виде сосредоточенных грузов — P, величина которых определяется в предположении, что вес пролетного строения передается равномерно на все клетки числом n, а именно:

$$P = \frac{p}{n}\cdot l \qquad (30)$$

Нагрузка подмостей подвижными сборочными кранами определяется по действительному весу последних. Вес крана может быть выяснен только по надлежащей

НБ УДУНТ (ДІІТ)

разработке его конструкции, которая в свою очередь видоизменяется соответственно предполагаемому методу сборки. Характеристикой веса кранов могут служит данные § 21.

Нагрузка подмостей рабочими, инструментом и пр. нормированы постановлением СТО (см. приложение в конце книги).

Нагрузка от веса полового настила, включающая в себя вес накатника и досок, может быть определена по данным таблицы; она изменяется в зависимости от ширины — b собираемого пролетного строения и выпуска настила за пределы этой ширины.

Для пролетов менее 30 *м* вес настила

$$q' = \alpha(b + 2 \cdot 0{,}80)\ кг. \tag{31}$$

Для пролетов более 30 *м* вес настила

$$q' = \alpha(b + 2 \cdot 1{,}25)\ кг. \tag{32}$$

В этих формулах коэфициент α берется по таблице 10 и определяет собой сумму веса накатника и досок сообразно их размерам и расстоянию между накатником.

Нагрузка от веса самих подмостей без настила и свай на 1 *пог. м* длины их определяется выражением:

$$q = 750\,C \cdot h\ кг, \tag{33}$$

где C — коэфициент, определяемый данными таблицы 111, h — высота подмостей от уровня меженних вод до настила, измеряемая в метрах.

Определение веса ферм, применяемых в подмостях с большими отверстиями, может быть сделано только приближенно, так как вследствие редкого применения их нельзя вывести каких-либо определенных коэфициентов.

Предварительное определение веса деревянных ферм Гау можно делать по эмпирической формуле, применяемой для расчета мостов [1]), по которой:

Вес поясов фермы .	$0{,}0052\,(p+q)\,\frac{l^2}{h}\ кг/м$,
Вес решетки »	$0{,}0024\,(p+q)\,l$
Вес продольных связей в плоскости одного пояса	$40\,h$,
Вес поперечных связей	$40 + 20\,h$

В этих формулах l — пролет и h — высота фермы в метрах, p — равномерно распределенная нагрузка на *пог. м* фермы от настила, пролетного строения и пр., q — собственный вес 1 *пог. м* сборочных ферм со связями.

Отсюда следует, что

$$q = 0{,}0052\,(p+q)\frac{l^2}{h} + 0{,}0024\,(p+q)l + 40h + 40 + 20h.$$

Сделав приведение, получим:

$$q = \frac{p(0.0052\,l^2 + 0{,}0024\,lh) + 60h^2 + 40h}{h - 0{,}0052l^2 - 0{,}0024lh} \tag{34}$$

Данных о весе металлических сборочных ферм очень мало, что затрудняет определение веса их. Предварительное определение веса этих ферм можно делать при помощи линий влияния с загружением их наибольшей расчетной нагрузкой,

---

[1]) Проф. Патон, «Деревянные мосты», изд. 1921 г., стр. 32.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

слагающейся из q — веса 1 *пог. м* самих ферм со связями, q' — веса настила на *пог. м* их и p — веса собираемой конструкции, рабочих инструмента на *пог. м* ферм.

Если принять, что полная площадь линии влияния в каждом элементе фермы равна ω, то теоретический объем каждого из них будет равен:

$$v = \frac{\omega \cdot (p + q' + q)}{R} \lambda,$$

где λ — теоретическая длина элемента в *см*, а R — основное допускаемое напряжение.

Этот объем должен быть исправлен введением конструктивного коэфициента. Так как эти фермы обычно бывают с малыми сечениями элементов, в которых трудно видоизменять сечения в соответствии с теоретическими усилиями, то для первого приближения следует конструктивный коэфициент принять в среднем не менее 2 — 2,2.

На основании изложенных соображений величина собственного веса сборочных ферм может быть выражена формулой:

$$ql = 0{,}00785 \cdot 1{,}2 \sum \frac{2{,}2 \cdot \omega}{R} (p + q' + q) \lambda.$$

В этой формуле вес самих ферм исправлен добавлением 20% на вес продольных и поперечных связей.

Сделав приведение, получим:

$$q = \frac{0{,}0188 (p + q') \Sigma \omega \lambda}{Rl - 0{,}0188 \Sigma \omega \lambda}. \qquad (35)$$

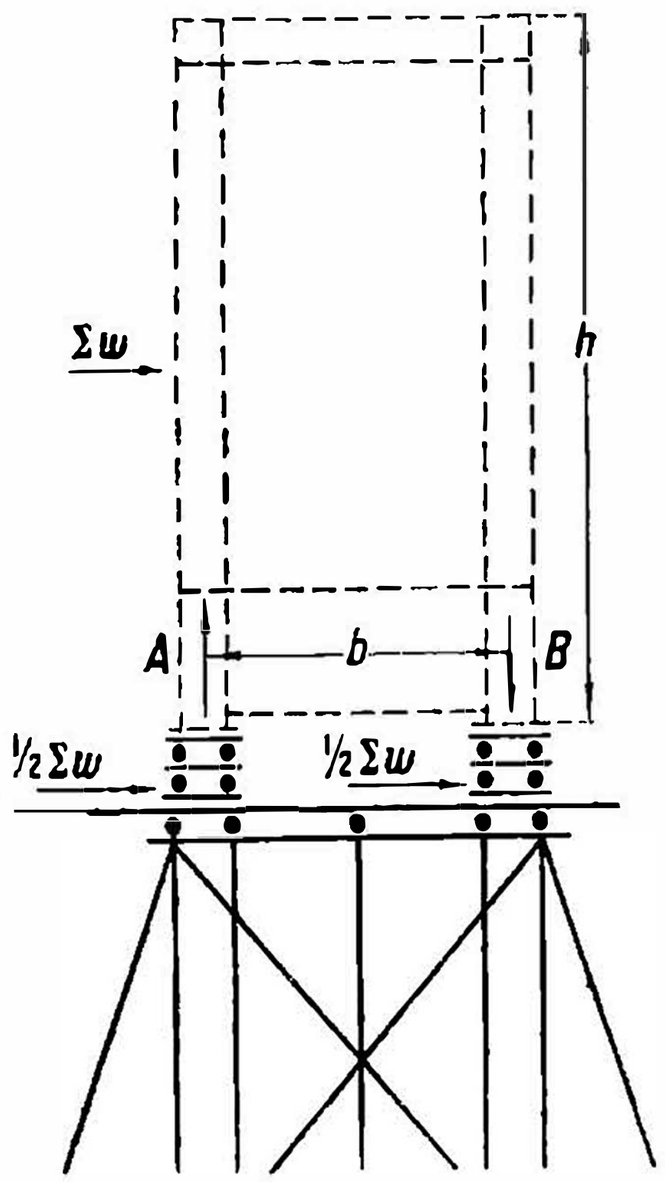


Рис. 223.

Формулы (34 и 35) служат, как указывалось выше, для приближенного определения веса ферм. Однако опасаться больших ошибок при пользовании ими не приходится, так как опыт проектировки мостовых ферм показал, что даже при ошибке на 25% в весе ферм пролетом до 50 *м* ошибка в расчетном напряжении редко превосходит 5%.

Кроме вертикальной нагрузки подмости подвергаются действию горизонтальной нагрузки в виде давления ветра на собираемое пролетное строение и на подмости Величина этого давления и способы учета его нормированы постановлением СТО (см. приложение в конце книги).

Давление ветра на собираемое пролетное строение передается на подмости в виде горизонтальных сил $= \frac{1}{2} \Sigma w$ (рис. 223) приложенных через клетки на уровне настила и в виде опрокидывающей пары с вертикально направленными силами A и B, вызывающими перегрузку подмостей.

Что касается допускаемых напряжений и изменения величины их в зависимости от вида действия сил, то таковые в настоящее время нормированы вышеуказанным постановлением СТО.

Установка пролетных строений на место путем разного рода надвиганий.

§ 28. Характер работ и виды надвиганий. Сборка ферм на подмостях непосредственно на месте установки не всегда возможна по бытовым условиям реки, да и стоимость подмостей иногда оказывается настолько велика, что выгоднее про-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

извести затрату на более сложную установку, избежав расход на подмости. В таких случаях сборку на месте установки заменяют сборкой где-либо вблизи ее, и пролетное строение уже в готовом виде подвозят к месту установки.

Процесс сборки вблизи места установки ничем не отличается от такового же на подмостях с тою только разницей, что вместо настила на подмостях выравнивается площадка на земле примерно такой же ширины, как и ширина настила на подмостях; иногда во избежание большого количества земляных работ выравнивание площадки заменяется устройством подмосток с настилом. Сборка на земле вблизи места установки имеет даже преимущество перед таковой же на подмостях в отверстии моста, так как, при наличии более прочного настила для поддержания пролетного строения, нельзя ожидать искривления ферм от разных случайностей; затем работа не стесняется шириной настила, что облегчает производство ее и делает ее более безопасной для рабочих; наконец, утеря сборочных болтов, шайб, заклепок, происходящая главным образом от падения их в воду, значительно уменьшается. Зато установка ферм на место в этих случаях далеко не так проста, как установка их с подмостей над местом установки.

В зависимости от того, в каком месте берега реки относительно оси моста предполагается произвести сборку, различаются следующие методы установки ферм.

1. Поперечная надвижка, когда пролетное строение собирается параллельно, и рядом с местом установки и по окончании сборки сдвигается поперек своей оси.

2. Продольная надвижка, когда пролетное строение собирается на берегу по направлению долевой оси моста и надвигается вдоль оси моста.

3. Подвозка на пловучих опорах, когда пролетное строение собирается в стороне от моста и подвозится к месту установки на баржах или понтонах.

4. Поворачивание, когда пролетное строение собирается вдоль берега и поворачиванием вокруг одного из своих концов приводится на ось моста.

Каков бы ни был метод установки, во всех случаях он связан с различными случайностями, ввиду чего требует наиболее внимательного отношения как к выбору самого метода, так и вспомогательных приспособлений для производства передвижки и установки.

§ 29. Приспособления для передвижек. В качестве приспособлений для движения ферм применяются: салазки, катки, шары, вагончики и ролики.

Относительное достоинство каждого из указанных приспособлений движения рассматривается в зависимости от сопротивления, оказываемого ими при движении, а также в зависимости от общей сложности конструкции каждого из этих приспособлений.

Ниже сделано сопоставление величин сопротивления движению при трех видах движения: 1) скольжения (салазки), 2) непосредственного качения (катки, шары) и 3) качения на осях (тележки, ролики).

Для каждого из этих трех видов движения величина силы трения выражается следующими формулами:

$$\left.\begin{aligned} &1)\ \text{для скольжения:}\quad T_1 = f_1 P,\\ &2)\ \text{для качения:}\quad T_2 = (f_2 + f_2')\frac{P}{2R_1},\\ &3)\ \text{для качения на осях:}\quad T_3 = f_2\frac{P}{R_2} + f_3\frac{r}{R_2}P, \end{aligned}\right\} \qquad (36)$$

где f_1, f_2 и f_3 — коэфициенты трения, соответствующие виду движения и материалу.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

R_1 — радиус катков или шаров; R_2 — радиус колес тележки или роликов; r — радиус осей тележки или роликов.

В приводимых формулах не принято во внимание влияние веса катков, тележек и пр. как незначительного по сравнению с весом передвигаемых пролетных строений.

В случае движения стали по стали для каждого из этих видов движения можно принять следующие средние значения коэфициентов трения: $f_1 = 0{,}16$, $f_2 = f_2' = 0{,}05$ *см*; $f_3 = 0{,}075$ *см*. Если при этом принять $R_1 = R_2 = 5$ *см*; $r = 2$ *см*, то вышеприведенные величины сопротивления (41) будут иметь соотношение:

$$T_1 \quad T_2 : T_3 = 0{,}16\,P : 0{,}010\,P : 0{,}04\,P = 16 \quad 1 : 4.$$

Отсюда вытекает, что при одинаковых диаметрах катков и колес первые дают гораздо меньшую силу сопротивления (трения). Если же принять во внимание, что диаметр колес и роликов всегда значительно превосходит таковой же в катках и доходит до величины 1,00 *м* (см. рис. 233), тогда как диаметр катков не превосходит 20 *см*, то при тех же коэфициентах трения и при среднем значении $R_1 = 5$ *см*, $R_2 = 30$ *см*, $r = 3$ *см*, — те же формулы будут иметь соотношение:

$$T_1 \quad T_2 : T_3 = 0{,}16\,P : 0{,}010\,P : 0{,}0092\,P = 16 : 1 : 0{,}92,$$

которое показывает, что уже при этих условиях сопротивление при движении на вагончиках и роликах понижается против такого же на катках.

Применение салазок, катков и вагончиков обусловливает наличие известной поверхности, по которой могло бы происходить скольжение или качение, что достигается устройством вспомогательных подмостей различной длины и конструкции. Ролики же, имея неподвижную ось вращения, устанавливаются в определенных пунктах и требуют минимального устройства подмостей.

Подмости. По своей конструкции подмости для плоскостей скольжения и качения мало отличаются от конструкции сборочных подмостей. Основные требования, предъявляемые к ним, сводятся к достижению возможно большей неизменяемости под действием вертикальных и горизонтальных сил. Всякая незначительная просадка подмостей своим подъемом в сторону движения вызывает добавочные сопротивления, в несколько раз увеличивающие силу тяги, необходимую для движения по горизонтальной плоскости. Насколько возрастает это сопротивление в зависимости от угла наклона пути или подмостей, видно из рассмотрения следующего примера качения простого катка с радиусом r под давлением груза Q, при тяговом усилии T, приложенном в центре катка.

При качении по горизонтальной плоскости сила тяги или сопротивления выразится величиной:

$$T = Q\frac{f}{r} \tag{37}$$

где f — коэфициент трения при качении.

При качении по плоскости с углом наклона α величина сопротивления будет:

$$T' \qquad Q\sin\alpha + \frac{f}{r}Q\cos\alpha. \tag{38}$$

Влияние изменения угла наклона α можно охарактеризовать, задаваясь вопросом, при какой величине угла α сила $P_1 = 2P$, что удовлетворяется уравнением:

$$2 \cdot Q\frac{f}{r} = Q\sin\alpha + Q\frac{f}{r}\cos\alpha, \tag{39}$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

которое после преобразования приводится к виду:

$$4-\frac{4r}{f}\sin\alpha+\frac{r^2}{f^2}\sin^2\alpha=1-\sin^2\alpha.$$

Решая его относительно α, получим:

$$\sin\alpha=4\frac{\frac{r}{f}\pm\sqrt{16\frac{r^2}{f^2}-12\left(\frac{r^2}{f^2}+1\right)}}{2\left(\frac{r^2}{f^2}+1\right)}$$

Так как обычно отношение $\left(\frac{r}{f}\right)^2$ велико по сравнению с единицей, то последней в скобках можно пренебречь, и тогда

$$\sin\alpha=\frac{f}{r} \qquad (40)$$

При $f=0{,}05$ *см* и $r=5$ *см*, $\sin\alpha=0{,}01$ и $\alpha=\sim 40'$, из чего следует, что уже при наклоне, близком к 40', величина сопротивления движению возрастает вдвое. Отсюда становится понятным, как тщательно должно быть сделано основание подмостей и сами подмости в предупреждение их просадки.

Осадка подмостей слагается из упругой и остаточной. Первая из них является результатом деформации подмостей от сжимающих напряжений n; величина этой осадки зависит от высоты — H стоек и определяется для сосны и ели по формуле $\delta_1=\frac{nH}{11\cdot10^4}$. При обычно допускаемых нагрузках эта просадка составляет около 0,08 *см* на *пог. м*. Остаточная просадка является результатом усадки в стыковых соединениях; последняя зависит от тщательности пригонки в стыках стоек и насадок, опыт показывает, что эта усадка δ_2 достигает 4 — 5 *мм* в каждом соединении Таким образом при K стыковых соединениях полная осадка подмостей будет:

$$\Delta H=\left(\frac{nH}{11\cdot10^4}+K\delta_2\right)см. \qquad (41)$$

Во время надвижек пролетного строения моста через р. Белую Сев.-Зап. ж. д. были отмечены упругая осадка подмостей в 24 *мм* и остаточная в 27 *мм*. Так как при этой надвижке высота подмостей равнялась 25,1 *м*, и в стойках подмостей имелось 4 стыка, не считая соединений насадки со стойками и насадки с прогонами, то расчетная осадка по формуле (4) должна была бы быть:

$$\Delta H=25{,}1\times0{,}08+(4+1)5=2{,}0+2{,}5=4{,}5\ см,$$

что близко к наблюдавшейся в действительности.

Для того чтобы иметь возможность выправлять величину просадки подмостей во время надвижки по ним, путь для надвижки укладывается на клетках, в которые вводятся клинья, регулирующие высоту клеток.

Нередко случается, что выкладкой из клеток заменяется устройство подмостей. В этом случае клетки выкладываются с таким расчетом, чтобы в местах соприкасания брусьев клеток между собой и с кладкой устоя дерево не испытывало смятия

НБ УДУНТ (ДІІТ)

поперек волокон более 20 *кг/см*². Как бы тщательно ни были положены клетки, они при нагрузке их дадут просадку, возрастающую в зависимости от высоты клеток и числа пересечений брусьев между собой. Как велика бывает эта просадка, можно судить по следующим примерам.

При подъемке ферм моста через р. Псел весом около 131 *т* для установки домкратов были выложены клетки высотой около 1,70 *м*, имевшие в каждом ряде по три бруса сечением 10 × 18 *см*²; эти клетки при нажиме их домкратом давали упругую просадку до 8 *см*.

При надвижке пролетного строения Дорогомиловского моста (Московско-окружной ж. д.), весом ~ 156 *т*, клетки высотой около 1 *м*, выложенные из пристроганных брусьев сечением 25 × 25 *см*², давали просадку около 2,2 *см*.

Если движение ферм переходит с пути, уложенного по клеткам, на путь, лежащий на малоупругом основании, как например каменная кладка, то происходящая при этом просадка клеток своим встречным подъемом представляет большое дополнительное сопротивление движению. Величина просадки клеток должна быть заранее учтена с таким расчетом, чтобы клетки, просев под нагрузкой, своей верхней плоскостью лежали в горизонте плоскости неупругого основания. Величина просадки клеток слагается из двух величин: упругой просадки и усадки в местах пересечения брусьев клеток.

Упругую просадку клеток с достаточной степенью точности можно определить по формуле:

$$\Delta h = 0{,}0003\ nh, \qquad (42)$$

где n — напряжение в плоскостях пересечения брусьев клеток.

Величину усадки в каждом месте пересечения брусьев клеток можно принимать:

для брусьев пристроганных от 0,3 *см*,
» » притесанных » 0,5 »

Салазки. В конструктивном отношении наиболее простыми по осуществлению оказываются салазки с соответствующей плоскостью скольжения, но применение их целесообразно только для нетяжелых пролетных строений, так как при передвижении этим способом тяжелых пролетных строений чрезмерно увеличиваются или площадь салазок или давление на квадратную единицу площади салазок. Последнее обстоятельство, как показали результаты опытов Ренни, приведенные в таблице 12,

ТАБЛИЦА 12.

Давление в килограммах на 1 *см*²	Коэфициент трения при скольжении		
	железа по железу	чугуна по железу	стали по чугуну
8,79	0,140	0,174	0,166
18,28	0,285	0,321	0,340
26,22	0,350	0,351	0,351
36,77	0,409	0,366	0,357
39,37	Плоскость повреждена	0,367	0,358
47.25	—	0,376	0,403
49,92	—	0,434	
55,12	—	Плоскость повреждена	Плоскость повреждена

НБ УДУНТ (ДІІТ)

повышает сопротивление движению, что оказывает неблагоприятное влияние и на возрастание двигающей силы и на время, потребное для движения.

Хотя на практике известны случаи применения дерева для салазок и плоскости скольжения, однако рекомендовать такое устройство не приходится, так как дерево обладает малым сопротивлением на смятие и благодаря своему волокнистому строению легко задирается.

В большинстве случаев плоскость скольжения весьма просто устраивается из нескольких рядов рельс, сболченных между собой, а для салазок применяются металлические подушки (рис. 224 и 225). Для облегчения скольжения салазок рельсовый

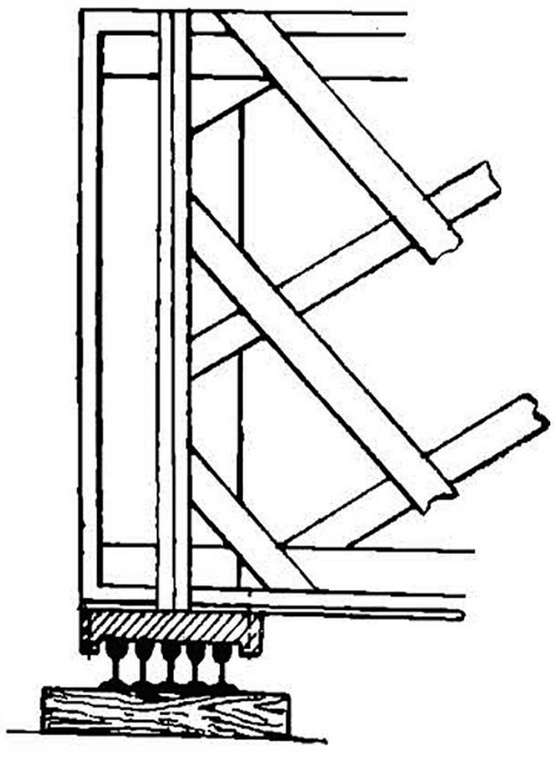


Рис. 224. Плоскость скольжения из рельс и опорной подушки.

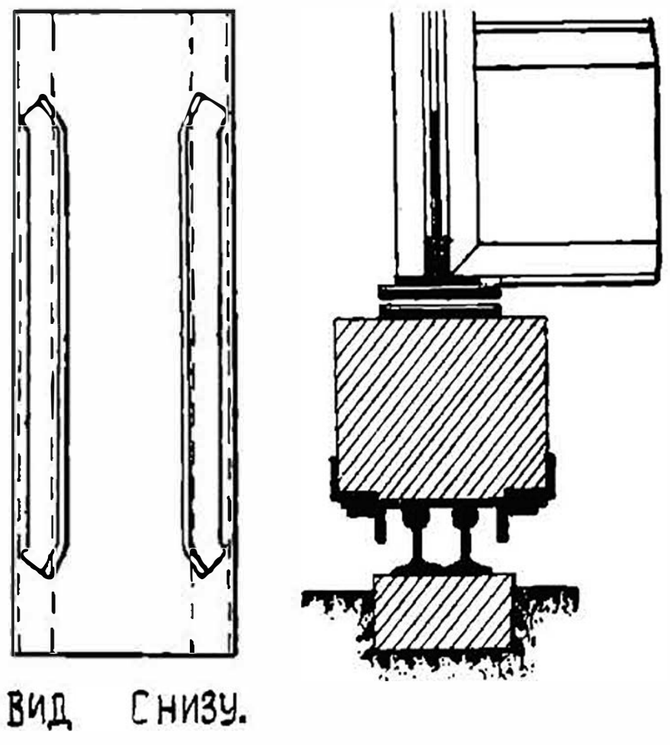


Рис. 225. Салазковое устройство для надвижки в поле.

путь выкладывается с уклоном в сторону движения от 0,008 до 0,020. Во время движения по рельсам последние просаживаются на брусья, вследствие чего на стыках передний край салазок заедает за встречную головку рельс, что вызывает большую задержку в движении. Устранить это заедание можно путем предварительного подъема конца заднего рельса над головкой переднего с таким расчетом, чтобы он, просев, не опускался ниже головки переднего рельса. Кроме того под всем стыком кладется железный лист, распределяющий давление от рельс на полную площадь нижних брусьев.

Размеры салазок и величины силы тяги определяются по данным таблицы 12. С применением для образования плоскости скольжения рельс за площадь давления принимается проекция головки рельса.

Катки. Наиболее распространен способ передвижения помощью катков, что объясняется, с одной стороны, облегчением движения при переходе со скольжения на качение, с другой стороны, простотой приспособления, которое может быть выполнено комбинацией рельс и круглого железа (рис. 226). Успешность передвижения зависит от правильного выбора числа катков и рельс с таким расчетом, чтобы они не несли на себе излишнего напряжения, вызывающего большие деформации.

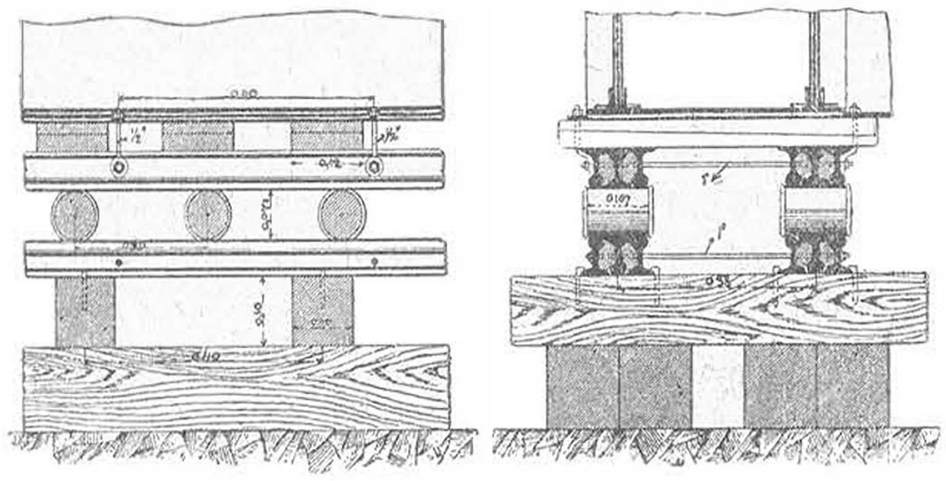


Рис. 226.

Катки рассчитываются на смятие в местах их соприкосновения с плоскостью качения. Наиболее строгий расчет может быть сделан на основании теории Герца.

По Герцу; поверхность давления одного тела на другое при проектировании ее на плоскость имеет форму эллипса с полуосями:

НБ УДУНТ (ДІІТ)

$$\left.\begin{aligned} a &= \mu \sqrt[3]{\frac{3P(\vartheta_1+\vartheta_2)}{8(\varrho_{11}+\varrho_{12}+\varrho_{21}+\varrho_{22}}} \\ b &= \nu \sqrt[3]{\frac{3P(\vartheta_1+\vartheta_2)}{8(\varrho_{11}+\varrho_{12}+\varrho_{21}+\varrho_{22})}} \end{aligned}\right\} \quad (43)$$

где P — давление на соприкасающиеся тела,

$\varrho = \frac{1}{r}$ — радиусы кривизны того и другого тела в плоскости главных осей 1 — 1 и 2 — 2, ϑ_1 и ϑ_2 — упругие постоянные каждого из тел, равные:

$$\vartheta_1 = \frac{4}{E_1}(1-\eta_1^2); \quad \vartheta_2 = \frac{4}{E_2}(1-\eta_2^2)$$

E_1, E_2 — соответственно коэфициенты упругости тел.

η_1, η_2 — коэфициенты поперечного сжатия, в формулах Герца обыкновенно принимаемые для чугуна и стали $\eta = \eta_2 = 0{,}3$.

Численные коэфициенты μ и ν зависят от отношения осей эллипса и характеризуются величиной вспомогательного угла τ. Герц составил приводимую ниже таблицу значений μ и ν соответственно изменению величины τ, выраженному в градусах.

ТАБЛИЦА 13.

	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
μ	1,0000	1,1278	1,2335	1,4858	1,7542	2,1357	2,7307	3,7779	6,6120	Infinit
	1,0000	1,8927	0,8017	1,7171	1,6407	0,5673	0,4930	0,4079	0,3186	0,0000

Наибольшее напряжение n в точке соприкасания, соответствующей центру эллипса, определяется уравнением:

$$n_0 = \frac{3P}{2ab\pi} = 0{,}477\frac{P}{ab} \quad (44)$$

При передвижках пролетных строений по каткам рассматриваются два случая качения: 1) качения катка по рельсам и 2) качения катка по плоскости.

I. В случае качения катка по рельсам происходит касание в точке двух цилиндрических тел с осями, направленными перпендикулярно друг к другу и с радиусами кривизны:

$$\varrho_{11} = \frac{1}{r}; \quad \varrho_{12} = 0; \quad \varrho_{21} = 0; \quad \varrho_{22} = \frac{1}{R}.$$

Для этого вида касания величина вспомогательного угла τ в формулах Герца выражается соотношением:

$$\cos\tau = \frac{R-r}{R+r} \quad (45)$$

Соответствующие этому отношению значения коэфициентов μ и ν выбираются помощью интерполяции из вышеприведенной таблицы.

НБ УДУНТ (ДІТ)

Полуоси эллипса касания определяются из формул (43), которые после подстановки в них величин $\eta_1 = \eta_2 = 0{,}3$ и ряда преобразований примут вид:

$$a = 1{,}11\mu \sqrt[3]{P\frac{(E_1+E_2)\,rR}{E_1E_2\,(r+R)}}; \qquad b = 1{,}11\nu \sqrt[3]{P\frac{(E_1+E_2)\,rR}{E_1E_2\,(r+R)}},$$

Прочность цилиндров или катков определится из уравнения (44) по условию

$$n_0 = 0{,}477\,\frac{P}{ab} = \frac{0{,}388}{\mu\nu}\sqrt[3]{\frac{P\cdot E_1^2\,E_2^2\,(r+R)^2}{(E_1+E_2)^2\,r^2R^2}} \qquad (46)$$

При одинаковом материале цилиндров эта формула приводится к виду:

$$n_0 = \frac{0{,}388}{\mu\nu}\sqrt[3]{\frac{PE^2\,(r+R)^2}{4r^2R^2}} \qquad (46\text{ bis})$$

В таблице 14 приведены величины давления P на каждое пересечение рельса с катками различных диаметров, выраженные в функции допускаемого напряжения n. Эти величины давлений вычислены в предположении, что для стали, катков и рельс коэфициент упругости $E = 21{,}5\cdot10^5\ кг/см^2$ и для чугуна — $E = 10{,}5\cdot10^5\ кг/см^2$.

ТАБЛИЦА 14.

Диаметр катка *см*	Чугунные катки		Стальные катки	
	Радиус головки рельса [1]		Радиус головки рельса	
	$R=300\ см$	$R=220\ см$	$R=300\ см$	$R=220\ см$
6	2,6 n^3	2,34 n^3	1,12 n^3	1,00 n^3
8	4,17 »	3,48 »	1 79 »	1,49 »
10	5,8 »	4,33 »	2,51 »	1,86 »
12	7.17 »	5,19 »	3,09 »	2.23 »
14	8,46 »	5,67 »	3,65 »	2.44 »

В этой таблице величины давлений P выписаны с увеличением в 10^9 раз, так что например, если принять для чугунных катков $n = 5\,000\ кг/см^2$, то при катках $d = 8\ см$ давление, допускаемое на каждое пересечение катка с рельсом, будет:

$$4{,}17\cdot\frac{5\,000^3}{10^9} = 521\ кг.$$

Из данных таблицы видно, что коэфициенты, определяющие величины давления, больше для чугуна, чем для стали, что является результатом большей жесткости его. Следовательно вопрос о применении тех или иных катков решается величиной напряжения, которое может быть допущено. Для выяснения возможных пределов допускаемого напряжения можно воспользоваться опытом производившихся передвижек.

---

[1] Радиус $R=300\ см$ соответствует рельсам новых типов
» » $=220$ » » » » старых типов.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При накатке пролетных строений моста через р. Оку около М. весом 787 *т* под них было положено до 450 штук чугунных катков $d = 10$ *см*, катившихся по двум рельсам ($R = 220$ *см*) так, что среднее давление на каждое пересечение рельса с катком было около 1 750 *кг*. При этом давлении передвижка пролетных строений производилась спокойно при помощи двух лебедок. После двукратного применения поврежденным оказался только один каток.

При передвижке пролетных строений одного из мостов на Московско-Окружной ж. д. весом около 115,8 *т* были применены стальные катки диаметром 6 *см*, катившиеся по 5 рельсам. Так как под пролетным строением одновременно помещалось по 24 катка, то среднее давление на каждое пересечение рельса ($R = 215$ *см*) с катком составляло около 1 300 *кг*. Движение производилось при помощи двух лебедок со скоростью около 7,5 *м* в час, что свидетельствует о сильных напряжениях в соприкасании между катками и рельсами.

Переводя эти данные на язык напряжений при помощи вышеприведенной таблицы, можно показать, что при передвижке пролетных строений на мосту через р. Оку напряжение в чугунных катках в среднем составляло:

$$n = \sqrt[3]{\frac{1\,750 \cdot 10^9}{4{,}3}} \cong 7\,500\ кг/см^2.$$

При передвижке же пролетных строений на мосту Московско-Окружной ж. д. напряжение для стальных катков в среднем составляло:

$$n = \sqrt[3]{\frac{1300 \cdot 10^9}{1{,}00}} \cong 13\,300\ кг/см^2.$$

Основываясь на этих данных, можно сделать вывод, что при определении числа катков величину предельных напряжений можно принимать:

для чугунных катков .	. до 7 500 *кг/см*²,
для литой стали . .	. до 12 000 »

что согласуется с данными лабораторных опытов для случая касания катков в точке.

При выборе предельного напряжения необходимо обращать внимание на состояние и качество материала рельс.

II. Для случаев движения катков по плоскости касание происходит по образующей цилиндра, причем одна ось эллипса обращается в бесконечность, а другая определяется по формуле:

$$a = \sqrt{\frac{P}{l\pi} \cdot \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{\varrho}} = 1{,}08 \sqrt{\frac{Pr\,(E_1 + E_2)}{lE_1E_2}}, \qquad (47)$$

получаемой после ряда преобразований из формулы (43).

Прочность катка в этом случае поверяется по формуле:

$$n = \frac{2P}{\pi . a} = 0{,}589 \sqrt{\frac{PE_1E_2}{lr\,(E_1 + E_2)}}, \qquad (48)$$

где l — длина катка.

В частном случае, при одинаковом материале катка и плиты, формула (48) приводится к виду:

$$n = 0{,}418 \sqrt{\frac{PE}{lr}}. \qquad (48\ bis)$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При определении по этим формулам потребного числа катков допускаемое напряжение принимается:

а) для чугунных катков не свыше 3 500 *кг/см²*,

б) для катков из литой стали не свыше 5 000 *кг/см²*,

в) для катков из кованой стали не свыше 6 300 *кг/см²*.

Число катков и размеры их могут быть определены также по величине среднего давления на диаметральное сечение катка:

$$n_1 = \frac{P}{2lr} \leqslant \left\{ \begin{array}{l} 30\ кг/см^2 \text{ для чугуна,} \\ 35\ кг/см^2 \text{ для литой стали,} \\ 50\ кг/см^2 \text{ для кованой стали.} \end{array} \right\} \qquad (49)$$

Шары. К виду катковых передвижений относится также качение на шарах. Это последнее характеризуется меньшей устойчивостью, так как шары имеют всестороннюю подвижность; вследствие этого при применении шаров для качения их устраиваются специальные желоба из двутаврового или корытообразного железа, предотвращающие качение шаров в сторону (рис. 227 и 228). Сами шары во избежание разбежки помещаются в направляющем листе, снабженном специальными отверстиями. Так как этот лист не может перекладываться по мере хода движения, то его длина

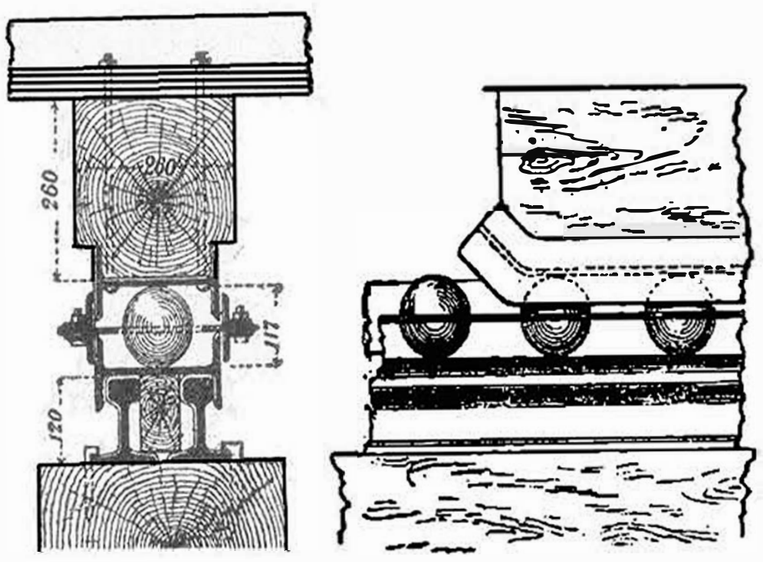


Рис. 227. Шаровое устройство для передвижки на Ваагском мосту.

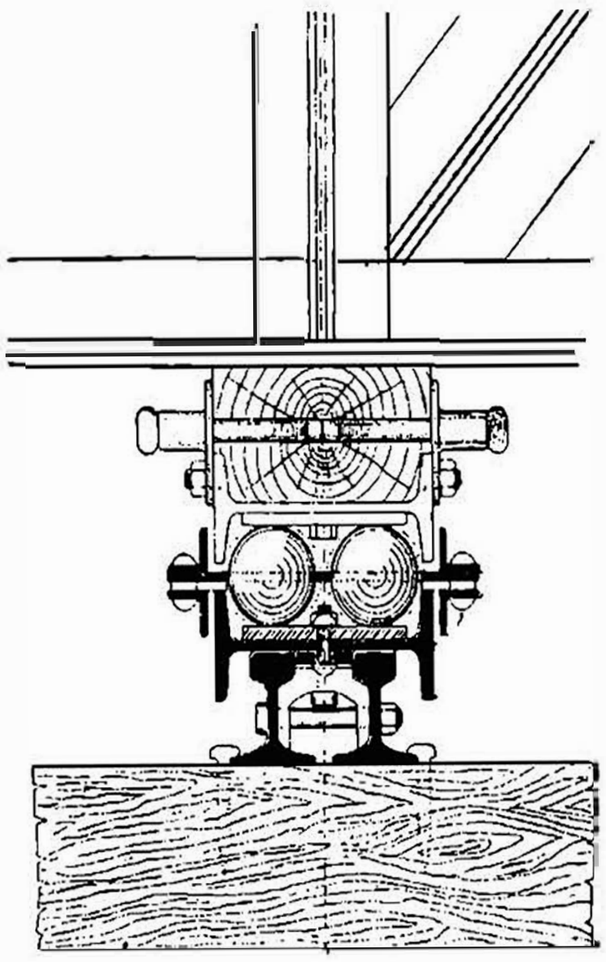


Рис. 228. Шаровое устройство для передвижки Литавского моста.

определяется расстоянием s, на которое производится передвижка, и длиной или шириной b передвигаемой конструкции; при этих условиях расстояние между крайними шарами будет $l = \frac{s}{2} + b$, а длина листа, концы которого заходят на 10 *см* за край каждого шара, будет

$$L = \frac{s}{2} + b + d + 0{,}2\ м. \qquad (50)$$

Длина листа при передвижке на большие расстояния получается чрезмерно большой. Этими усложнениями конструктивных приспособлений объясняется сравнительно редкое применение шаров для передвижки.

Прочность и число шаров поверяется по формуле Герца, которая для случая касания шара с плоскостью принимает вид:

$$n = 0{,}616 \sqrt[3]{\frac{p \cdot E_1^2 E_2^2}{r^2 (E_1 + E_2)^2}}, \qquad (51)$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

где $p = \frac{P}{K}$ — давление на каждый шар, K — число шаров.

При однородном материале шаров и направляющих желобов та же формула (51) примет вид:

$$n = 0{,}388 \sqrt{\frac{p \cdot E^2}{r^2}}. \qquad (52)$$

Преимущество движения на шарах заключается в возможности допустить в них напряжение не менее, как в 1,5 раза большее, чем для катков [1]). Если по опыту производившихся надвижек на чугунные катки можно допускать 7 500 $кг/см^2$ и на стальные 12 000 $кг/см^2$, то можно допускать:

на чугунные шары .	12 000 $кг/см^2$,
на шары литые из стали.	. 20 400 »
на шары из кованой стали.	. 23 500 »

Это подтверждается лабораторными опытами Стрибека [2]), который, получая незначительные деформации в стальных шарах, доводил напряжение в них на смятие до 30 000 $кг/см^2$.

При одинаковом материале шаров и плиты число шаров может быть определено по среднему давлению на 1 $см^2$ диаметрального сечения по формуле:

$$n = \frac{4p}{\pi \cdot d^2} < \begin{matrix} 10\ кг/см^2 \text{ для литой стали} \\ 15\ кг/см^2 \text{ » кованой »} \end{matrix} \qquad (53)$$

При надвижке моста через Стадлауэр (рукав Дуная) были применены шары $d = 11{,}5\ см$ со средним давлением на шар $p = 1\,700\ кг$, что дает напряжение на диаметральное сечение $n = 16{,}5\ кг/см^2$ [3]).

Тележки и ролики, применяемые для передвижения ферм, отличаются по своей конструкции от катков наличием оси вращения и большей величиной диаметра колес и роликов; последнее обстоятельство составляет большое преимущество тележек и роликов, так как благодаря этому является возможность увеличения нагрузки на них, а следовательно, и уменьшения общего числа колес.

Колеса тележек и роликов во время движения их по рельсам и плоскости находятся в условиях движения или цилиндра по цилиндру или цилиндра по плоскости, ввиду чего прочность их поверяется по формулам (46) и (48).

Прочность и размеры цапф в роликах и тележках определяются из условия изгиба их и смятия, возникающего между цапфой и подшипником.

При расположении подшипников, через которые передается на цапфу нагрузка симметрично относительно ролика или колеса, изгиб поверяется по формуле:

$$P\frac{l}{4} = \frac{\pi r^3}{4} n \qquad (54)$$

давления на диаметральную площадь.

$$P = 2rln_1, \qquad (55)$$

где l — длина шейки цапфы, r — ее радиус, P — давление на цапфу.

---

[1]) По данным, приведенным проф. Патоном в II т. курса «Железные мосты» (изд. 1913 г., стр. 37) отношение между допускаемыми напряжениями для шаров и катков берется равным 1,92 : 1.32, т. е. $\sim 1{,}45$.

[2]) «Z. d. V. D. I.» 1901, стр. 73.

[3]) «Allg. Bauzeit», 1881, стр. 7.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Допускаемое напряжение — n на изгиб принимается
в стальных цапфах не более 600 *кг/см²*,
» чугунных » » » 250 »

Величина допускаемого давления — n_1 на диаметральную площадь цапфы ввиду медленного вращения их при передвижках пролетных строений и временного характера службы повышается против норм, принятых в частях машин, и доводится

при вращении стали по стали до 200 *кг/см²*
» » » по чугуну » 50 »
» » железа по дубу » 50

Из сопоставления формул (54 и 55) выводится зависимость между длиной шейки цапфы и ее радиусом:

$$\frac{l}{r} = \sqrt{\frac{\pi n}{2n_1}} = 1{,}25\sqrt{\frac{n}{n_1}}. \qquad (56)$$

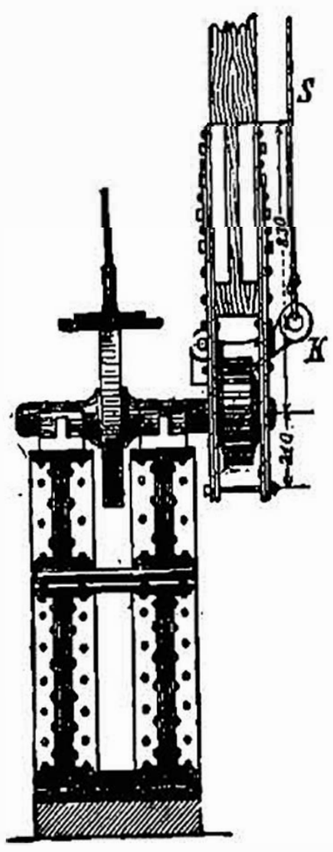


Рис. 229.

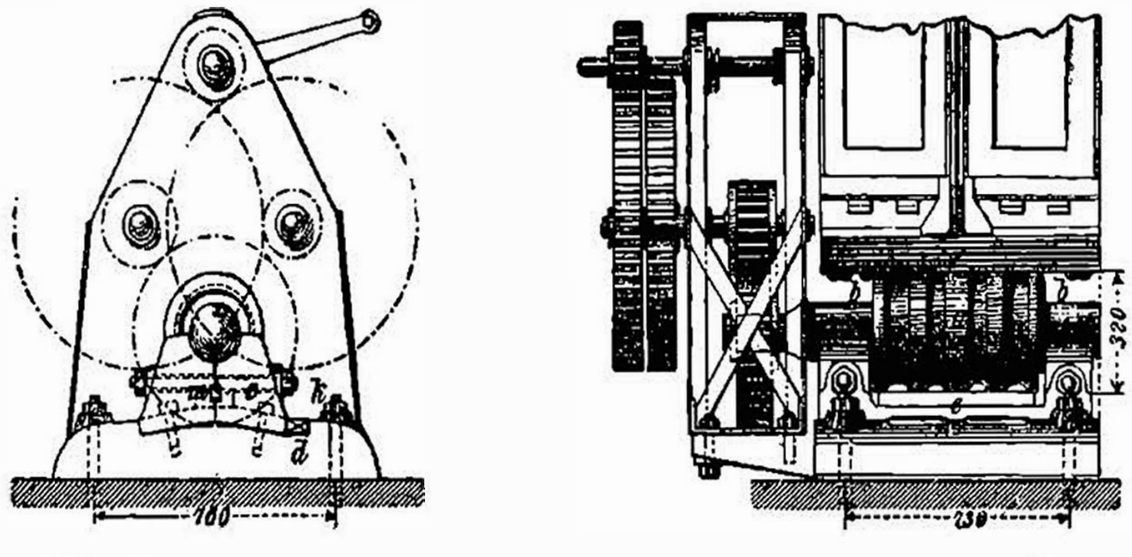


Рис. 230. Надвижка пролетного строения на мосту через р. Неман.

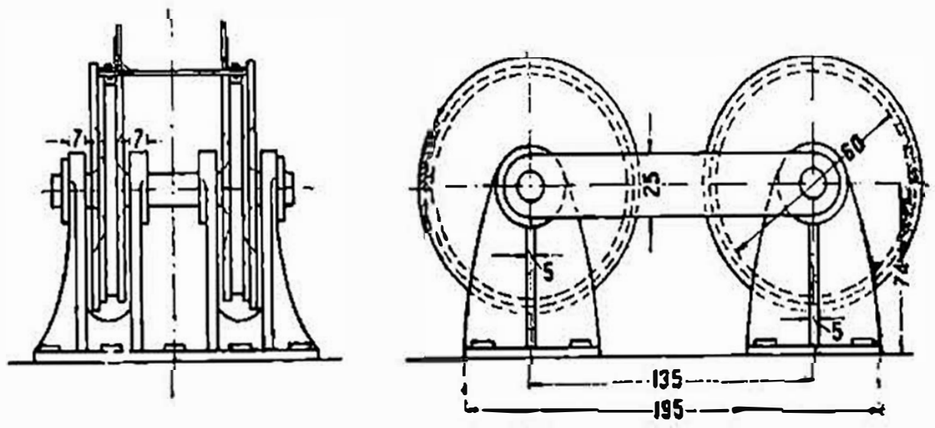


Рис. 231. Надвижка пролетного строения моста через р. Бирран.

Нижний пояс ферм имеет всегда ряд неровностей в виде головок заклепок, переменного числа горизонтальных листов и пр., что служит препятствием к непосредственному движению ферм по каткам и роликам. При движении по каткам это неудобство устраняется специальной выстилкой из брусьев и рельс вдоль всего пояса (рис. 226); при движении же по роликам сами ролики приспособляются к свободному проходу между заклепочными головками, для чего они или делаются шириной не более расстояния между головками заклепок (рис. 229) или же снабжаются специальными желобами соответственно расположению заклепок (рис. 230). Для перехода роликов на встречные, добавочные листы нижнего пояса в местах встречи под пояс кладутся клинообразные прокладки, смягчающие накатывание роликов на встречный лист.

С устройством узких роликов, проходящих между головками заклепок, уменьшается поверхность соприкасания их с фермами, и понижается сопротивление их

НБ УДУНТ (ДІІТ)

боковым сдвигам от действия ветра, толчков и пр. Ввиду этого рекомендуется снабжать ролики ребордами (рис. 231) или же делать специальные приспособления, предупреждающие такой сдвиг путем боковых ограждений (рис. 232) или скоб, скользящих вдоль направляющих угольников.

С применением тележек вопрос о приспособлении ферм к движению отпадает, так как они устанавливаются на специальные кузова, сохраняющие свое по-

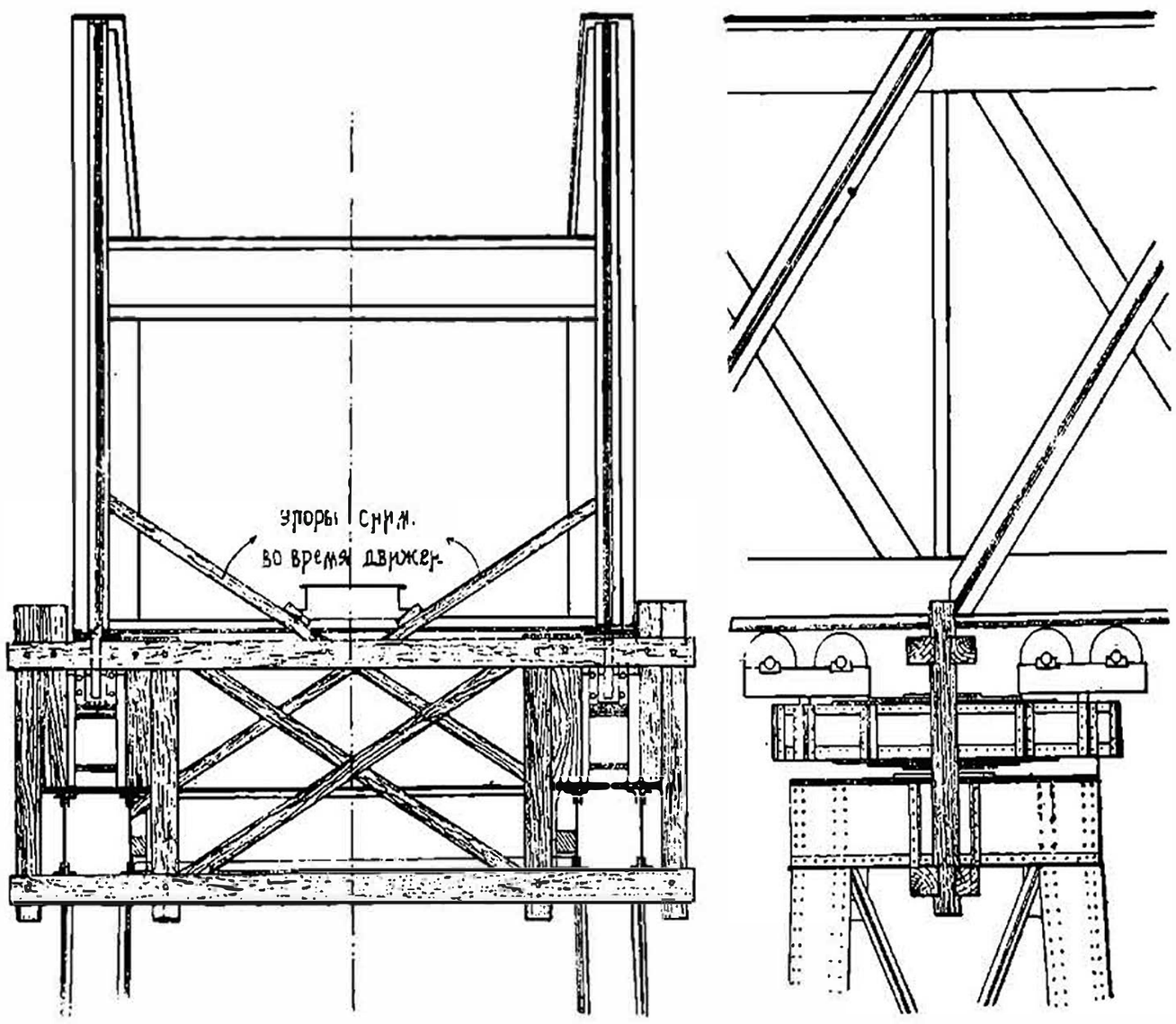


Рис. 232. Надвижка пролетных строений виадука Гарабит.

ложение относительно ферм в течение всего движения. Конструкции тележек, как это будет видно из последующих описаний, весьма разнообразны и изменяются в зависимости от того или другого приспособления их к производству работы; они выполняются как из дерева (рис. 233), так и из металла (рис. 234).

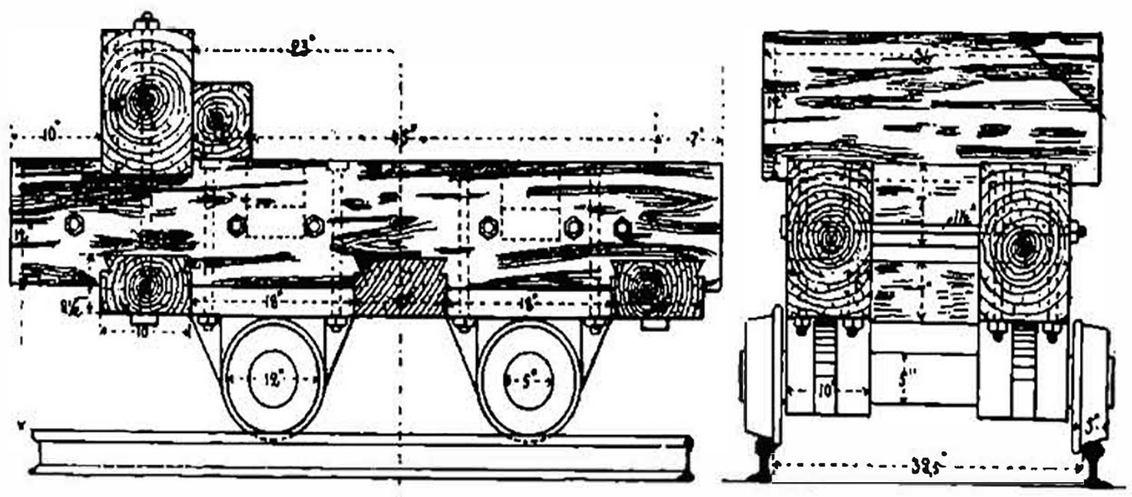


Рис. 233. Деревянная тележка для надвижки.

К числу недостатков роликовых приспособлений надо отнести неподвижное их укрепление. Под действием двигающейся по ним фермы ролики стремятся сдвинуться с места и увлекают за собой опоры, на которых они укреплены, вызывая этим изгиб в них. Изгибающее действие роликов на опоры парализуется установкой специальных противовесов, тяг и пр., о чем сказано ниже (см. § 32).

Тяговые устройства. Приспособления для приведения пролетных строений в движение могут быть разбиты на две категории.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

1. Приспособления, которые приводят в движение пролетное строение усилием, приложенным непосредственно к нему, например лебедки, винты, домкраты и прочее.

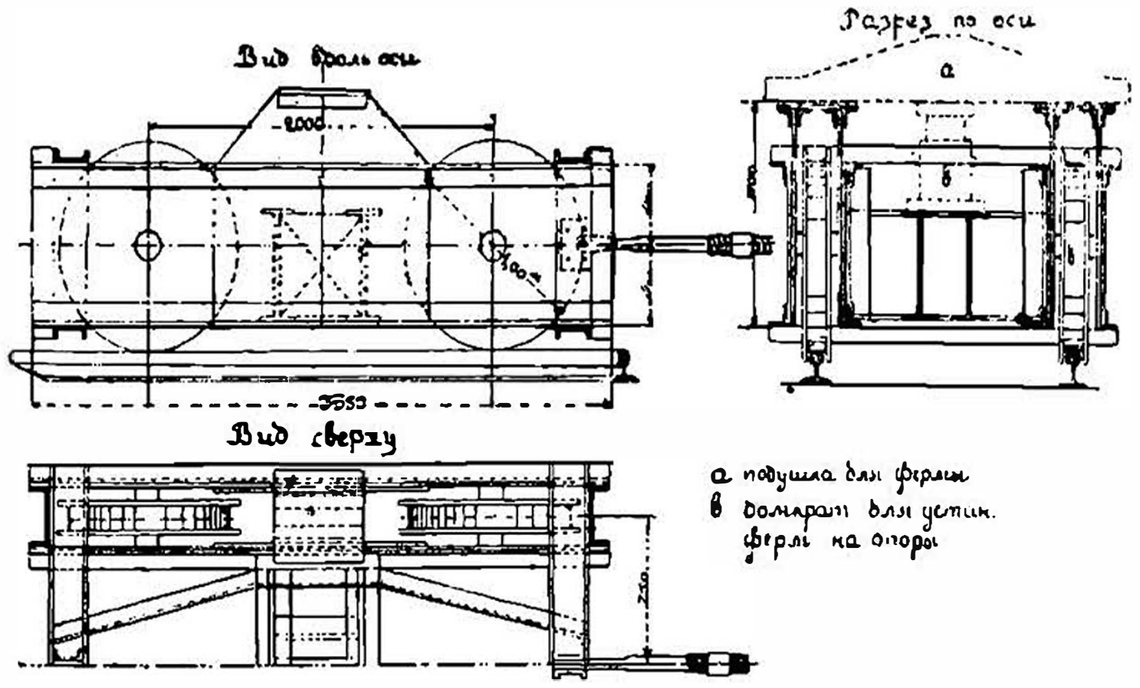


Рис. 233а. Металлические тележки для передвижки на мосту через р. Эльбу.

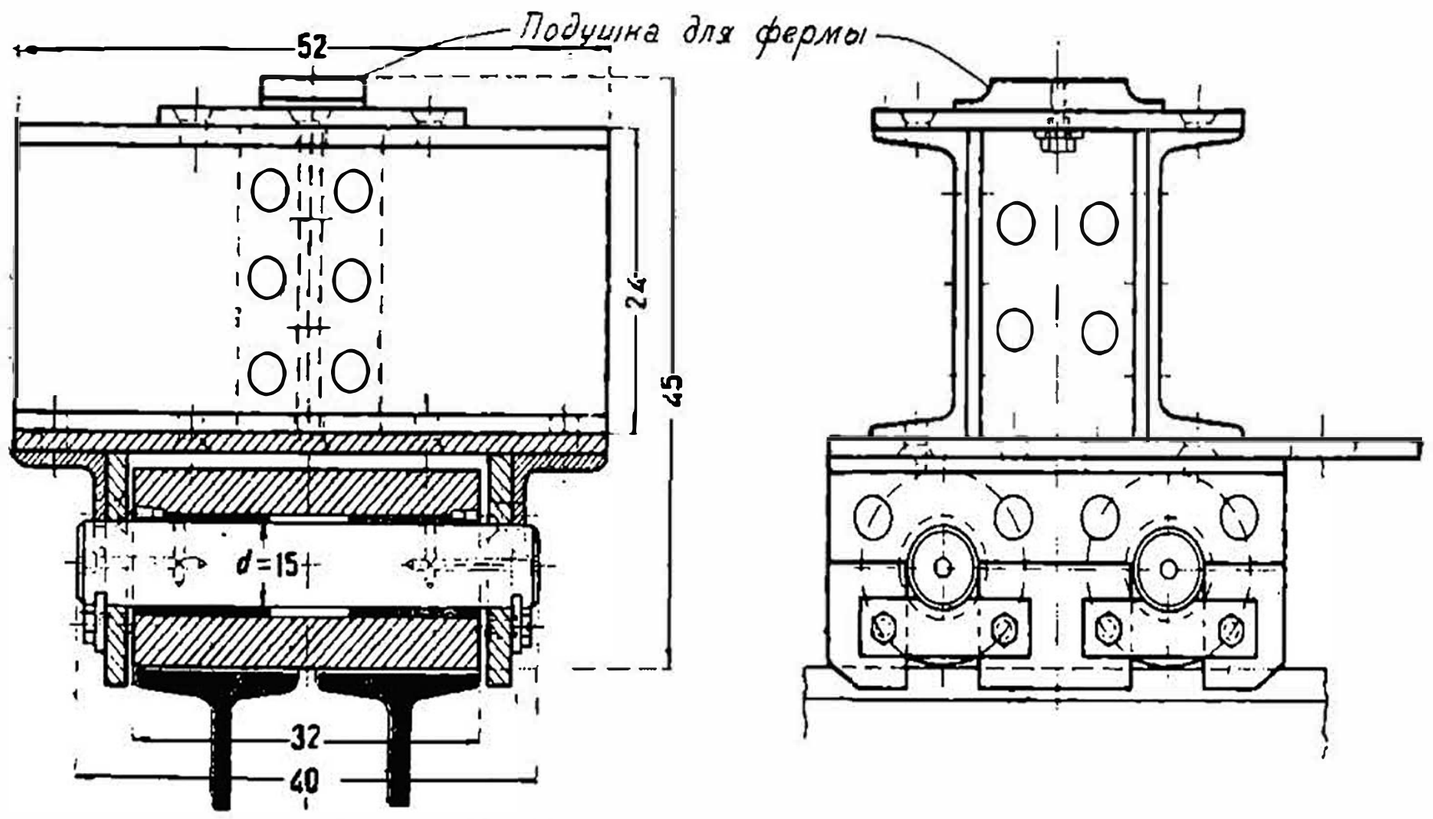


Рис. 234b Типовая металлическая тележка.

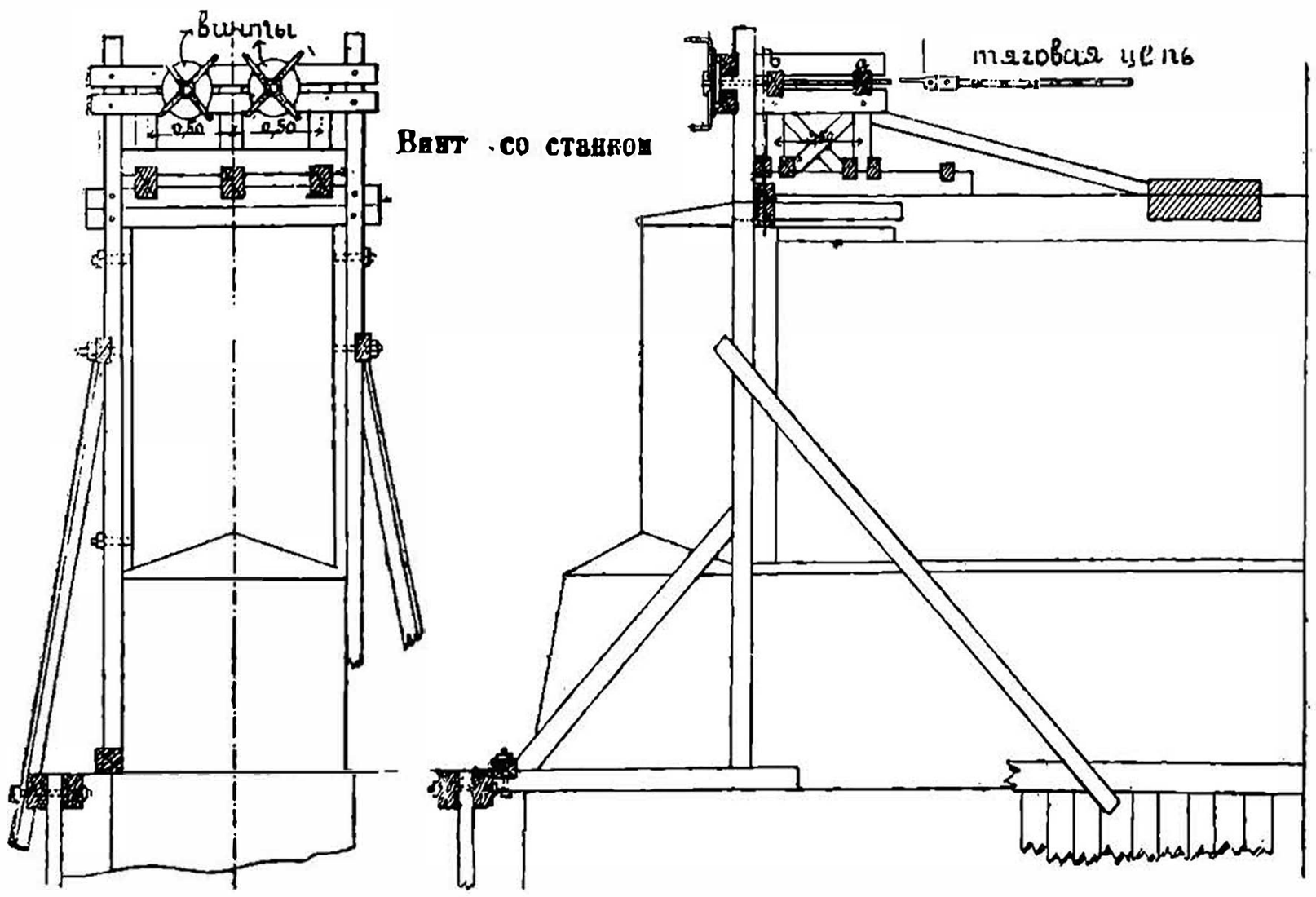


Рис. 235. Схема установки винта для передвижки.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

2. Приспособления, приводящие во вращательное движение колеса и ролики, а именно: трещотки, зубчатые передачи и прочее.

В первом случае различаются два вида действия сил: движение от действия силы тяги лебедки помощью каната или цепей и движение под действием подталкивания или нажима домкратом. Различие в этих двух видах действия сил заключается в том, что действие тяги лебедки продолжается непрерывно в течение довольно продолжительного времени, пока канат или цепь не заполнят барабан ворота или лебедки; давление же домкратов или винтов ограничивается коротким промежутком времени, пока не вывернется вся их нарезка, длина которой не превышает в домкратах 0,25 *м*, а в винтах — 1,00 *м*, после чего требуется новая установка домкрата или винта. При этих условиях передвижение пролетного строения на одно и то же расстояние производится скорее помощью лебедок с тягами, нежели домкратами. Так при одновременной передвижке пролетных строений моста через р. Суру Сызрано-Вяземской ж. д., когда три из пролетных строений этого моста обслуживались лебедками с полиспастами, а четвертое — домкратом и винтами, было замечено, что фермы этого последнего двигались в три раза медленнее первых трех [1]).

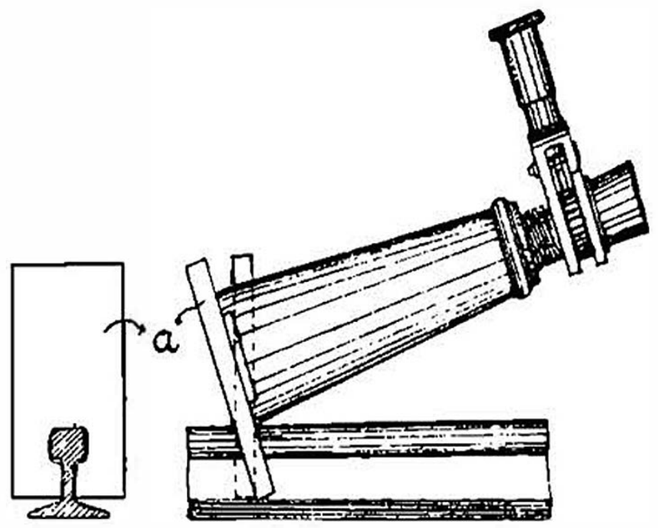


Рис. 236.

Установка винтов, а также укрепление их против срыва требуют иногда очень сложных приспособлений вплоть до забивки свай (рис. 235); поэтому они применяются сравнительно редко. Обычно применяются лебедки или домкраты. Домкраты применяются в тех случаях, где передвижение производится на небольшое расстояние, где можно ограничиться небольшим числом перестановок их; при больших же передвижках следует отдавать предпочтение лебедкам.

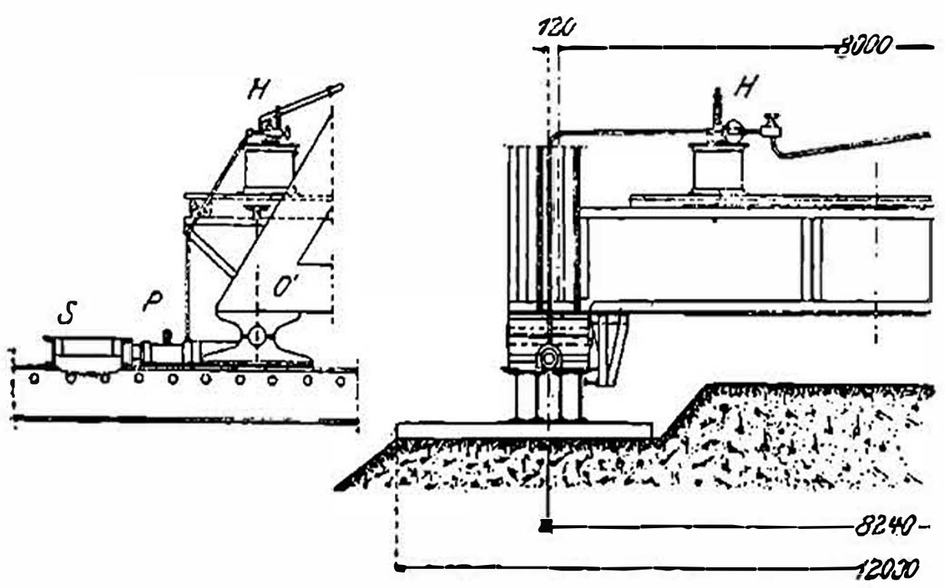


Рис. 237. Приспособление для упора домкрата во время движения.

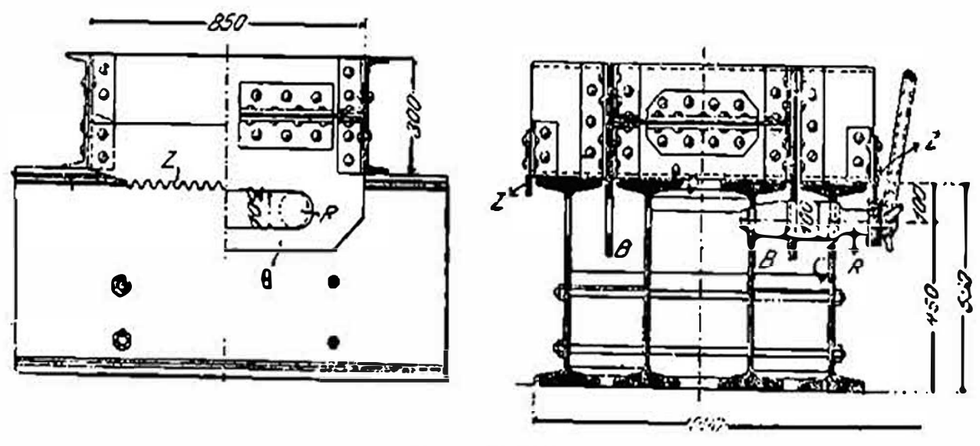


Рис. 237а.

Упор домкратов в гладкую поверхность головок рельсов, по которым происходит качение, невозможен без вспомогательных приспособлений. Наиболее просто это достигается помещением на рельсы специальной планки — *a* (рис. 236), имеющей вырезы соответственно головкам рельс. При установке домкраты нажимают на нее и приводят ее в наклонное положение, благодаря чему планка своими вырезами заедает в головку рельса и держится неподвижно во все время производства нажима.

Для упора домкратов приспособляются также подушки, укрепляемые в рельсах болтами, как это было сделано например при надвижке пролетных строений моста через р. Кеми в Финляндии.

Пролетное строение этого моста передвигалось по двутавровым балкам помощью гидравлических домкратов (рис. 237). Для упора домкратов служила

---

[1]) «Журнал М. П. С.», 1899 г., кн. II, стр. 93.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

подушка *s*, спроектированная в виде коробки из двух швеллеров, связанных диафрагмами с двумя вертикальными листами *B*, спускающимися между каждой парой двутавровых балок (рис. 237 а). Помощью болта *R* диаметром $d = 100$ *мм*, проходящего через отверстия в двутавровых балках и в листах *B*, эти подушки удерживались в неподвижном состоянии. Для перестановок упорных подушек вдоль двутавровых балок

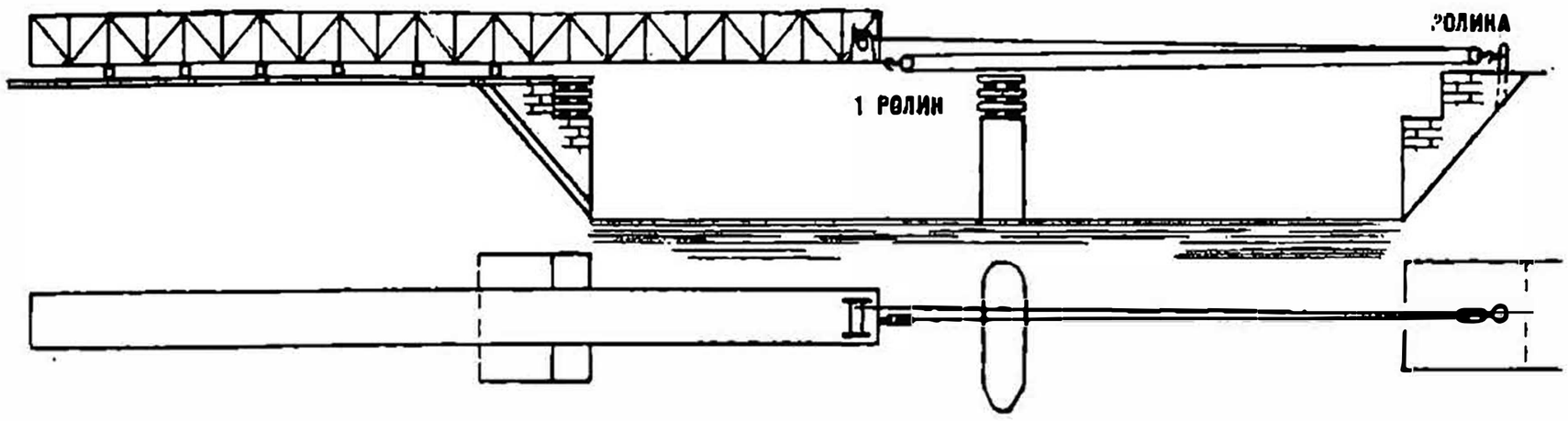


Рис. 238.

в последних были просверлены дыры соответственно диаметру болта *R* на взаимном расстоянии равном ходу поршня домкрата. В листах же *B* была сделана овальная дыра шириной 102 *мм*, длиной равной ходу поршня плюс диаметр болта. При упоре домкрата болт устанавливался, как показано на рис. 237, и служил упором для окончания выхода поршня на всю длину; после чего домкрат отпускался, и вся

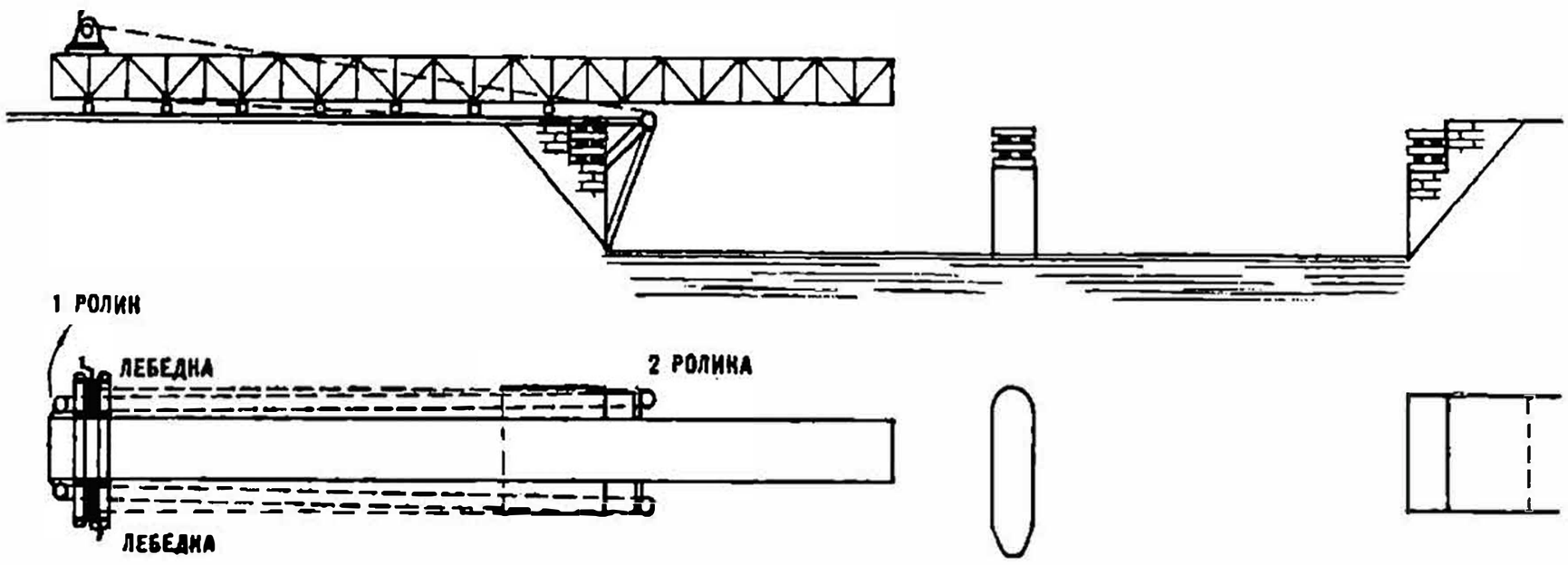


Рис. 239.

подушка помощью зубчатой передачи *Z* передвигалась вперед на величину хода поршня; болт *R* переставлялся на новую дыру, и домкрат снова нарабатывался.

Лебедки, служащие для приведения пролетного строения в движение, устанавливаются или на самом пролетном строении или на одном из берегов.

При установке на самом пролетном строении лебедки могут быть помещены

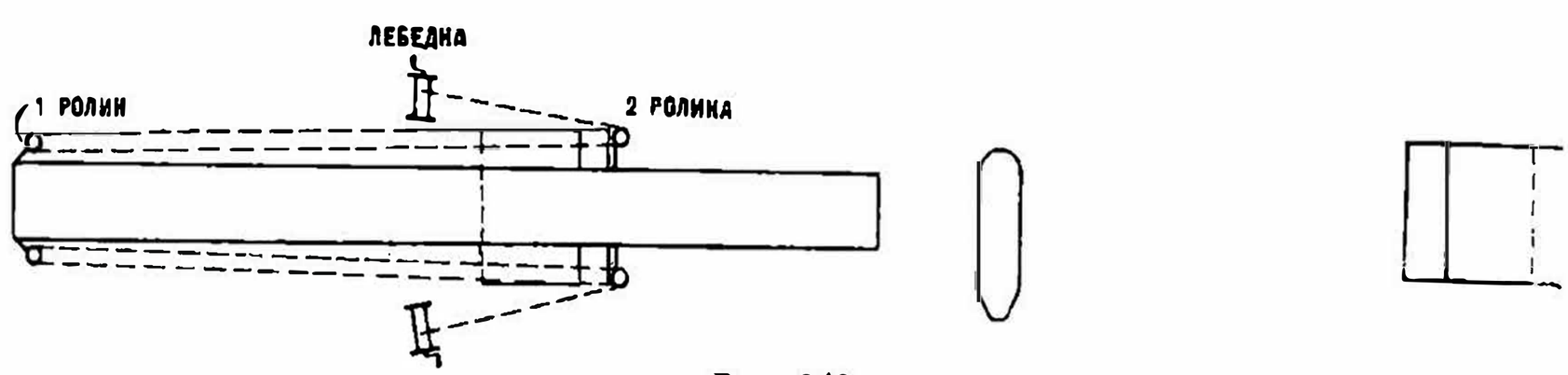


Рис. 240.

на переднем или на заднем конце его, в зависимости от чего меняется расположение тяговых блоков. При помещении лебедки на переднем конце (рис. 238) тяговой канат закрепляется впереди в неподвижную точку. При помещении лебедки на заднем конце канат закрепляется к заднему концу пролетного строения, протягивается к блоку, укрепленному на ближайшей опоре, и через него возвращается к лебедке (рис. 239).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Обычно передаточный блок, укрепляемый на опоре, устанавливается на деревянных кронштейнах, свешивающихся над отверстием моста; такая установка блока желательна с целью избежать лишней перестановки их в момент, когда задний конец пролетного строения подходит к опоре.

Если лебедки устанавливаются на берегу, встречном движению, то тяговой конец каната прикрепляется к переднему концу пролетного строения. Если же они устанавливаются на том же берегу, откуда производится надвижка, то тяговой конец каната прикрепляется к заднему концу пролетного строения (рис. 240) и через блок, укрепленный на ближайшей опоре, проводится к лебедке.

Вопрос о применении стальных тросов, канатов или цепей должен быть решен в пользу стальных тросов, как более легких и более обеспечивающих ровное сопротивление по всей длине.

Второй вид двигателей, применяемый для передвижения пролетных строений, характеризуется тем, что приводит во вращательное движение непосредственно катки и колеса; достигается это устройством зубчатого соединения колес с лебедками (рис. 230) или установкой на колесах трещоток (рис. 229 и 241) с длинными рычагами. Рычаги трещоток обыкновенно выводятся выше верхнего пояса пролетного строения, по которому укладывается настил для рабочих или лебедок, приводящих в движение рычаги (рис. 242).

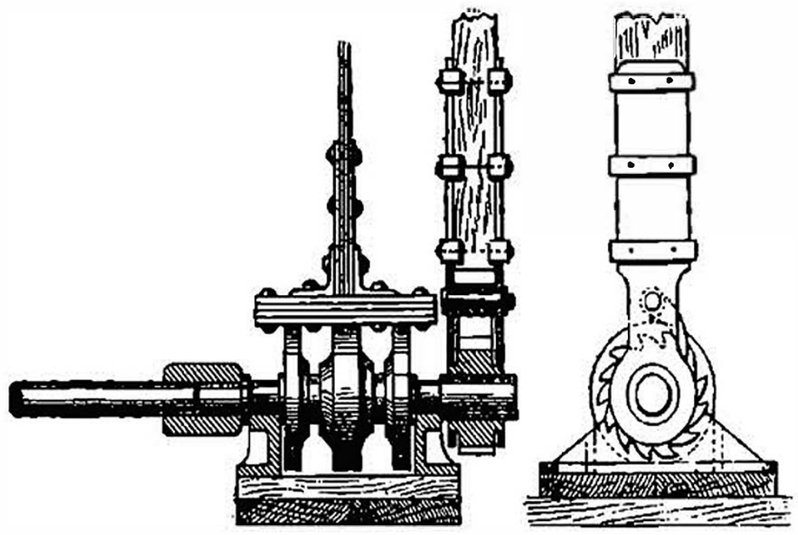


Рис. 241.

Этот вид двигателей более свойствен случаям движения на тележках и роликах, где число колес незначительно, и где благодаря этому возможно более равномерное распределение трещоток и лебедок.

Число лебедок, винтов и домкратов, необходимых для производства движения, определяется в зависимости от тех сил сопротивления, какие могут встретиться во время движения. В основе этих сопротивлений лежит сила трения, определяемая по формулам (42), и давление ветра на передвигаемое пролетное строение. Величина последнего определяется в предположении, что движение не будет производиться во время сильного ветра, со скоростью более 20 *м/сек*, а потому в расчет вводится давление ветра в 50 $кг/м^2$ половины площади очертания пролетного строения. Следует иметь в виду, что во время движения кроме сопротивления от трения встречаются добавочные сопротивления в виде разного рода заеданий, просадок и пр., каковые более или менее точному учету не поддаются. Особенно велики эти сопротивления в момент начала движения, что наблюдается во всех случаях надвижек. Поэтому при расчете усилия, необходимого для безостановочного движения, теоретическая величина усилия увеличивается в $2 - 2^1/_2$ раза; а на первый сдвиг заготовляются вспомогательные домкраты.

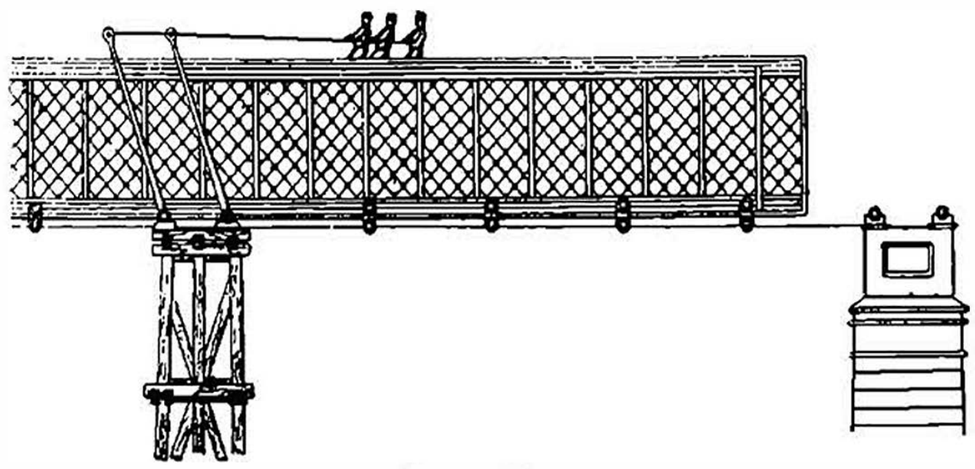


Рис. 242.

Из опыта производившихся надвижек видно, что чем тщательнее был разработан вопрос о приспособлениях, и чем тщательнее была подготовка работ, тем быстрее и легче производилась надвижка.

§ 30 Поперечная надвижка. Этот вид передвижения пролетных строений мостов поперек долевой оси их широко применяется как при замене старых пролетных строений новыми, так и при постройке новых мостов с отдельными пролетными строениями под два пути. Как в том, так и в другом случае новые пролетные

НБ УДУНТ (ДІІТ)

строения собираются на подмостях обычного типа сбоку своего истинного положения и уже по окончании сборки надвигаются на место установки. Разница в производстве работ заключается в том, что при смене пролетного строения старых мостов для сдвига старого и надвижки нового требуется устройство вспомогательных подмостей для укладки пути движения; при установке же на новых мостах под два пути новые пролетные строения собираются по оси одного из путей, а для укладки пути движения используются подферменные площадки.

Конструкция подмостей, служащих для передвижения пролетного строения, отличается от таковых же для сборки более частым расположением основных стоек (рис. 243), расстояние между которыми делается в пределах 0,80 — 1,2 *м*, что обусловливается назначением этих подмостей нести на себе сосредоточенный груз от веса всего пролета, действующего во время движения изгибающим образом на насадки подмостей. При небольшой высоте подмости часто заменяются выкладкой из клеток, как более устойчивой и легче приспособляемой для больших нагрузок.

Как путь, так и подмости для движения пролетного строения устанавливаются или непосредственно под опорными узлами или в узлах, ближайших к ним. Первое расположение подмостей под опорными узлами имеет то преимущество, что

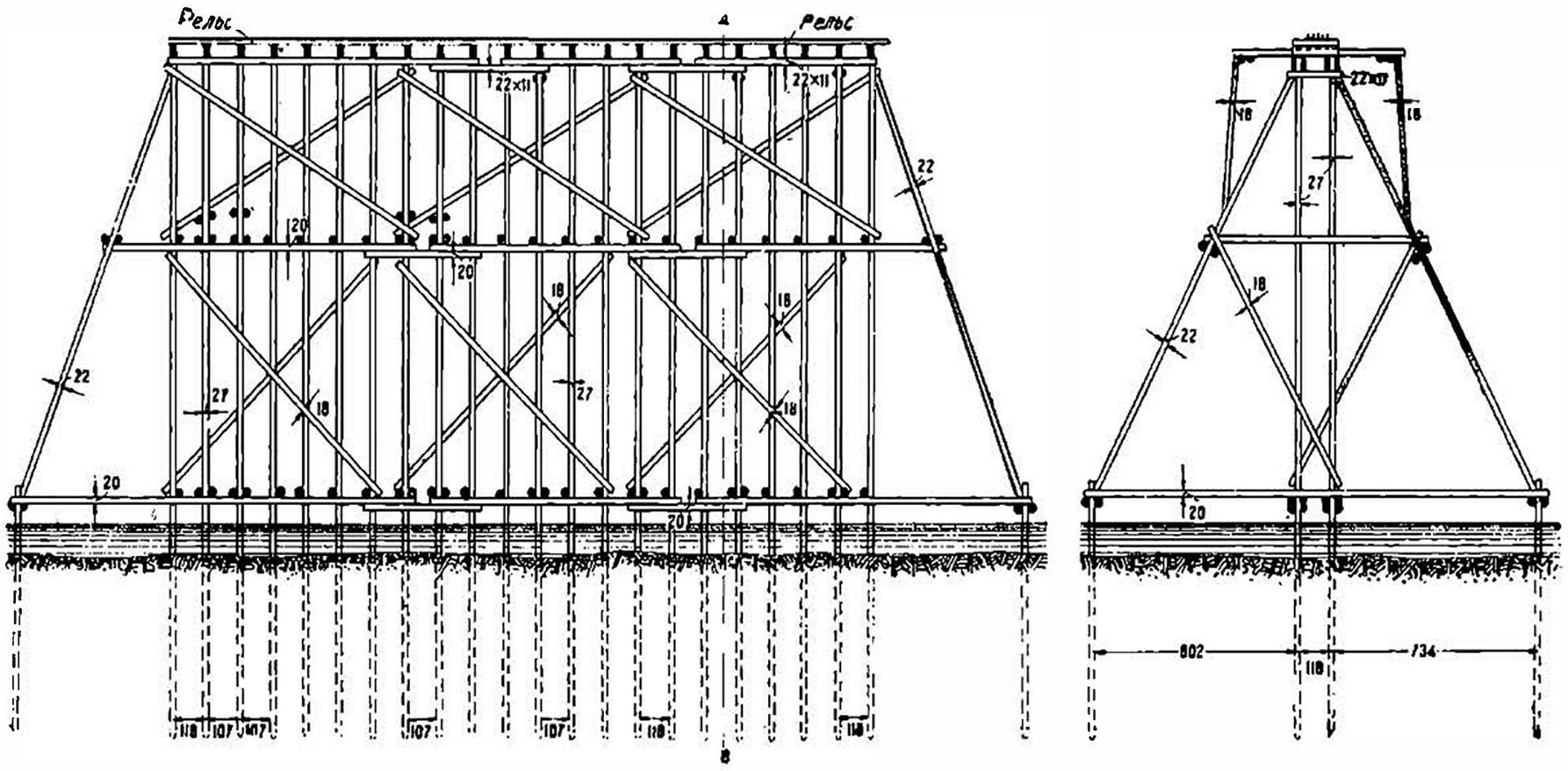


Рис. 243.

противодействие подмостей воспринимается фермами в наиболее жестких частях ее, рассчитанных на передачу этого давления; но при этом расположении путь для движения захватывает собой подферменную площадку (рис. 244), вследствие чего стесняется установка пролетного строения на опоры. В этих случаях на время разборки и уборки пути с подферменных камней для поддержания пролетного строения или используются обрезы подферменных площадок, или возводятся специальные подмостки под промежуточными узлами ферм. Часто вместо этих подмостков под промежуточными узлами располагают подмости для пути движения фермы (рис. 244). Такое расположение подмостей имеет за собой преимущество сохранения на опорных площадках полной свободы для работы по установке пролетного строения на опоры, но зато фермы моста подвергаются действию опорных реакций, приложенных вне опорных узлов, вследствие чего некоторые части ферм являются перенапряженными, и возникает вопрос об усилении их.

Для надвижки 128-*м* ферм моста через р. Шексну подмости были установлены под третьими узлами их. Поверка прочности стоек № 3 ферм, на передачу опорных давлений, величина которых под каждым концом фермы во время передвижки доходила до 680 000 *кг*, показала, что стойки несут усилие, равное 130 000 *кг*, превосходящих расчетное на 73%. Разгружение стоек было сделано постановкой деревянных стоек (рис. 244).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

В каком бы месте ни устанавливались подмости, особое внимание обращается на сохранение взаимной параллельности их между собой. Это требование становится вполне понятным, если отметить то обстоятельство, что пролетное строение во время движения представляет собою не что иное, как грандиозный клин, двигающийся по

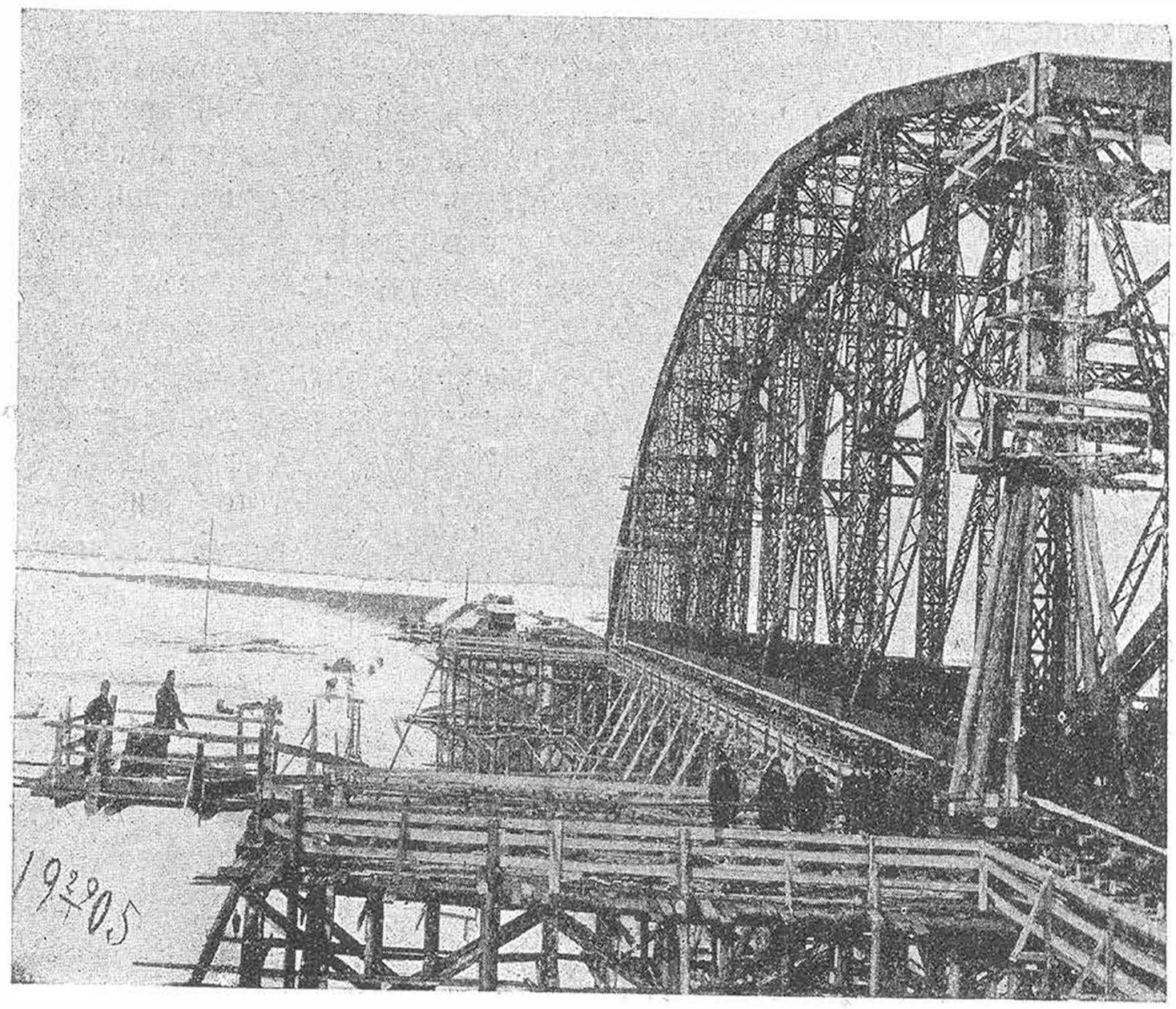


Рис. 244. Подмости для поперечной передвижки на р. Шексне.

двум направлениям. Всякое искривление подмостей может вызвать распор их и даже завалку. Это требование параллельности в одинаковой степени относится и к укладке самого пути движения. Хотя соответствующей укладкой пути можно выровнять непараллельность подмостей, но при этом выравнивании возникает неравномерность в загружении подмостей, обычно и без того перегруженных.

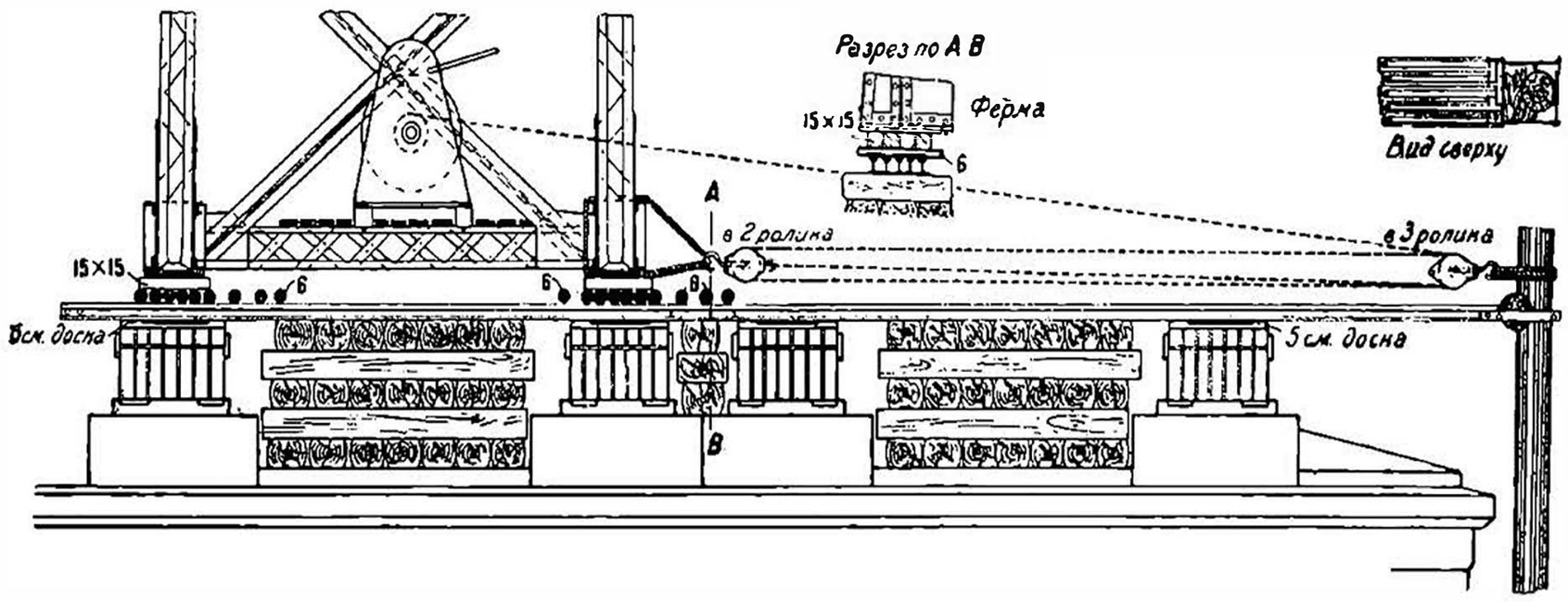


Рис. 245. Установка для поперечной передвижки на мосту через Москва-реку.

В случае укладки пути для движения на подферменные площадки последние предварительно выравниваются не менее, как до уровня верхней грани подферменников. В некоторых случаях, особенно при передвижке больших тяжелых мостов, когда вполне естественно стремление установить их возможно скорее на

НБ УДУНТ (ДІІТ)

опоры, опорные подушки устанавливаются заранее на подферменные камни, и подферменная площадка выравнивается для укладки пути выкладкой из клеток до уровня верхних граней опорных частей (рис. 245). Рельсовый путь укладывается по этим клеткам и по опорным подушкам ферм, на которых делается выстилка из 5—6-*см* досок. Этот вид выравнивания подферменной площадки отличается большой устойчивостью пути, но имеет своим недостатком большую просадку клеток относительно мало упругих опорных частей. Если даже эти клетки будут возвышены над уровнем опорных частей на величину предполагаемой просадки, то и тогда, в момент перехода с опорных частей на клетки, будет иметь место встречный подъем их, пока эти клетки не будут обжаты. В этом отношении более рациональным представляется выравнивание опорных площадок вертикально поставленными брусками (рис. 246), которые поверху перекрываются железными планками, распределяющими давление от рельс на все поперечное сечение брусков. Применение вертикально поставленных брусков может быть сделано только при обеспечении их устойчивости постановкой как продольных, так и поперечных диагональных связей.

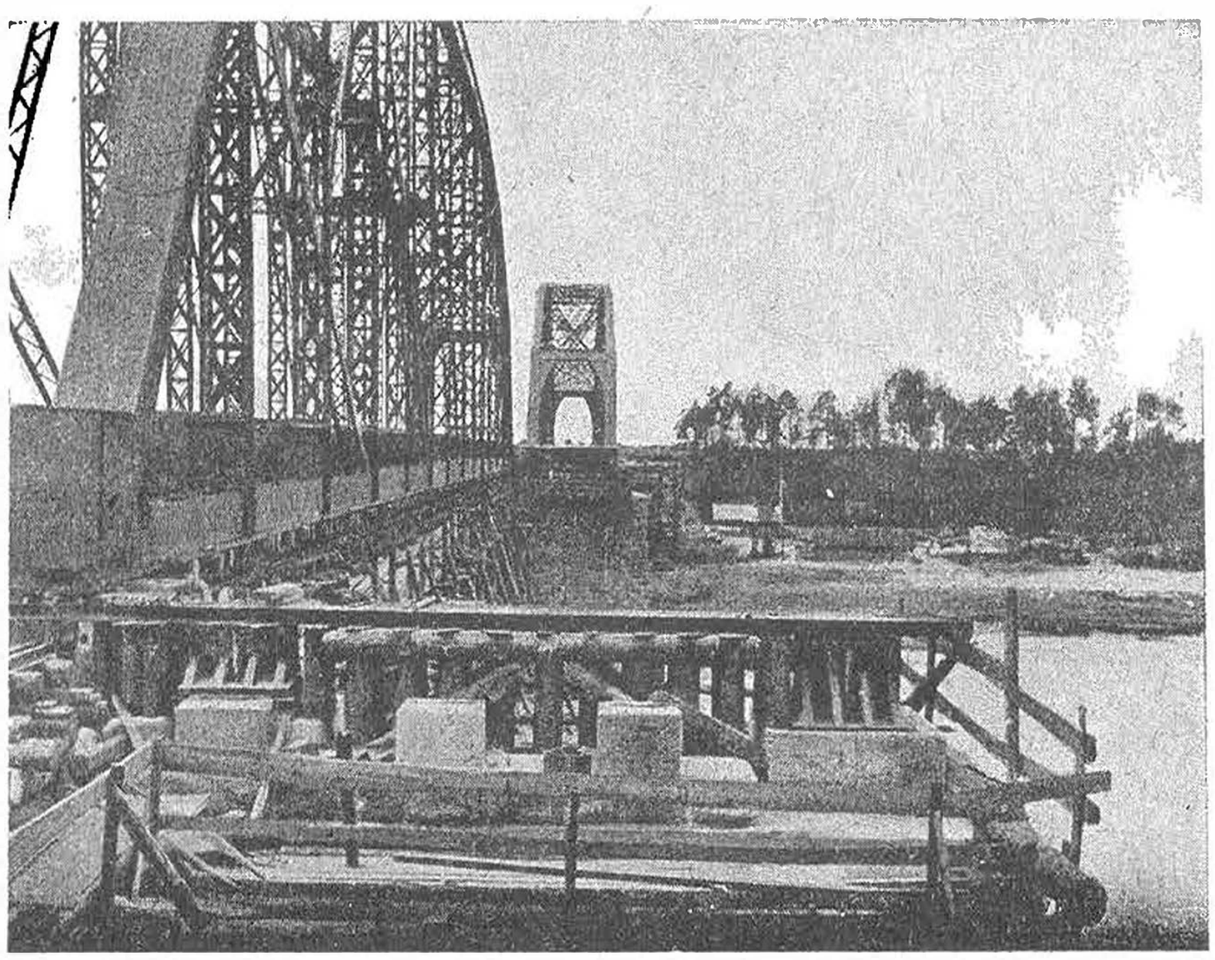


Рис. 246. Установка для поперечной передвижки на мосту через р. Неман.

Для поперечных надвижек лучшими являются те из подвижных приспособлений, которые, будучи установлены под фермами пролетного строения, сохраняют поднимисвое положение в течение всей надвижки. Этому условию более всего удовлетворяют салазки и тележки. Катки и шары приспособляются так, чтобы они во время движения пролетного строения проходили только под фермами, не упираясь в поперечные балки моста, которые в большинстве случаев не удовлетворяют условиям прочности при загружении их сосредоточенными реакциями подвижных частей.

Салазки имеют то преимущество, что при сравнительно небольшой высоте они своей шириной облегчают передачу давления на большую площадь. В качестве салазок обычно применяются опорные подушки передвигаемого пролетного строения, путь же выстилается из нескольких рядов рельс (рис. 247). В предупреждение сдвига пролетного строения вдоль оси моста или перекоса во время движения салазки снабжаются ребордами, или эти реборды заменяются болтами, которые своими выступающими головками препятствуют сдвигу. Следует иметь в виду, что направляющие реборды имеют свою дурную сторону в том, что при непараллельности пути движения они будут заедать о рельсы и могут вызвать опрокидывание их.

Поперечная надвижка больших ферм чаще всего производится при помощи чугунных или стальных катков диаметром 6—12 *см*; катки во время движения помещаются под фермами пролетного строения (рис. 245); поэтому длина их выбирается с таким расчетом, чтобы число пересечений их с рельсами удовлетворяло условиям движения без остаточных деформаций (см. формулу 46). В тех случаях, когда вследствие большого опорного давления условия прочности требуют постановки большого числа рельс и слишком длинных катков, уменьшение длины

НБ УДУНТ (ДІІТ)

последних может быть сделано увеличением плоскости соприкасания их с рельсами, для чего часть рельс ставится на подошву, другая часть кладется между первыми рельсами головками вниз, образуя своими подошвами довольно гладкую поверхность, вполне устойчивую, так как угол наклона верхних граней подошвы рельс менее угла трения железа.

Подобное устройство пути было выполнено для надвижки 150-*м* пролетного строения через Западную Двину. Вес пролетного строения моста, передаваемый на каждую опору ферм, был исчислен примерно в 262 *т*. Передвижка должна была производиться по стальным каткам $d = 6\,см$, на каждое пересечение которых с рельсом, по данным таблицы 14 можно допустить давление $P = 1{,}12 \cdot \frac{12\,000^3}{10^9} = 1\,728\,кг$. Таким образом для выполнения передвижки требовалось иметь $\frac{262\,000}{1728} \cong 160$ пересечений рельсов с катками. Так как под каждой фермой представлялось возможным поместить всего 11 катков, то длина каждого из них определялась из условия:

$$\frac{160}{11} \times \text{ширину подошвы рельс} \cong$$

$$\cong \frac{160}{11} \cdot 0{,}12 = 1{,}75\,м.$$

Взамен увеличения длины катков была сделана выстилка из 19 штук рельс, из которых 9 рельс были положены подошвами вверх, что давало возможность уменьшить длину катков на 1,25 *м* и сосредоточить давление под опорными узлами передвигаемых пролетных строений, причем давление не превосходило $\frac{262\,000}{2 \cdot 12 \cdot 11 \cdot 6} \cong 37\ кг/см^2$ диаметральной плоскости катка.

Тех же результатов можно достигнуть устройством выстилки из двутавровых балок (рис. 234 b).

Качение самих ферм пролетного строения по каткам обеспечивается устройством выстилки под ними; эту выстилку делают или из рельс, опрокинутых вниз головкой и укрепленных на брусках, приболченных к нижнему поясу ферм, или непосредственно из металлических брусков, укладываемых вплотную один к другому (рис. 245).

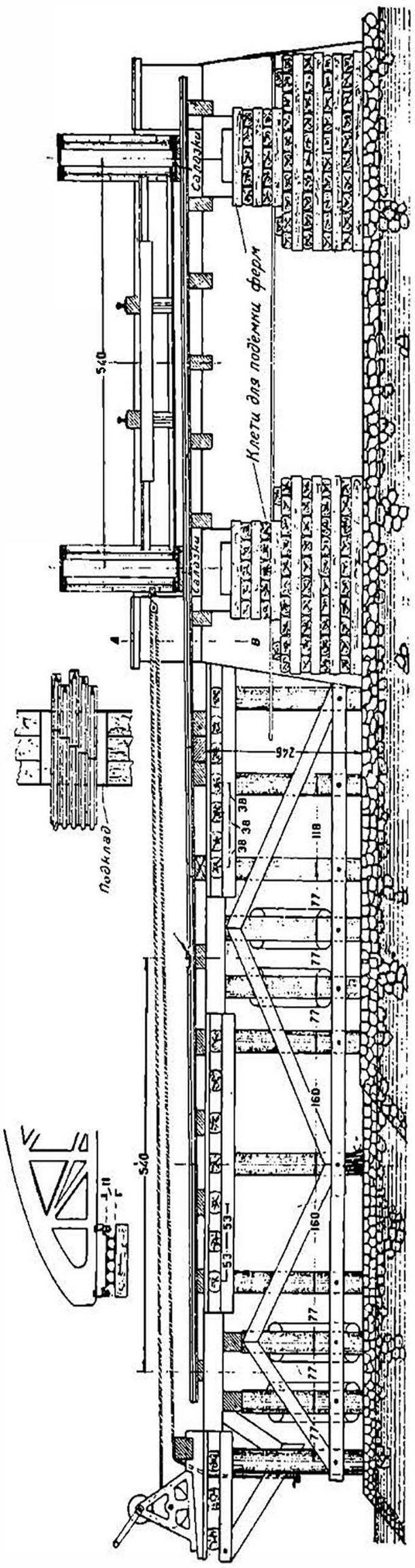
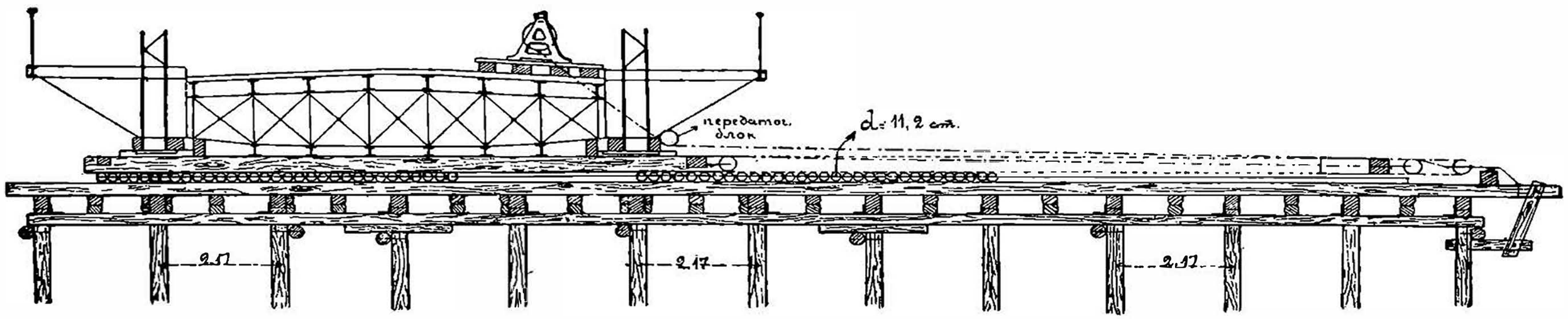


Рис. 247. Установка для поперечной надвижки на мосту через р. Логовище.

Известны случаи применения для поперечных надвижек стальных шаров. Передвижка на шарах отличается легкостью качения, но усложняется приспособлениями самого пути, который должен обеспечить невозможность разбежки шаров по сторонам. Рельсовые пути в этом случае заменяются желобообразными из швеллерного или двутаврового железа (рис. 248). Недостаточная жесткость этих сортов железа восполняется укладкой их или по деревянным балкам или на рельсы (см. рис. 228), которые обеспечивают их от изгиба под нагрузкой

НБ УДУНТ (ДІІТ)



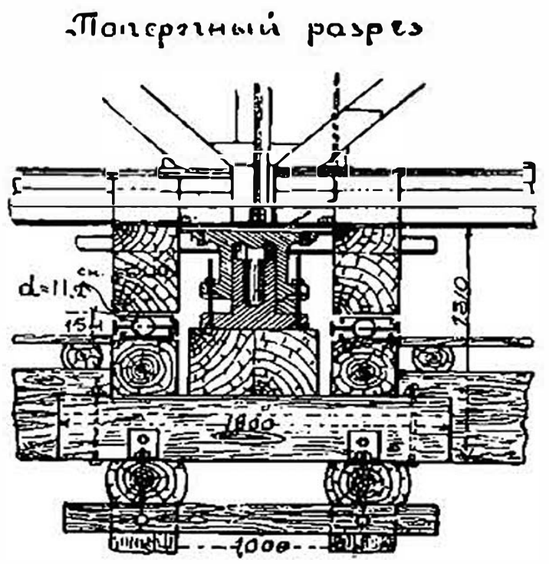


Рис. 248. Установка для поперечный надвижки на мосту чер э р. Мур.

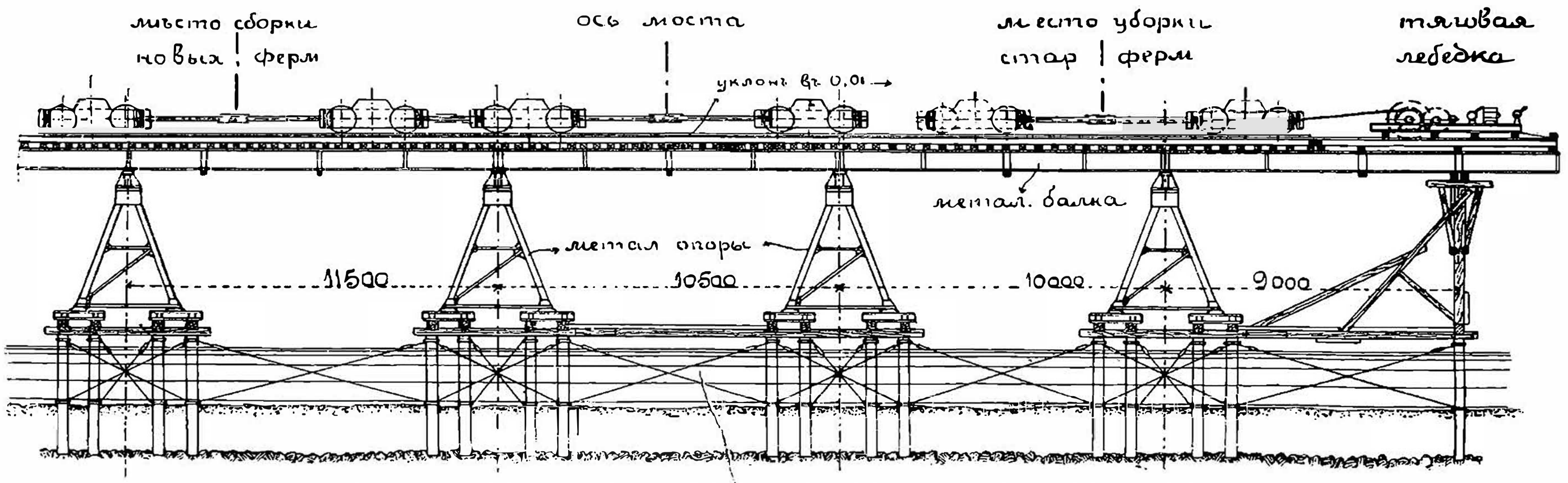


Рис. 249. Установка для поперечной надвижки на мосту через р. Эльбу.

НБ УДУНТ (ДИИТ)

пролетным строением. Разбежка шаров между собой предотвращается постановкой направляющего листа с специальными вырезами для шаров. Длина направляющего листа определяется по формуле (50); число отверстий на нем для шаров определяется из условия, что шары размещаются между собой на расстоянии от 2 до 2,5 диаметров, откуда

$$\text{число отверстий} = \text{от } \frac{2b+S}{2\cdot 2d} \text{ до } \frac{2b+s}{2\cdot 2{,}5d}.$$

Число шаров, находящихся одновременно под пролетным строением, определяется по формулам 51 или 52.

Тележки, применяемые для поперечных надвижек, устанавливаются под каждой из ферм пролетного строения и наглухо скрепляются с ними. Равномерность в движении тележек достигается приведением их во взаимную связь между собой, чтобы движение одной тележки не было возможно без движения другой (рис. 249); при глухом скреплении их с пролетным строением такой связью служит это последнее. По сравнению с другими приспособлениями тележки отличаются большой высотой и большим диаметром колес (рис. 234), что объясняется необходимостью удовлетворять условиям прочности при передаче большого давления небольшим числом колес. Иногда для увеличения подъемной силы тележек уширяется обод колеса, и качение его происходит по двум рельсам, между которыми помещается реборда колеса, регулирующая положение тележки относительно оси пути.

Вследствие громоздкости тележек путь для движения их в исключительных случаях может быть уложен по подферменной площадке, и обыкновенно для укладки его устраиваются специальные подмости под одним из узлов ферм, ближайших к опорным узлам.

Характерную особенность конструкции больших тележек, применявшихся для поперечных передвижек, составляет приспособление их для поднятия и опускания пролетного строения. Такое стремление вполне понятно и объясняется условиями установки и снятия пролетного строения с тележек. Если бы таковые не несли на себе подъемных приспособлений, то для производства установки и снятия с них пролетного строения потребовалась бы установка специальных подъемных приспособлений, устройство для них подмостей и так далее; вместе с тем усложнилось бы и производство работы, так как требовалось бы согласование подъемки и опускания с моментами подводки, выводки, укрепления и ослабления тележек. Приспособление тележек к производству подъемок и опусканий пролетных строений делается или путем соединения их с наклонными плоскостями или с гидравлическими прессами.

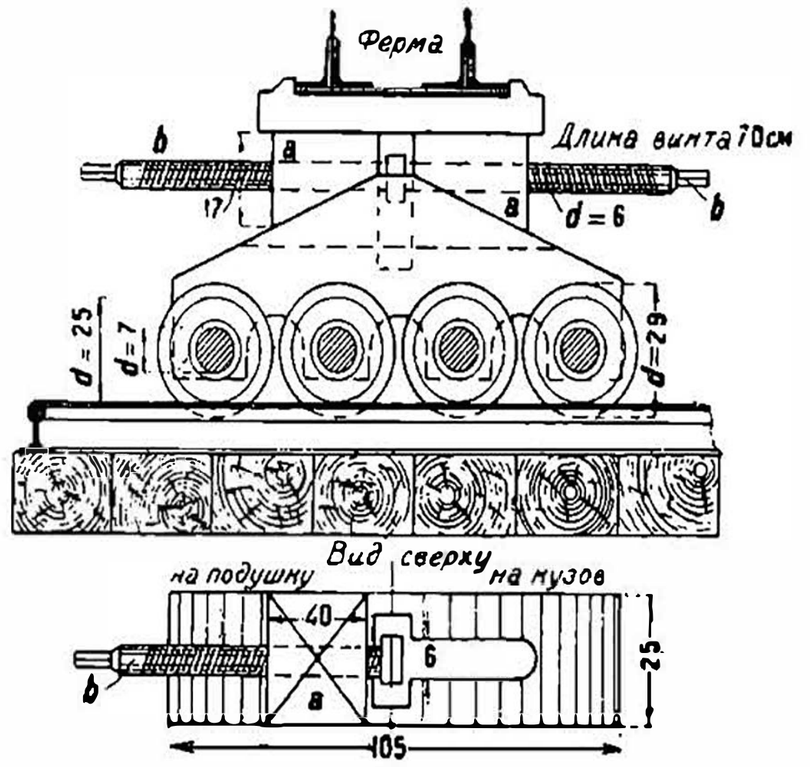


Рис. 250. Тележки для поперечной надвижки на мосту через р. Тверцу.

Идея наклонных плоскостей заключается в том, что кузову тележки дается форма трехгранной призмы (рис. 250), по наклонным граням которой имеют скольжение подушки a, связанные между собой винтами b, с обратной нарезкой; на верхних горизонтальных плоскостях подушек покоится пролетное строение. Поворачиванием винта b изменяется расстояние между подушками a, они или опускаются или поднимаются по наклонным граням кузова и этим изменяют высоту положения пролетного строения над путями и опорами.

Успешность работы таких наклонных плоскостей в существенной степени зависит от правильности положения подушек и винтов; малейшее искривление и засорение вызывает задержку и без того медленной подъемки.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Большою производительностью отличаются тележки с гидравлическими прессами. В тележках, показанных на рис. 234а, гидравлические прессы помещались на специальном ростверке из двутавровых балок по середине кузова под подушкой, служившей для поддержания пролетного строения. В момент, когда тележки были подведены под фермы пролетного строения, и требовалось посадить их на тележки, прессы поднимали подушки и вместе с ними пролетное строение, которое освобождалось от поддерживавших его приспособлений, после чего прессы ослаблялись, и подушки садились вместе с пролетным строением на кузова. Точно так же производилось и освобождение тележек из-под пролетного строения. На производство той и другой работы затрачивалось времени не более 20 минут.

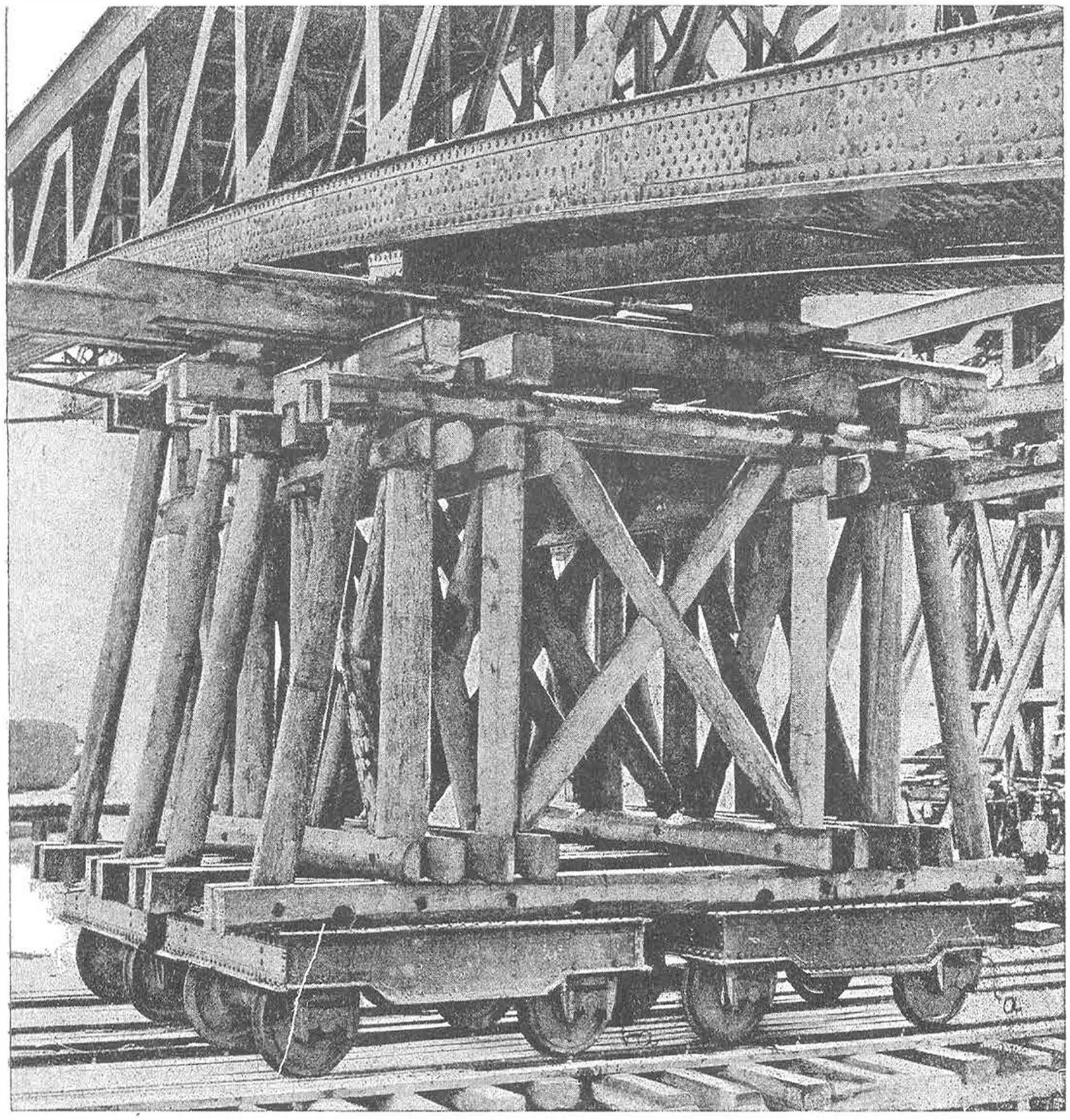


Рис. 251. Тележки для поперечной надвижки на Троицком мосту в Ленинграде.

На рис. 251 показаны тележки с металлическими кузовами, в которых гидравлические прессы *а* помещены в подшипниках осей. Все эти прессы соединены между собой трубочками, регулирующими давление в них, чем обеспечивается равномерность в подъемке и опускании.

Тележки, применявшиеся для надвижки ферм моста через реку Дунай в Австрии (рис. 252), были спроектированы состоящими из трех частей со стыками над осями колес; все части были свернуты болтами с обратной нарезкой по концам. При поворачивании болтов части тележки раздвигались, и они постепенно опускались, скользя по осям колес.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Передвижение пролетных строений в поперечном направлении производится с помощью лебедок, винтов и домкратов. Чаще всего можно встретить применение ручных лебедок, соединяемых полиспастами с передвигаемым пролетном строением. Лебедки устанавливаются или непосредственно на передвигаемом пролетном строении моста или же в переднем конце подмостей, служащих для движения. Установка лебедок на переднем конце подмостей представляется более рациональной, так как барабан лебедки соответствует уровню низа ферм; следовательно тяга каната нормальна к фермам и в течение движения мало изменяет свой наклон к ним, вследствие чего тяговое усилие лебедки используется наилучшим образом. При расположении же лебедок на передвигаемом пролетном строении значительно выше пути движения, в конце которого укрепляется тяговой канат, канат получает наклонное положение, увеличивающееся по мере движения пролетного строения вперед, и своим наклоном вызывает разложение тягового усилия на горизонтальное и вертикальное поднимающее путь кверху. Тем не менее, за отсутствием подмостей, часто приходится помещать лебедки на пролетном строении; для устранения же указанного наклона каната его укрепляют или к высокой мачте, устанавливаемой впереди пути (рис. 245), или же помещают дополнительный блок, изменяющий направление каната (рис. 248).

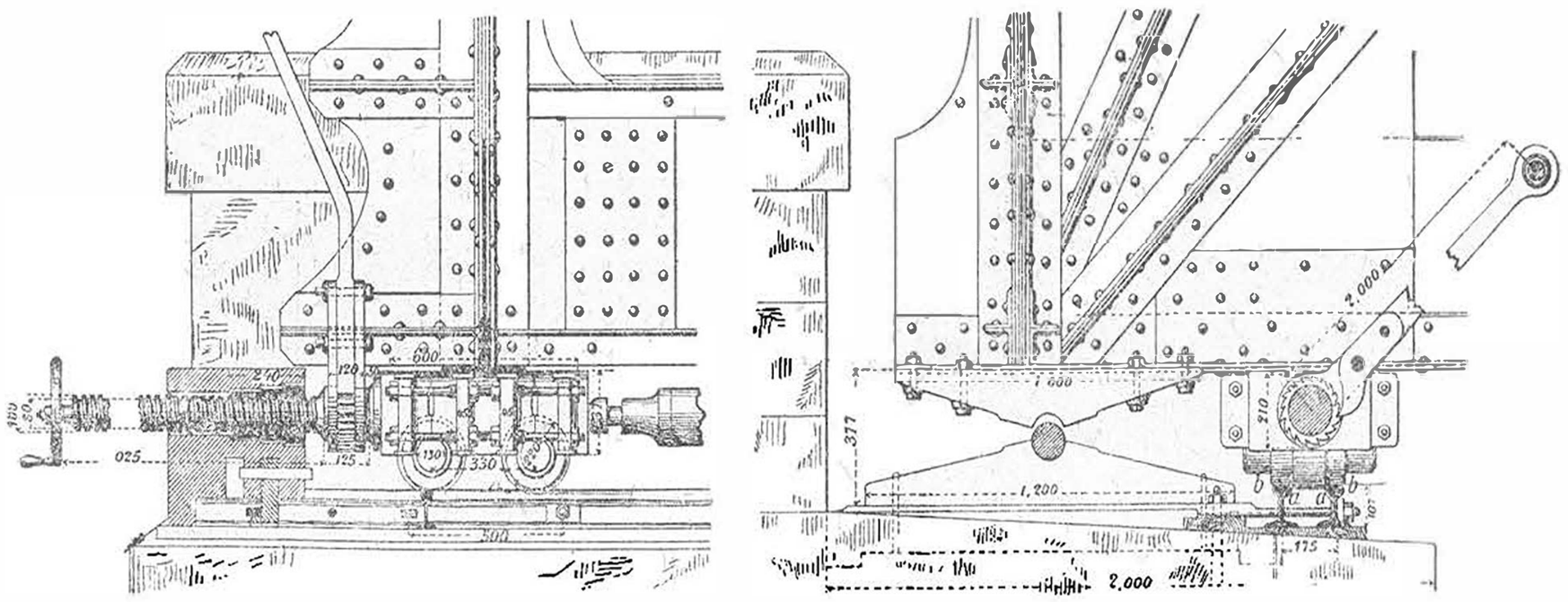


Рис. 252. Тележки для поперечной надвижки на мосту через р. Дунай.

Для поперечных передвижек на небольшое расстояние с успехом применяются винты и винтовые домкраты, наличие которых всегда обеспечено, и установка которых проще установки лебедок.

В целях облегчения движения можно придавать рельсовому пути уклон в сторону движения величиной не свыше 0,005; но при устройстве такого уклона необходимо предвидеть тормозные устройства в виде закрепительных талей или лебедок, которые помещаются со стороны противоположной движению с натянутыми цепями или канатами, которые по мере движения пролетного строения вперед постепенно ослабляются, но своим натяжением все время удерживают его от произвольного разгона. Рекомендуется также устраивать на переднем конце пути упоры [1]).

Успешность процесса передвижки в существенной степени зависит от качества предварительной подготовки путей движения, их ровности, параллельности, обеспеченности от просадок, а также от параллельности в перемещении самого пролетного строения. Параллельность в движении пролетного строения наблюдается при помощи специальных отметок или реек, наносимых на пути движения по обоим концам ферм. Отметки наносятся не реже, чем через 10 *см*, и одновременность прохода по ним концов ферм характеризует параллельность движения всего пролетного строения. Перекос пролетного строения во время движения может вызвать заедание реборд, завалку пути и повалку подмостей.

[1]) При сборке моста через р. Оку около Серпухова (1926 г.) был отмечен случай сдвига вбок действием урагана средней силы 111 *м* пролетного строения весом 616 *т*, поставленного на катки.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ТАБЛИЦА 15.

№№ по пор.	Наименование моста	Число и величина пролетов в метрах	Вес пролетн. строения во время движения в килогр.	Длина надвижки в метрах	Приспособления для движения				Род двигателей	Время движения	Средняя скорость движения *см* в минуту
					Род	Размеры в миллиметрах	Путь для движения	Давление в килограммах			
1	Р. Логовищ	1×43	122 858	13,87	4 чугунные подушки	—	5 рельс	6142 *кг* на пересечение подушек с с рельсами	2 лебедки	1 час 10 минут	19,6
2	Р. Москва	3×53	155 620	5,33	Стальные катки по 6 штук под конец ферм	$d = 56$	—	1297 *кг* на каждое пересечение рельса с катками	2 лебедки с двойными полиспастами	около 1 часа	8,8
3	Р. Зап. Двина	Консольн. 43—149—43	147 400 917 300 147 400	2,14	Стальные катки по 11 штук под конец средней фермы	$d = 63$	9 рельс повернутых подошвами	43,4 *кг/см²* диаметра площади	6 лебедок с тройными полиспастами и домкраты	около 1 часа 30 минут	2,4
4	Р. Шексна	128	688 000	25,60	Чугунные катки	$d = 100$	—	820 *кг* на пересечение рельса с катками	2 лебедки	около 3 часов	14,5
5	Р. Самара	4×53	163 800	6,40	Чугунные катки по 7—8 штук под конец ферм	$d = 128$	6 рельс	819 *кг* на пересечение рельса с катками	2 лебедки	I—17 минут II—15 минут	39,2 42,5
6	Мост Фердинанда в Граце	67,8	30 000	13,0	720 шаров при одновременном загружении 412 шаров	$d = 112$	8 рядов пути	728 *кг* на шар	4 лебедки с двойными полиспастами	40 минут	32,5
7	Р. Вааг близ Торнца	Нераэрезн. 2×31	64 838	5,40	120 шаров при одновременном загружении 60 шаров	$d = 117$	4 ряда пути	1080 *кг* на шар	4 лебедки	11 минут	49,1
8	Р. Эльба близ Магдебурга	5×66 10×33	516 000	13,50	4 вагончика по 4 колеса	Колеса $d = 1000$ цапфы $d = 150$	2 рельса (путь)	129 000 *кг* на тележку	2 электромотора по 10—12 лош. сил	20 минут	67,5
9	Р. Мозель у г. Бюллау	5×35 1×89	1 200 000	10	4 тележки по 8 колес		балки под колесом	75 000 *кг* на ось	2 электро-лебедки	20 минут	50

НБ УДУНТ (ДІІТ)

В таблице 15 приведены данные о нескольких произведенных поперечных передвижках. В этих данных описаны приспособления для движения, указаны наибольшие давления на них и показано время, затраченное на передвижку.

§ 31. Продольная надвижка по подмостям. Метод продольной надвижки по подмостям заключается в том, что пролетное строение моста, собранное на

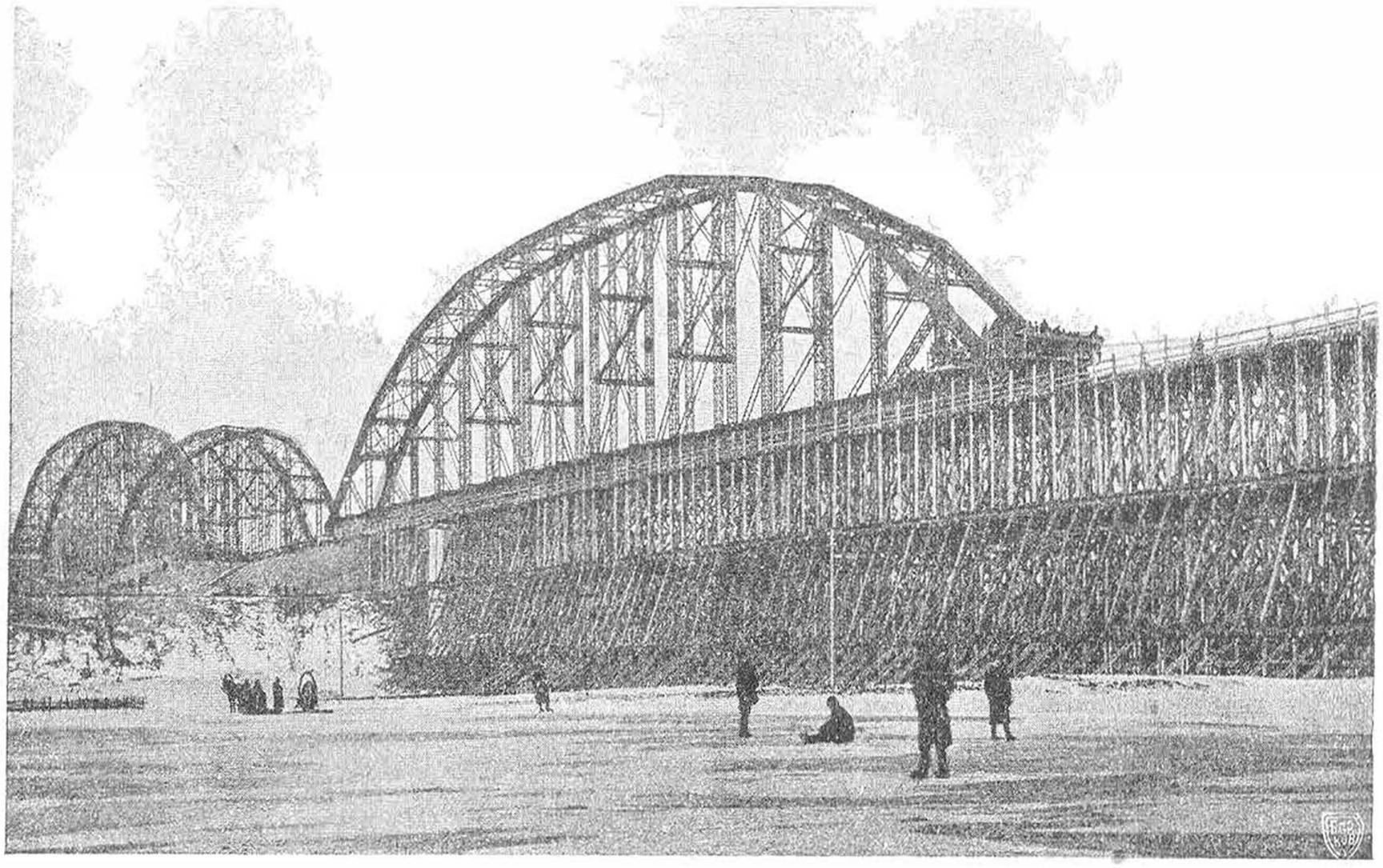


Рис. 253. Подмости для продольной надвижки на р. Енисей.

берегу, устанавливается на место надвижкой его вдоль подмостей, сделанных в отверстии моста (рис. 253). На первый взгляд представляется довольностранным, что при устройстве подмостей в пролете не используется сравнительно простой метод сборки на подмостях, а применяется надвижка, более сложная по производству установки

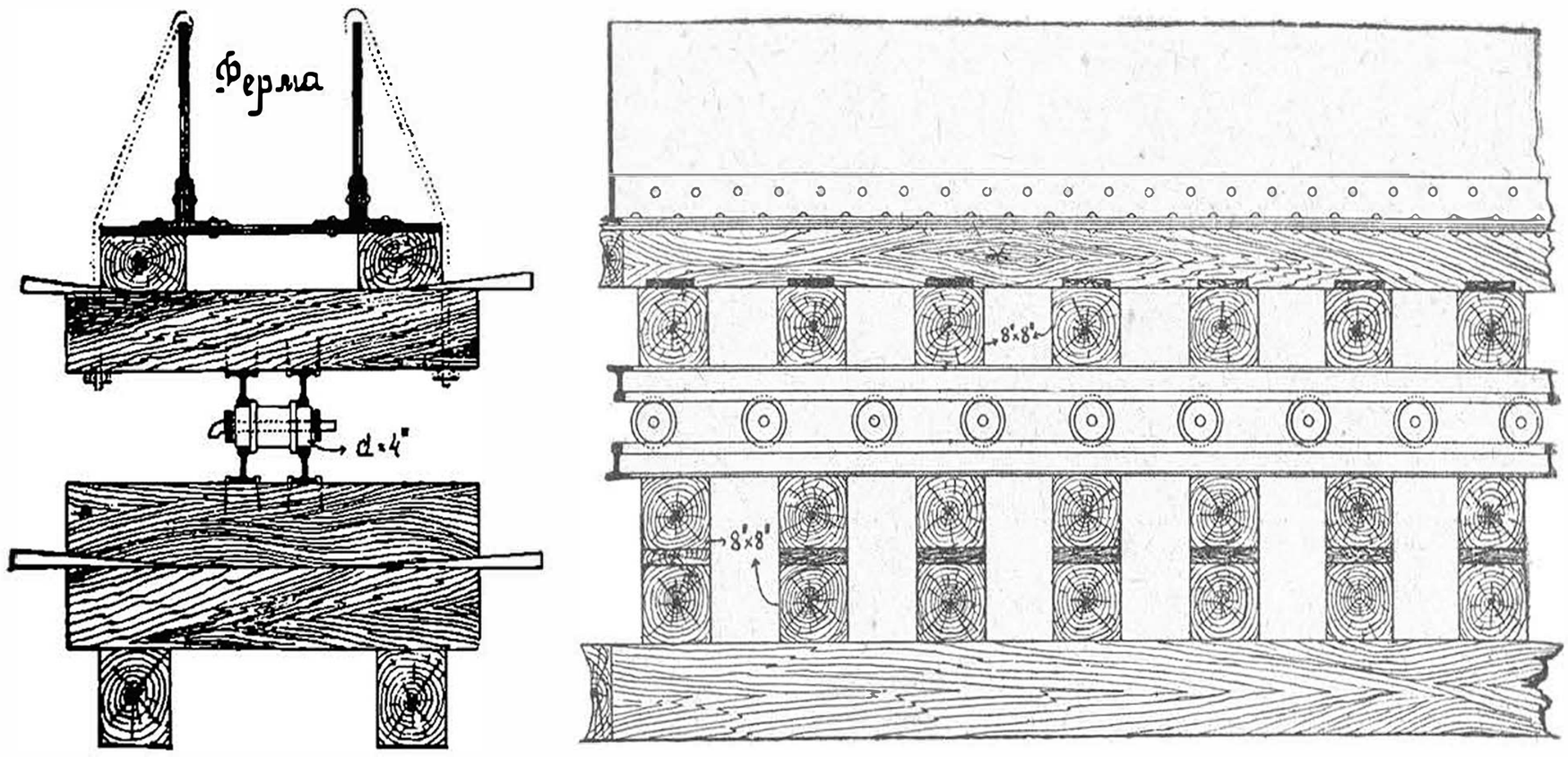


Рис. 254. Путь для продольной надвижки по подмостям.

и повышающая общую стоимость работы. Однако применение этого метода находит себе оправдание в тех случаях, когда установка подмостей и сборка на них ферм должны быть произведены в известный короткий период времени, ограничиваемый местными условиями и далеко не достаточный для производства той и другой работы.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

То обстоятельство, что в этих случаях останавливаются именно на методе продольной накатки по подмостям, объясняется преимуществами этого метода перед методами надвижки без подмостей и на подвижных опорах. В этом методе надвижки пролетное строение не имеет впереди себя ни свешивающегося конца, вызывающего дополнительные выгибы, ни постоянно колеблющейся опоры, находящейся в зависимости от уровня воды в реке и давления ветра.

Конструкция подмостей, устанавливаемых в пролете, ничем не отличается от таковой же, применяемой для сборки пролетных строений на месте установки (§ 22). Разница заключается в том, что нагрузка от ферм передается на подмости уже не через сборочные клетки, а через продольные прогоны, по которым укладывается путь для движения (рис. 254). Подмости для накатки пролетных строений загружаются по мере движения его вперед, вследствие чего осадка подмостей происходит неравномерно: часть подмостей под пролетным строением проседает, образуя волнообразный выгиб. Так например при надвижке пролетного строения на мосту через р. Оку около Мурома подмости проседали на величину до 11 *см* [1]). Образование волнообразного выгиба несколько смягчается наличием продольных брусьев, укладываемых для пути движения. Однако предвидеть его необходимо; поэтому не рекомендуется делать подмости для надвижки с подкосами и ригелями (рис. 187), так как при образовании выгиба такие подкосы легко могут выйти из врубок и выпасть.

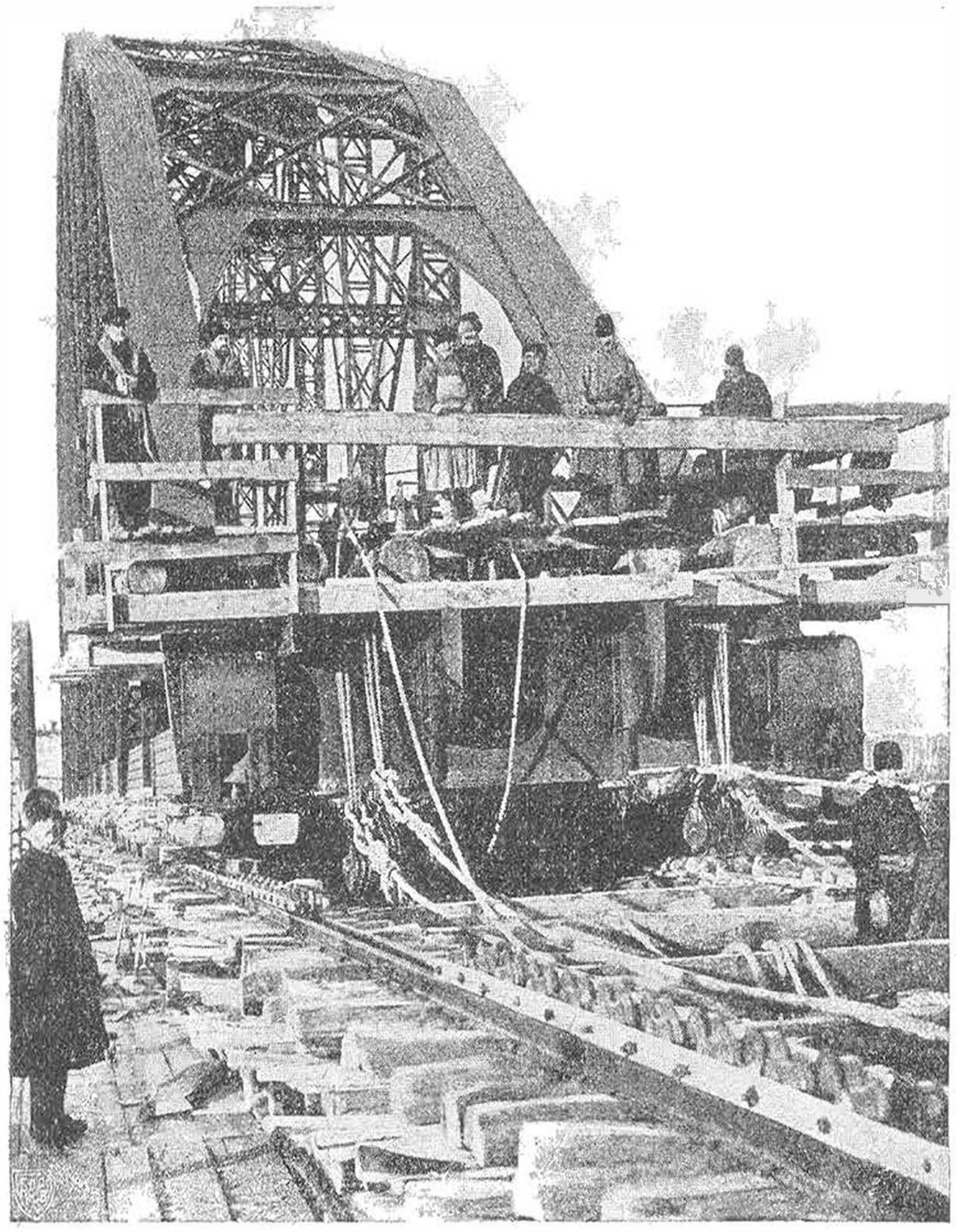


Рис. 255. Продольная надвижка на катках по подмостям.

Двигающаяся масса пролетного строения стремится в процессе движения завалить подмости вперед, а при неровностях пути выжать их в стороны. Эти обстоятельства заставляют обращать внимание на увеличение жесткости подмостей как в продольном направлении, так и в плане. В продольном направлении жесткость подмостей обеспечивается постановкой вертикальных связей между стойками подмостей по всей их высоте. Для образования же жесткости в плане целесообразно предусматривать постановку диагоналей из досок между насадками подмостей.

Со времени надвижки пролетных строений моста через р. Енисей установился прием производства таких надвижек при помощи катков, что находит себе полное оправдание в том, что при надвижке на катках давление от веса пролетного строения распределяется на большую длину подмостей.

На рис. 255 показан тип устройства пути и расположения катков для про-

---

[1]) А. Ф. Эндимионов, «Постройка моста через реку Оку у гор. Мурома», 1912 г.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

дольной надвижки пролетных строений. Для производства продольной надвижки обычно применяются катки диаметром 10 — 15 *см*, снабжаемые ребордами или приливом в средней части, чем предупреждается сдвиг катков со стороны. Такой сдвиг легко может возникнуть вследствие неравномерной просадки грунта и подмостей. Опасаться же заедания реборд о рельсы не приходится, так как при небольшой ширине колеи можно достигнуть безусловной параллельности и прямолинейности ее.

Катки для продольной надвижки распределяются по возможности под всем пролетным строениям. В предупреждение сдвига их между собой в кучу, а также разбежки, их соединяют по нескольку штук в отдельные каретки, группируя число катков так, чтобы вес каретки не был велик.

Неровности, имеющиеся в нижних поясах ферм в виде переменного числа горизонтальных листов, головок заклепок и наконец в виде подъема ферм, препятствующие равномерному качению, сглаживаются и приводятся к горизонтальной прямой устройством специальной выстилки из рельс, подшиваемых к поперечным брускам различной толщины, прикрепляемых болтами к поясу ферм (рис. 254).

При устройстве выстилки вдоль всего пролета катки, попав под ферму во время всего прохода ее по ним, остаются наглухо заложенными, и в случае поломки или порчи какого-либо из катков не представляется возможным сменить его Ввиду этого рациональнее делать в двух-трех местах по длине пролетного строения перерывы в выстилке под ними; катки, выходя в этом перерыве из-под выстилки могут быть осмотрены и в случае надобности сменены.

Как нижний рельсовый путь для качения катков, так и рельсовые выстилки по фермам, снабжаются клинообразными прокладками (рис. 254), служащими для выравнивания обоих рельсовых путей на случай неравномерных просадок.

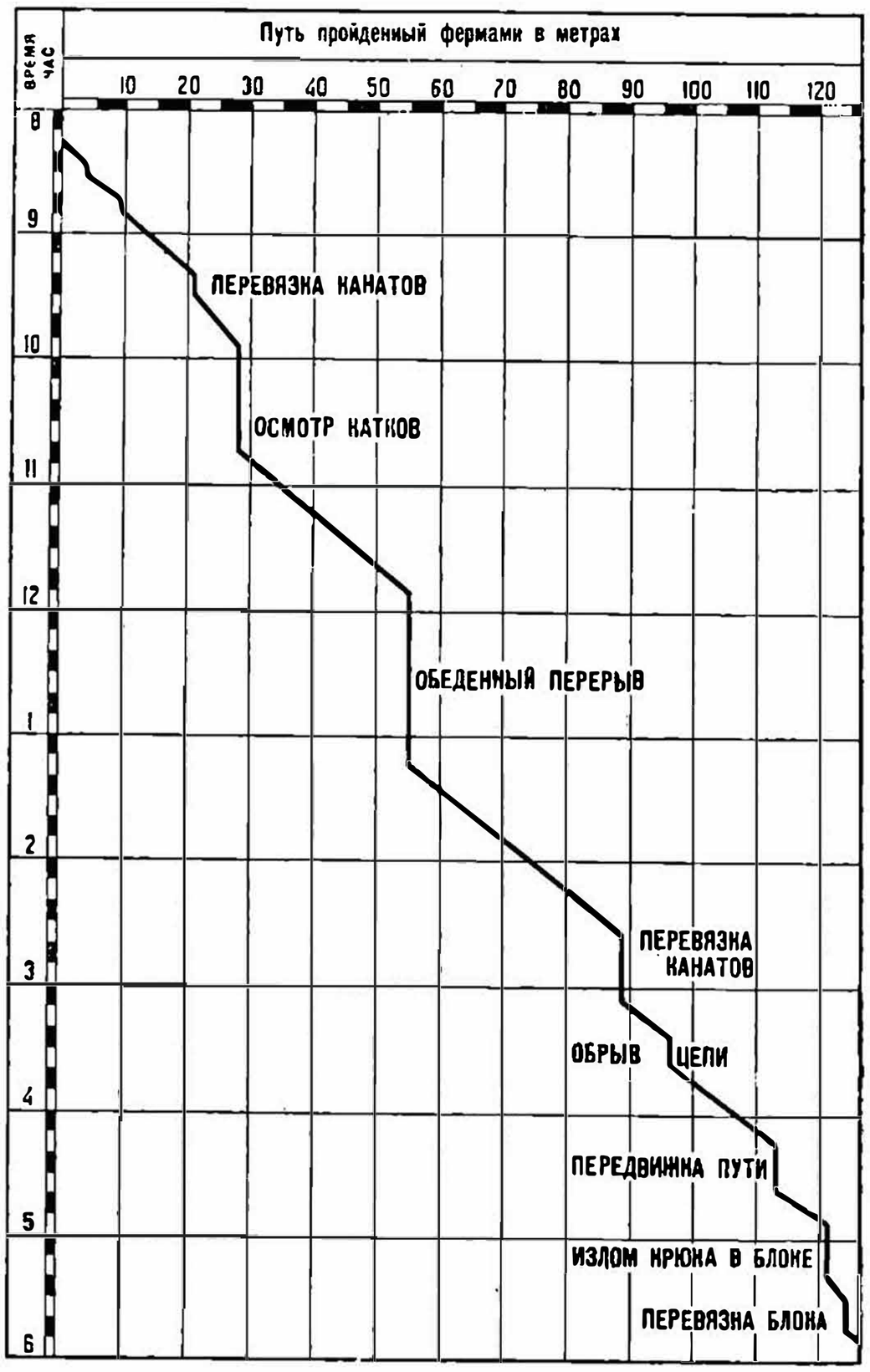


Рис. 256. График продольной надвижки на мосту через р. Оку.

Процесс накатки ферм состоит в том, что собранное пролетное строение устанавливается на подвижные приспособления и под действием силы тяги, обычно лебедок, протаскивается на место. При движении на большое расстояние подвижные приспособления, освобождающиеся из-под пролета, перекладываются вновь под переднюю часть его.

Трудность процесса накатки на катках заключается в наблюдении за движением катков и равномерностью передачи давления на них. Недостаточно иметь горизонтально выверенным только нижний путь качения. Бывают случаи, что задержка

НБ УДУНТ (ДІІТ)

в движении вызывается перегрузкой отдельной группы катков вследствие неправильного положения верхних рельс, которые, выпучиваясь, могут вызвать местную перегрузку катков. Характеристикой перегрузки катков служит буксование разгруженных катков. При большом числе катков надзор за правильностью работы их требует достаточного числа опытных наблюдателей, хотя бы из рабочих.

На рис. 256 показан график работ по надвижке пролетного строения моста через р. Оку около г. Мурома, с указанием на нем времени, затраченного на самую передвижку и на перерывы, имевшие место во время нее. Вся работа продолжалась 9 часов. Передвижка производилась 2 ручными лебедками, на которых

Мост	Длина пролета	Вес пролетного строения	Длина надвижки *м*	Приспособление для надвижки	Работа минут на передвижку *т/м*	Год	Источник
Ока около Мурома .	124	787	124	катки	0,33	1912	Описание работ
Аше .	87	332	147,3		0,416	1927	Нормат. станция НКПС
Дагомыс .	65	241	98		0,396	1928	
Кудепста .	21,3	25	45	брусья по рельсам	2,39	1927	

в смену работало 40 человек; кроме того 20 плотников работало на пролете по наблюдению за катками и по выправлению пути.

Ниже приведены данные о количестве рабочей силы, затрачиваемой на собственно передвижку 1 *т* металла на длину 1 *м*.

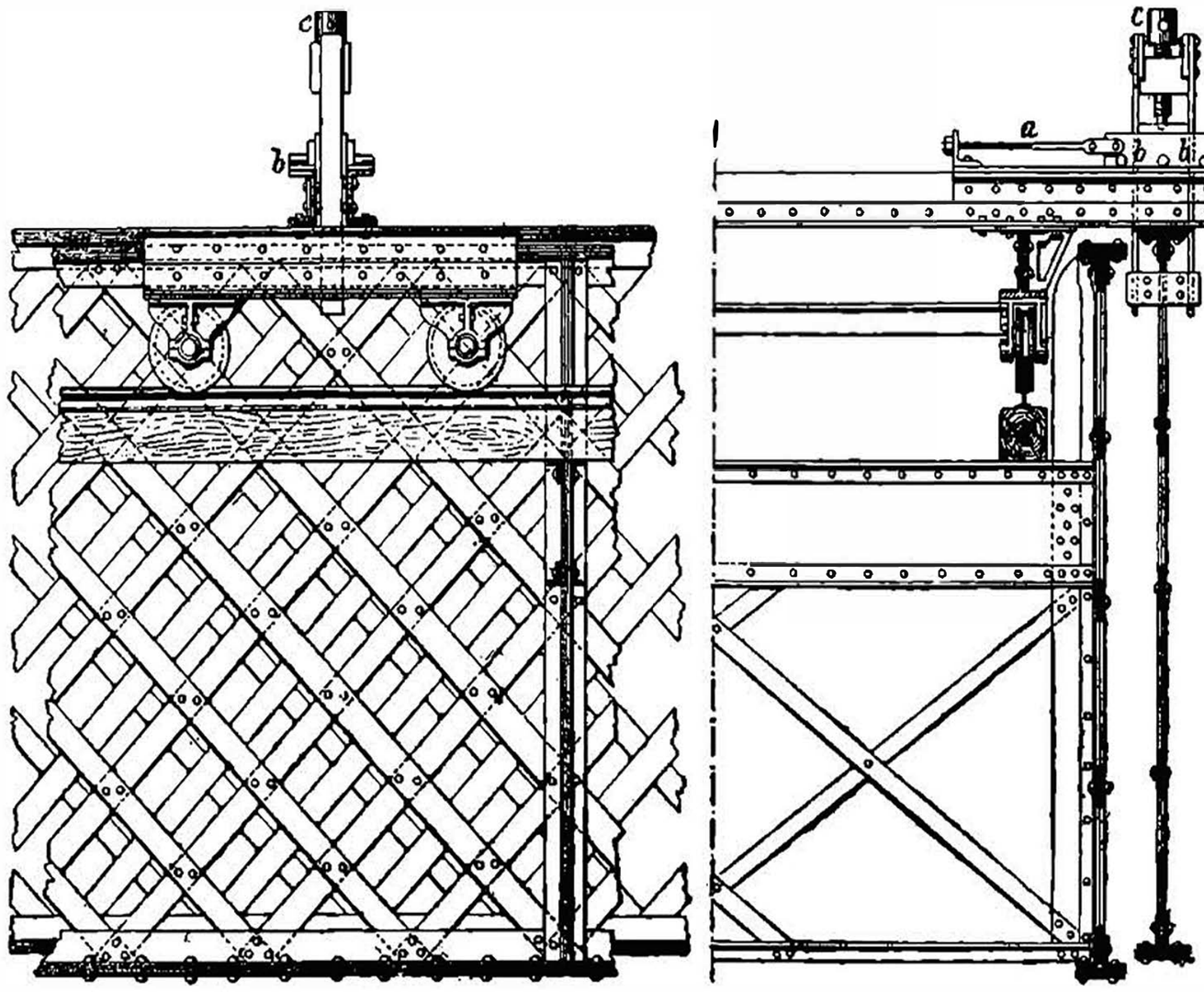


Рис. 257. Тележки для продольной надвижки на мосту через р. Тур.

Можно отметить, что при одинаковом оборудовании передвижки передвижка легких пролетных строений обходится не менее как вдвое дороже.

Применение тележек для надвижек по подмостям вообще избегается вследствие неблагоприятного действия сосредоточенного давления их на конструкцию

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ТАБЛИЦА 16.

№№ по пор.	Наименование моста	Число и длина пролетов в метрах	Длина надвижки в метрах	Вес пролетного строения во время надвижки в тоннах	Подвижные приспособления.				Вид двигающих приспособлений	Средняя скорость движения
					Вид их	Размер в миллим.	Путь для движения	Наибольшее давление в килограмм		
1	Р. Тур (Швейцария)	4 пролета 30—37—37—30	До 200	Каждый не свыше 60,00	2-осные тележки	Диаметр колеса—360, оси—75	Колея из 2 рельс	На колесо 7 500	Ворот	—
2	Р. Псел	4 пролета по 42,7	13,25	131,00	4—2-осные тележки	Диаметр колеса—305, оси—127	Колея из 2 рельс	На колесо 8 190	Рычаги в виде ломиков на 32 человека	6,4 *м* в час
3	Мост через р. Енисей	6 пролетов по 143	В зависимости от места установки	Каждый—875,00	До 700 чугунных катков	Диаметр 100	2 рельса под каток	На каток 1 280	2 лебедки с полиспастами	Наибольшая скорость движения 75 *м* в час
4	Мост через р. Шексну	1 пролет 128	Около 150	688,00	Чугунные катки	Диаметр 100	2 рельса под каток	На каток 1 230	2 лебедки	60 *м* в час
5	Мост через р. Неман	1 пролет 96	256	442,00	Чугунные катки	Диаметр 100	2 рельса под каток	На каток 1 230	2 лебедки	60 *м* в час
6	Мост через р. Оку у г. Мурома	2 пролета по 126	126	787,00	450 штук чугунных катков	Диаметр 100	2 рельса под каток	На каток 1 750	2 лебедки	23 *м* в час

НБ УДУНТ (ДІІТ)

подмостей. Тележки применяются для долевой надвижки по вспомогательным или существующим фермам, где они своим давлением не вызывают больших местных деформаций и где, наоборот, движение по каткам вследствие небольшой ширины поясов ферм было бы затруднительно.

При надвижках по вспомогательным фермам фермы надвигаемых пролетных строений помещаются во время движения сбоку первых: с внутренней или наружной стороны их (рис. 257). Таким расположением увеличивается общая устойчивость тележки с надвигаемыми фермами, и облегчается установка их на место, так как при расположении вспомогательных ферм вне оси установки надвигаемых представляется возможным немедленно по окончании надвижки установить фермы на место; при совпадении же осей вспомогательных и надвигаемых ферм требуется предварительная уборка первых и затем уже передвижка на место вторых. В свою очередь тележки приспособляются не только для подвозки, но и для непосредственной установки на место надвигаемых.

На рис. 257 показана конструкция тележки, приспособленной к движению по фермам различной ширины. Кузов тележки снабжен двумя салазками b с горизонтальным винтом a, с помощью которых салазки смещаются вдоль поперечных балок кузова. Фермы подвешиваются к салазкам винтом c, нижним концом упирающимся в салазки b. Благодаря такой конструкции надвигаемые фермы могут иметь смещение по всем направлениям, что облегчает не только приспособление их к движению по пролетным строениям различной ширины, но и самую установку их на место.

Долевая надвижка тележками иногда применяется также при замене старых пролетных строений новыми [1]).

В таблице 16 приведены данные, характеризующие различные случаи продольной надвижки по подмостями и фермам.

§ 32. Продольная надвижка с аванбеком. Метод непосредственного надвигания без устройства вспомогательных подмостей основан на принципе уравновешивания выдвигаемого конца пролетного строения задним концом его; этому условию удовлетворяют пролетные строения с неразрезными фермами, которые весом задних пролетов обеспечивают устойчивость переднего, свешивающегося конца в момент надвигания. Указанными свойствами неразрезных ферм широко пользовались в прошлом столетии, когда другие виды установок не были еще исследованы, и часто, несмотря на то, что этот прием надвигания обладает большими недостатками, специально проектировали неразрезные фермы, чтобы обеспечить установку их на мосту.

К числу недостатков этого приема надо прежде всего отнести изменение характера усилий, действующих в частях ферм. Во время движения свешивающийся конец пролетного строения представляет собою балку, заделанную одним концом и изгибающуюся от собственного веса, вследствие чего, как известно, изменяется не только знак изгибающего момента и перерезывающих сил, но и величина и распределение их вдоль ферм; причем изгибающий момент и перерезывающая сила в свешивающемся конце фермы от одной постоянной нагрузки собственным весом пролетного строения может превысить величину изгибающего момента и перерезывающих сил в ней же от совместного действия постоянной и временной нагрузок, определенной для нее как фермы с опорами на концах, что вызывает соответственное перераспределение усилий в частях ферм, а следовательно, перенапряжение в некоторых элементах.

Длина свешивающегося конца, при котором начинается перенапряжение в частях ферм, зависит от величин: веса постоянной нагрузки на погонную единицу длины пролетного строения, веса временной эквивалентной нагрузки на погонную единицу длины и соотношения расчетных пролетов надвигаемых ферм.

Она должна быть определена для каждого частного случая надвижки. По про-

---

[1]) Статья инж. Абаковского (Изв. Собр. инж. пут. сообщ., №№ 1 и 2), 1904 г. «Engineering Record», Vol. 51, стр. 501. 1905 г.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

изводившимся подсчетам можно сказать, что перенапряжения начинают появляться, когда свешивающийся конец достигает 0,3 — 0,4 длины пролета неразрезной фермы.

Развитие чрезмерных напряжений в частях ферм устраняется разгрузкой свешивающегося конца или устройством разгрузной башни, или аванбека.

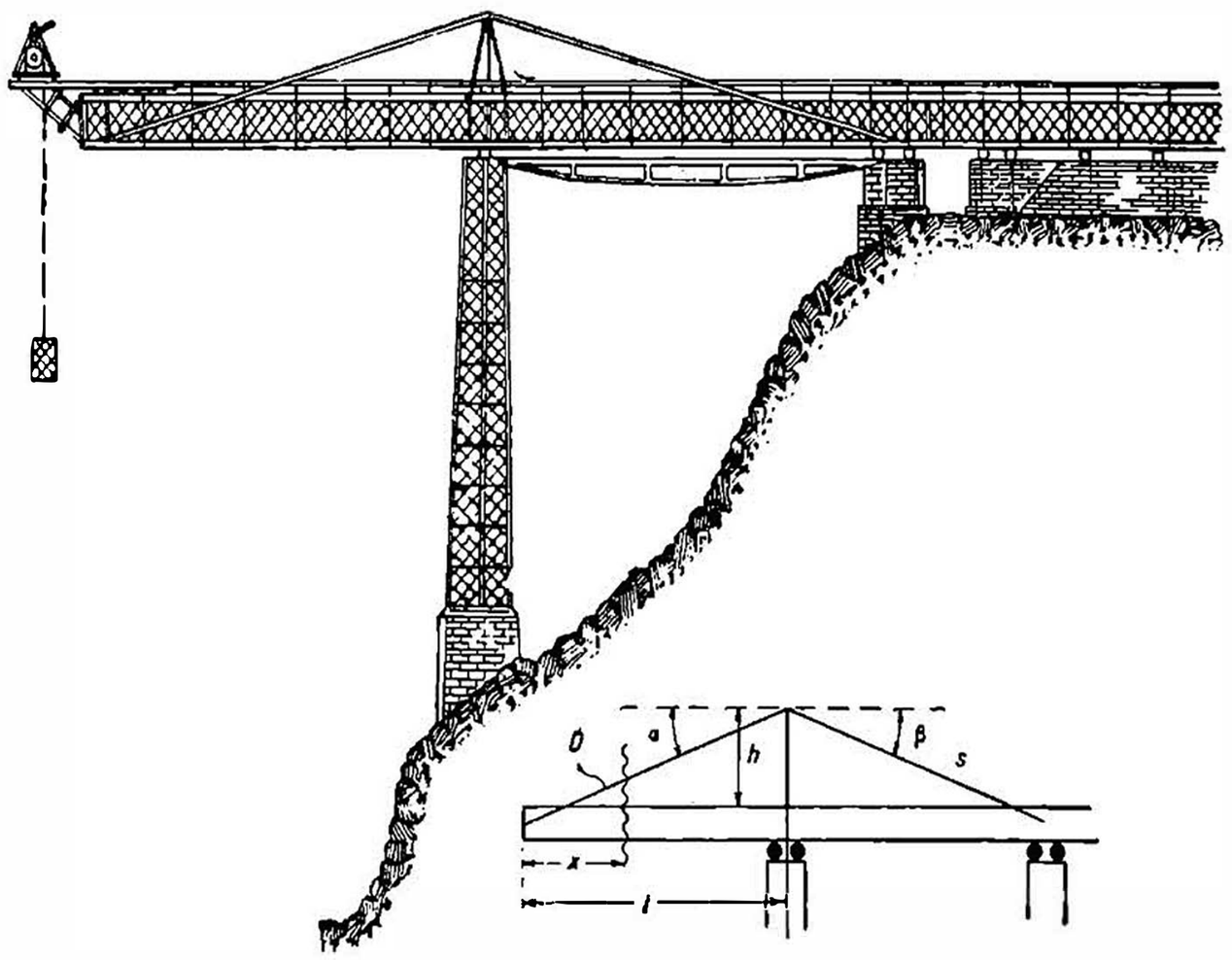


Рис. 258. Надвижка пролетного строения виадука Соан близ Фрейбурга.

При устройстве разгрузной башни (рис. 258) используется принцип подвесно-консольных мостов, в которых свешивающийся конец поддерживается канатом, перетянутым через башню. Сама башня помещается в частях ферм, близких к месту опорных устройств, что делается с тем расчетом, чтобы к моменту, когда выдвигаемый конец подходит к встречной опоре, и свешивающийся конец передает наибольшую нагрузку на башню, последняя находилась бы вблизи задней опоры и своей нагрузкой вызывала в фермах возможно меньший изгиб.

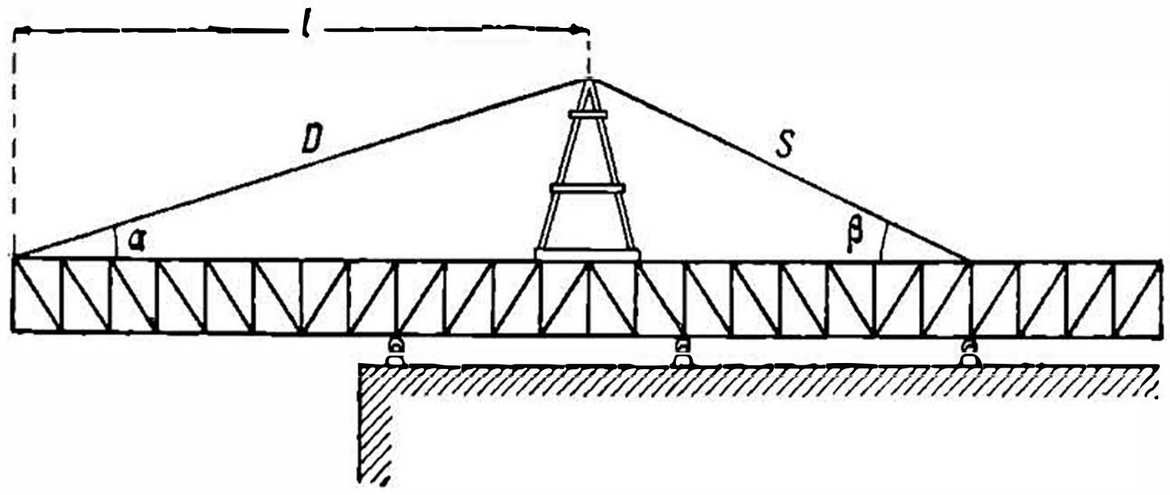


Рис. 259.

Величина наибольшего давления V, оказываемого башней на ферму, определяется по формуле (рис. 259):

$$V = -(D \sin \alpha + S \sin \beta), \tag{57}$$

где D — усилие тяги, поддерживающей свешивающийся конец, S — усилие задней закрепительной тяги, определяемое из условия $S \cos \beta = D \cos \alpha$, α и β — соответственно углы наклона передней и задней тяги.

Усилие тяги D определяется из условия равенства прогиба фермы у места закрепления тяги и прогиба от удлинения самой тяги, определяемого выражением:

$$\sum \frac{(N_p - N_D)\bar{N}}{E\omega} S = \frac{Dl}{E_1 \Omega} \operatorname{tg} \alpha \tag{58}$$

в которой N_p и N_D — усилия в частях пояса фермы от постоянной нагрузки p и усилия тяги D, $\bar{N}$ — усилие в частях поясов от силы равной 1, приложенной по

НБ УДУНТ (ДІІТ)

вертикали в узле у места прикрепления тяги. E и E_1 — коэфициенты упругости материалов ферм и тяги, S — длины отдельных частей поясов, ω — площади поперечных сечений поясов и Ω — площадь поперечного сечения тяги.

Для предварительного определения величины Ω — сечения тяги, можно воспользоваться упрощенным выражением, рассматривая ферму как балку, заделанную одним концом и находящуюся под действием постоянной нагрузки — p и усилия тяги, что дает условие:

$$\frac{1}{8}\frac{pl^4}{EJ} - \frac{D\sin\alpha \cdot l^3}{3EJ} = 0, \quad \text{откуда} \quad D = \frac{3}{8}\frac{pl}{\sin\alpha}.$$

На практике чаще встречается разгрузка свешивающегося конца устройством аванбека, который представляет собою не что иное, как непосредственное удлинение переднего конца ферм. Аванбек рассчитывается исключительно на нагрузку от

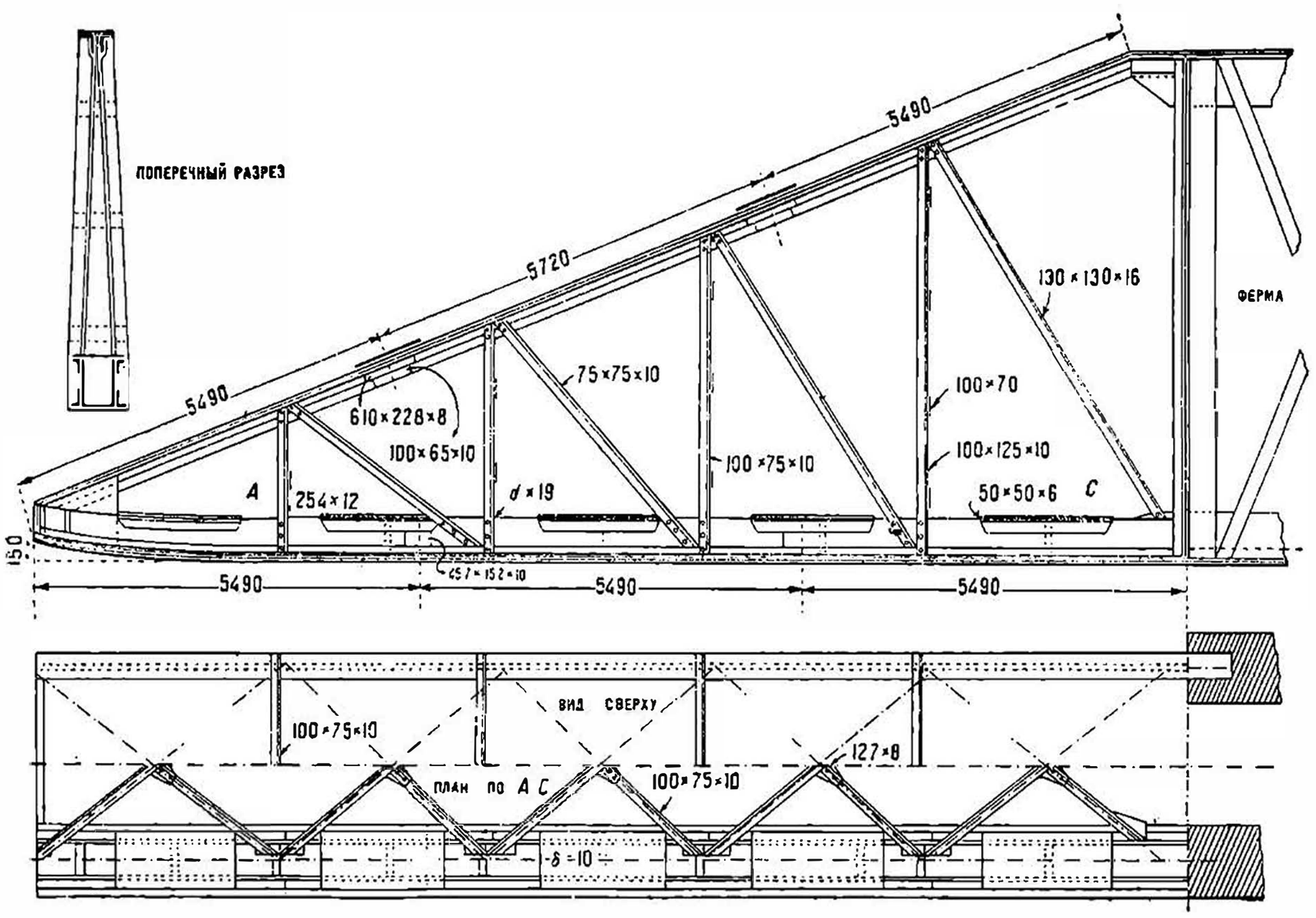


Рис. 260. Аванбек для надвижки пролетного строения виадука Бирриц (Коста Рика).

собственного веса, а потому представляет собою сравнительно легкую конструкцию (рис. 260).

Длина аванбека выбирается с таким расчетом, чтобы его нос ложился на встречную опору к тому времени, когда напряжение в частях надвигаемых ферм достигает допускаемых пределов (до 1600 и даже 1800 *кг/см*^{2}). Обыкновенно длина аванбека в неразрезных фермах делается от 0,25 до 0,50 длины пролета.

Дла характеристики влияния аванбека на уменьшение напряжений можно воспользоваться данными о надвижке пролетного строения моста через р. Неман близ Гродно.

Отверстие этого моста было перекрыто неразрезной фермой с тремя пролетами: 56,2 — 60 — 56,2 *м*. Постоянная нагрузка на погонный метр ферм была исчислена в 6,00 *т*; во время накатки разгрузкой проезжей части она была уменьшена до 5,7 *т* на погонный метр. Если бы накатка фермы производилась без устройства аванбека, то при проходе свешивающегося конца над средним пролетом, когда передний конец приближался бы к встречной опоре, изгибающий, момент свешиваю-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

щейся части достиг бы величины:

$$M = \frac{pl^2}{2} = \frac{5{,}7 \cdot 60^2}{2} = 10\,260\ т\ м.$$

Благодаря устройству в передней части моста аванбека длиной 23,5 *м* и общим весом в 22 *т*, изгибающий момент при том же положении ферм был уменьшен до величины:

$$M = 22\left(60 - \frac{2 \cdot 23{,}5}{3}\right) + 5{,}7\,\frac{(60 - 23{,}5)^2}{2} = 4 \cdot 772\ т\ м,$$

что составляет всего 47% от момента первого случая, и только при этих условиях напряжение в частях поясов ферм было доведено до 1 200 *кг/см*^{2}.

Свойство неразрезных ферм — самоуравновешивание — иногда используется при установке многопролетных мостов и при замене старых пролетных строений новыми. В обоих случаях отдельные пролетные строения приводятся к виду неразрезных путем соединения их между собой в опорных стойках; для этого опорные стойки двух пролетных строений, по возможности, сближаются между собой; между ними, на осях

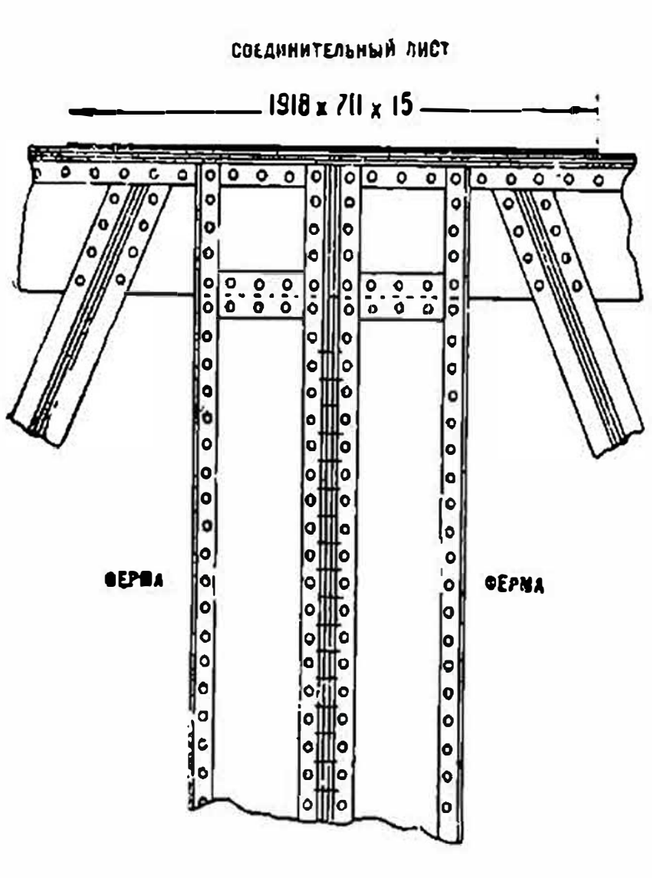


Рис. 261. Соединение ферм листом для аванбековой надвижки (виадук Бирриц).

Рис. 262. Соединение вагонными тягами для образования неразрезного пролетного строения

поясов, закладываются упоры из металлических клиньев, и самые стойки связываются или путем наклепывания на пояса листов (рис. 261), или путем каких-либо стяжек (рис. 262). В таком соединении пролетные строения надвигаются как неразрезные, и введенные в них соединения рассчитываются на передачу сжимающих и растягивающих усилий, соответствующих разным стадиям надвижки. В пролетных строениях со скошенными концами применение этого приема нецелесообразно, вследствие сложности устройства соединения по верхнему поясу.

Аванбеком нередко пользуются для надвижки отдельных пролетных строений (рис. 263). Если при надвигании неразрезных ферм аванбек служит для уменьшения

НБ УДУНТ (ДІІТ)

напряжений в свешивающихся частях пролетного строения, то при надвигании отдельных пролетов, аванбек, облегчая вес свешивающегося конца, должен предупреждать возможность опрокидывания пролетного строения от перевеса свешивающегося конца. Если бы аванбек не имел веса, то опрокидывание пролетного строения происходило бы в момент, когда середина пролетного строения проходила бы над опорой, но, так как аванбек своим весом смещает центр тяжести, то длина его

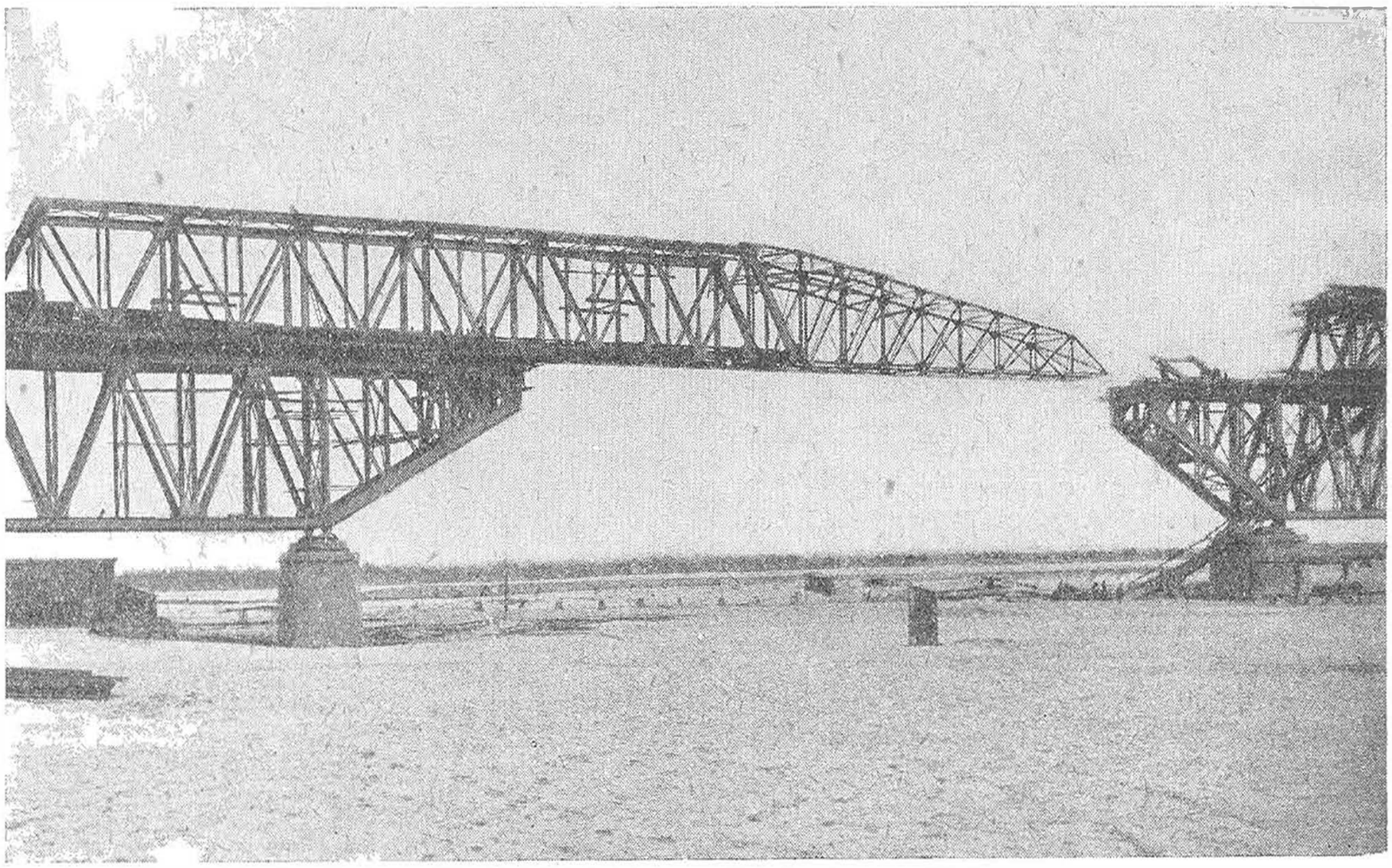


Рис. 263. Надвижка аванбеком пролетного строения через р. Дон.

делается несколько больше длины полупролета. Исходя из условия равновесия заднего конца пролетного строения с передним и аванбеком, можно вывести пределы изменения длины аванбека в зависимости от изменения его веса.

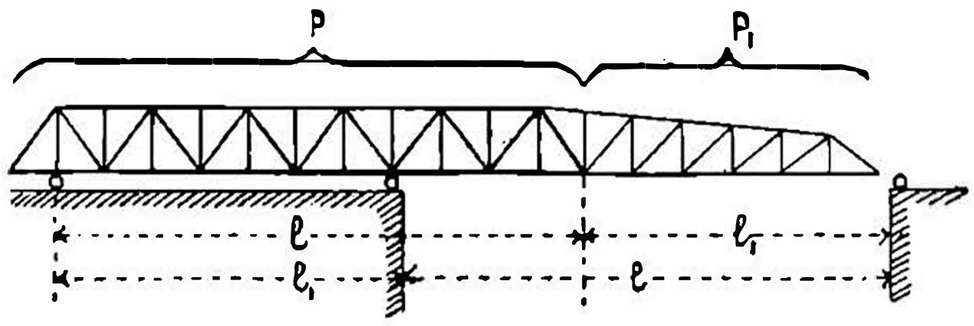


Рис. 264.

Вводя обозначения (рис. 264): l_1 — длина аванбека, p_1 — вес его на 1 пог. единицу длины, l — длина пролета, p — вес пролетного строения на 1 пог. единицу длины, — указанное условие можно выразить равенством моментов относительно крайней опоры:

$$\frac{pl_1^2}{2} = p_1 l_1 \left(l - \frac{l_1}{2}\right) + p\,\frac{(l-l_1)^2}{2},$$

после ряда преобразований это уравнение примет вид:

$$l_1^2 + 2\frac{p-p_1}{p_1} l \cdot l_1 - \frac{p}{p_1} l^2 = 0, \qquad (59)$$

в котором неизвестными являются p_1 и l_1. Вес аванбека всегда меньше веса пролетного строения и может быть выражен некоторой частью от последнего, а именно $p_1 = \frac{1}{k} p$. Давая p_1 ряд последовательных значений, можно определить соответствую-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

щие этим значениям — p длины аванбека — l

$$p_1 = \frac{1}{8}p; \qquad l_1 + 14ll_1 - 8l^2 = 0; \qquad l_1 = 0{,}55l$$

$$p_1 = \frac{1}{4}p; \qquad l_1^2 + 6ll_1 - 4l^2 = 0; \qquad l_1 = 0{,}61l$$

$$p_1 = \frac{1}{3}p; \qquad l_1^2 + 4ll_1 - 3l^2 = 0; \qquad l_1 = 0{,}65l$$

Эти равенства показывают, что при изменении веса аванбека в широких пределах, длина его изменяется сравнительно мало и колеблется в пределах от $0{,}55l$ до $0{,}65l$. На практике обыкновенно задаются длиной аванбека не свыше 0,60 длины пролетного строения. Получаемый при разработке конструкции излишек веса аванбека регулируется помещением противовеса в заднем конце.

Расчет прочности аванбека должен производиться в двух предположениях: рассмотрения его в процессе движения как фермы, закрепленной одним концом,

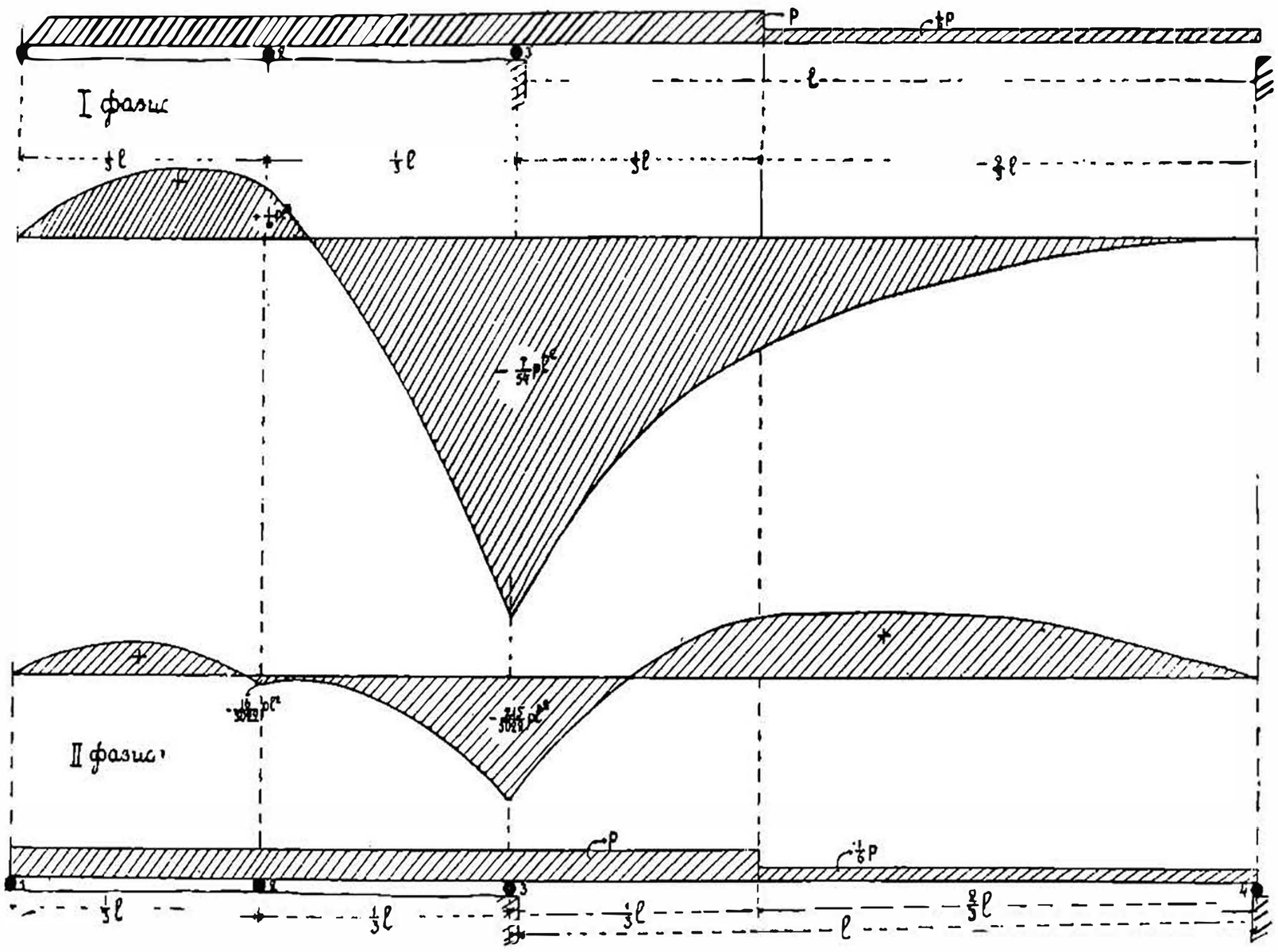


Рис. 265.

и рассмотрения его в момент касания со встречной опорой как первого пролета неразрезной фермы, образуемой аванбеком и надвигаемым пролетным строением. В первом случае собственный вес аванбека вызывает эпюру отрицательных моментов, нарастающую к заднему концу его (рис. 265); во втором случае собственный вес его вызывает эпюру положительных моментов, также имеющую наибольшие ординаты у заднего конца его. Эти две реальные комбинации имеют результатом то, что все элементы аванбека должны рассчитываться как сжимаемые.

Так как аванбек по характеру работы является временным сооружением, не подвергающимся динамической нагрузке, то при расчете прочности его можно исходить из повышенных напряжений. Так, например, при проектировке его из стали 3, можно допускать основное напряжение на растяжение в 1800 *кг/см*^{2}, на срезывание заклепок — 1400 *кг/см*^{2}, на смятие заклепок — 3500 *кг/см*^{2}.

Обыкновенно аванбеку дают треугольное очертание в виде клюва, приближая его к виду бруса равного сопротивления, с горизонтальным нижним поясом (рис. 260 и 266).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

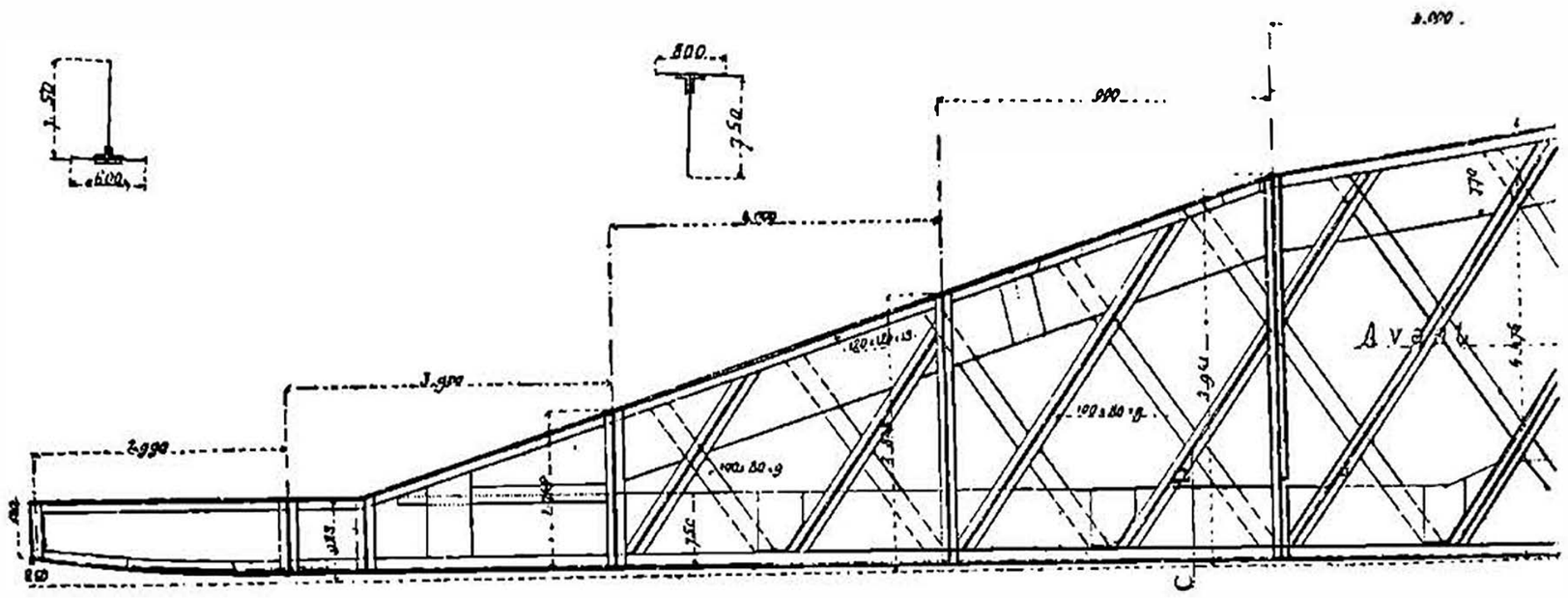


Рис. 266. Аванбек для надвижки 43-метрового

В передней части аванбека плоскость нижнего пояса делается по кривой с подъемом кверху на высоту, равную величине теоретического прогиба аванбека. Такое устройство необходимо, так как этим, во-первых, устраняется необходимость особых приспособлений для поднятия носа аванбека на встречную опору в момент подхода его к ней, во-вторых, при вступлении аванбека на опору постепенно уничтожается его прогиб, и опора входит в общую систему опорных точек, предупреждая этим возможность резкого изменения усилий в частях аванбека и надвигаемого пролетного строения.

Общая конструкция аванбека ничем не отличается от конструкции стропильных и мостовых ферм; горизонтальные связи помещаются в плоскостях обоих

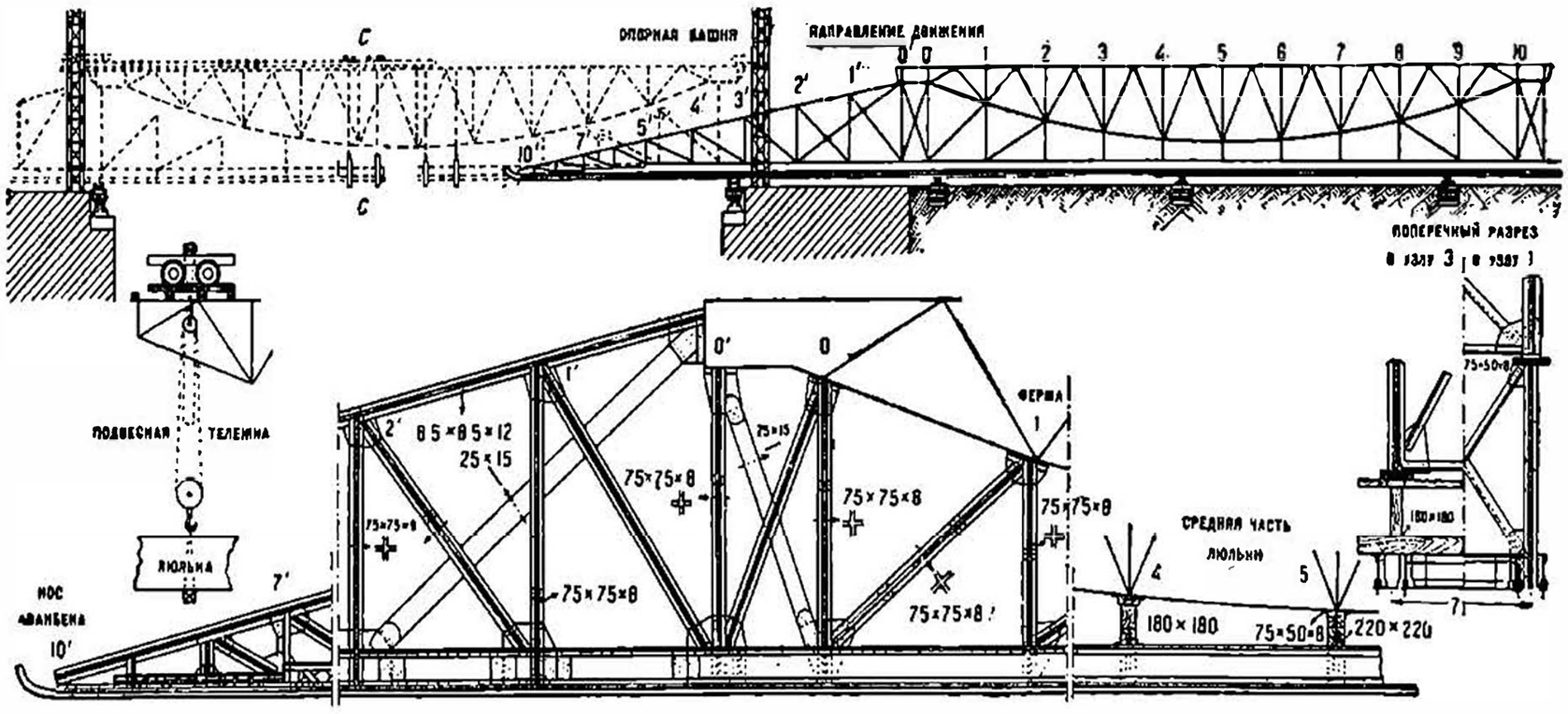


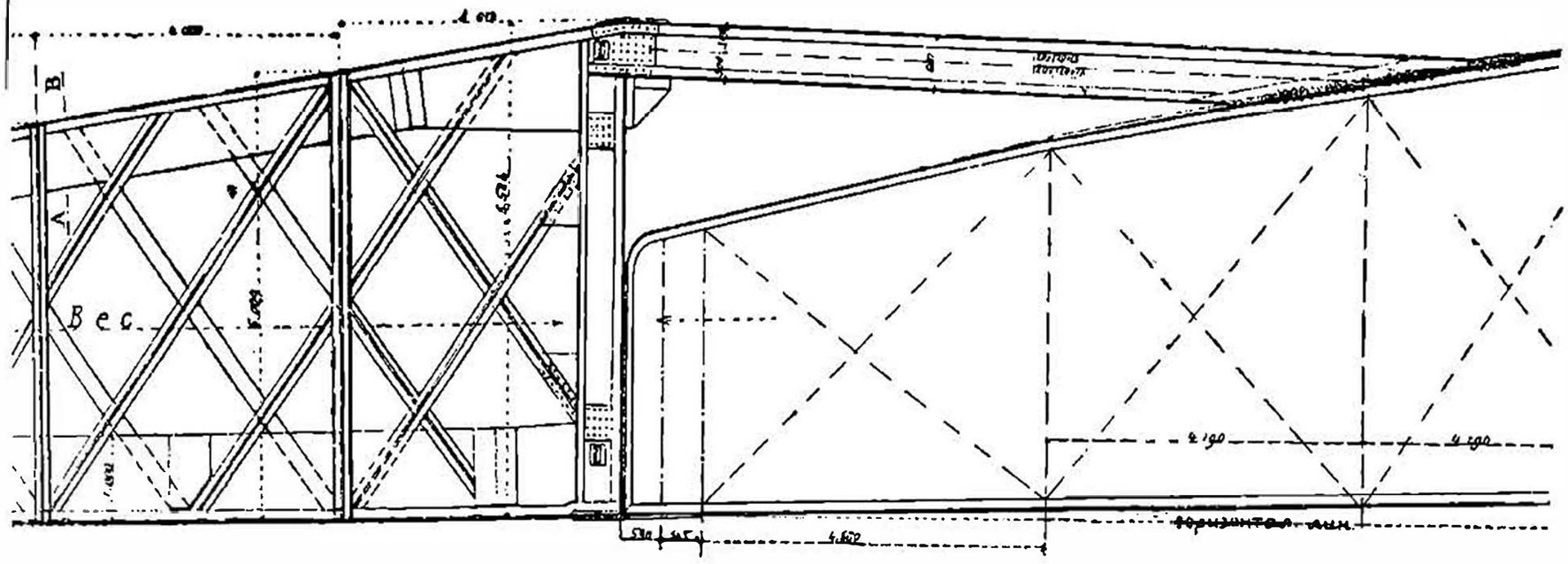
Рис. 267. Надвижка аванбеком пролетных строений на Тифлис-Карсской жел. дороге.

поясов. Соединение частей аванбека, если не во всех узловых планках, то через 2 — 3 панели делается на болтах, чем облегчается разборка аванбека по окончании установки пролетного строения на опоры.

В фермах с криволинейным очертанием нижнего пояса вопрос о надвижках с аванбеком осложняется приведением нижнего пояса к виду прямого, при котором становится возможным качение, что и достигается устройством специального вида люлек.

На рис. 267 показана конструкция такой люльки, применявшаяся при надвижках Тифлис-Карсской ж. д. Нижний горизонтальный пояс люльки связан решоткой непосредственно с нижним поясом пролетного строения, образуя с ним как бы одно целое. В средней части люльки металлическая решотка заменена деревянными стойками, на которые опирается пролетное строение и скрепляется с ним уголками.

НБ УДУНТ (ДІІТ)



пролетного строения виадука в Париже.

К передней части люльки присоединяется непосредственно аванбек. По окончании надвижки пролетное строение временно подвешивалось к особо устраиваемым опорным башням в виде портальных рам, после чего люльки разъединялись в среднем стыке, и каждая половинка люльки выводилась на подходные насыпи к мосту помощью специальных кареток, двигающихся по верхнему горизонтальному поясу пролетного строения.

Соединение аванбека с пролетным строением делается или по всей высоте, если фермы пролетного строения заканчиваются опорными стойками, или в двух пунктах на осях поясов, если фермы имеют скошенные концы.

При выборе подвижных приспособлений для надвижек со свешивающимся концом, необходимо прежде всего учитывать деформацию пролетного строения, происходящую под действием свешивающегося конца. Эта деформация характеризуется выгибом пролетного строения кверху (рис. 268), который в заднем конце частично погашается собственным весом пролетного строения. Так, например, если рассматривать надвижку одного пролетного строения с аванбеком, то по данным о соотношении длины аванбека и пролетного строения (см. формулу 59) можно видеть, что при ограниченном изменении длины аванбека от $0{,}55l$ до $0{,}65l$, сопротивление задней опоры, помещающейся под задним концом, близко к нулю, что свидетельствует о распространении выгиба кверху почти на всю длину задней междуопорной части надвигаемого пролетного строения. При таком виде деформации пролетного строения, все подвижные приспособления, помещаемые по длине выгнутого кверху участка CB, не будут испытывать на себе давления, а следовательно, не будут обслуживать надвижку.

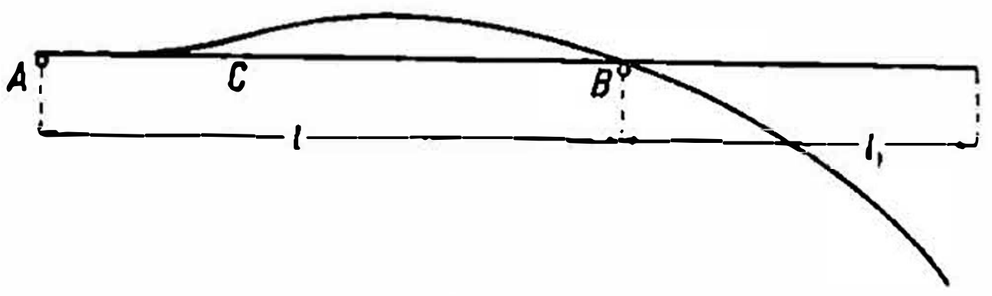


Рис. 268.

Из изложенного следует, что применение для этого вида надвижки катков нецелесообразно. Действительно, по условиям допускаемой на катки сравнительно небольшой нагрузки, всегда приходится помещать большое число их; между тем по схеме деформации (рис. 268) видно, что сосредоточить большое число катков в одной плоскости у передней опоры B пролетного строения так, чтобы они все работали, нельзя. Точно так же катки, располагаемые по длине заднего участка AC, будут работать неравномерно и, так как в зависимости от процесса выдвигания кривая деформации будет непрерывно меняться, то распределение давления на катках будет непрерывно изменяться, и они сами будут выходить из работы.

Опыт надвижки пролетного строения моста через р. Дон (рис. 263), производившейся при помощи кареток из катков (рис. 269), показал, что эти каретки, располагавшиеся на протяжении заднего конца, часто выходили из работы, вследствие чего во время надвижки пришлось уделять много внимания регулированию

НБ УДУНТ (ДІІТ)

положения катков путем подбивки клиньев, нового ослабления их, перекатки катков и пр., что, естественно, тормозило всю работу.

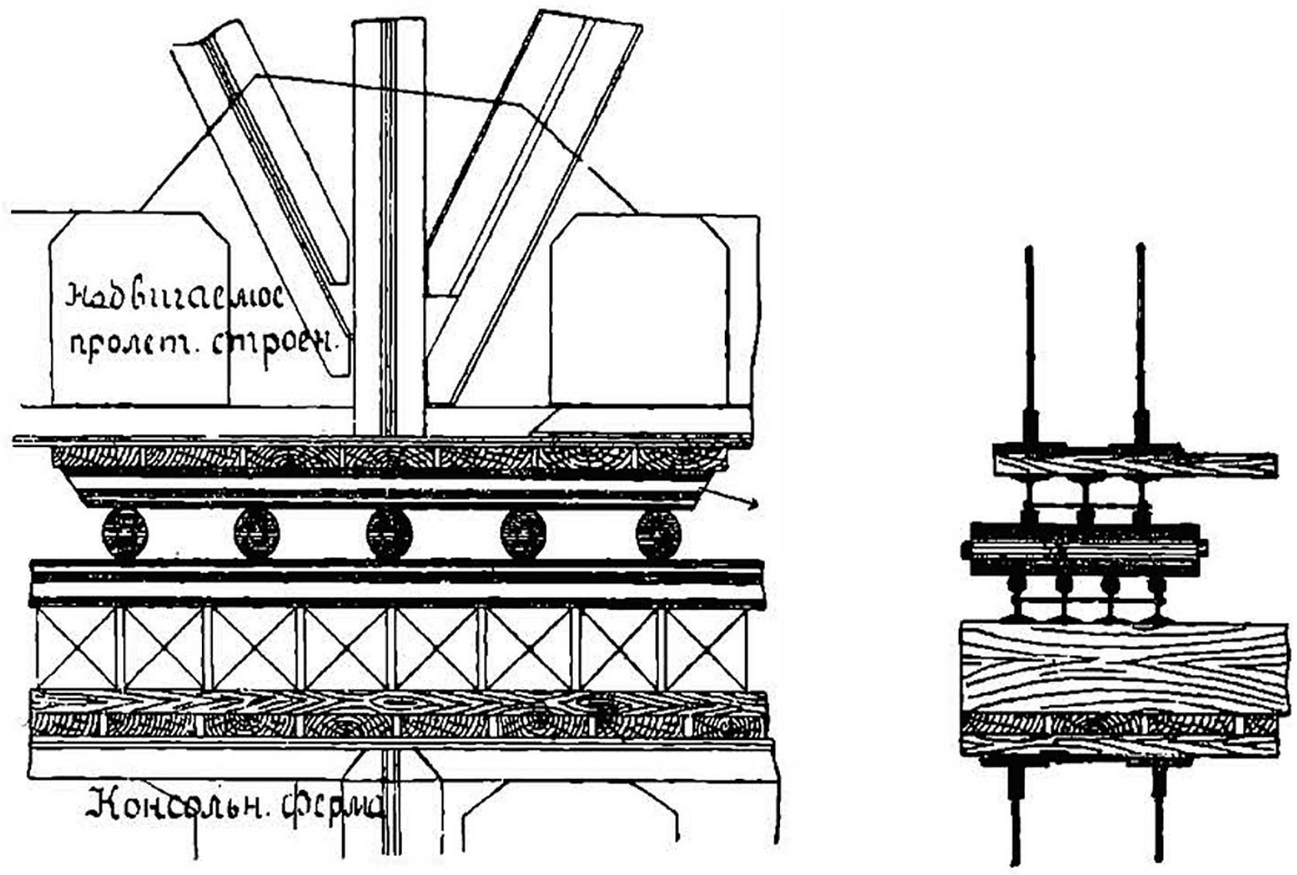


Рис. 269.

Нетрудно видеть также, что по условиям деформации крайне важно иметь в самих подвижных приспособлениях балансирное устройство, вращаясь вокруг которого, пролетное строение само регулировало бы неравномерность в распределении давления и центрировало бы его; устройство таких приспособлений легко осуществимо при применении для надвижки роликов и тележек.

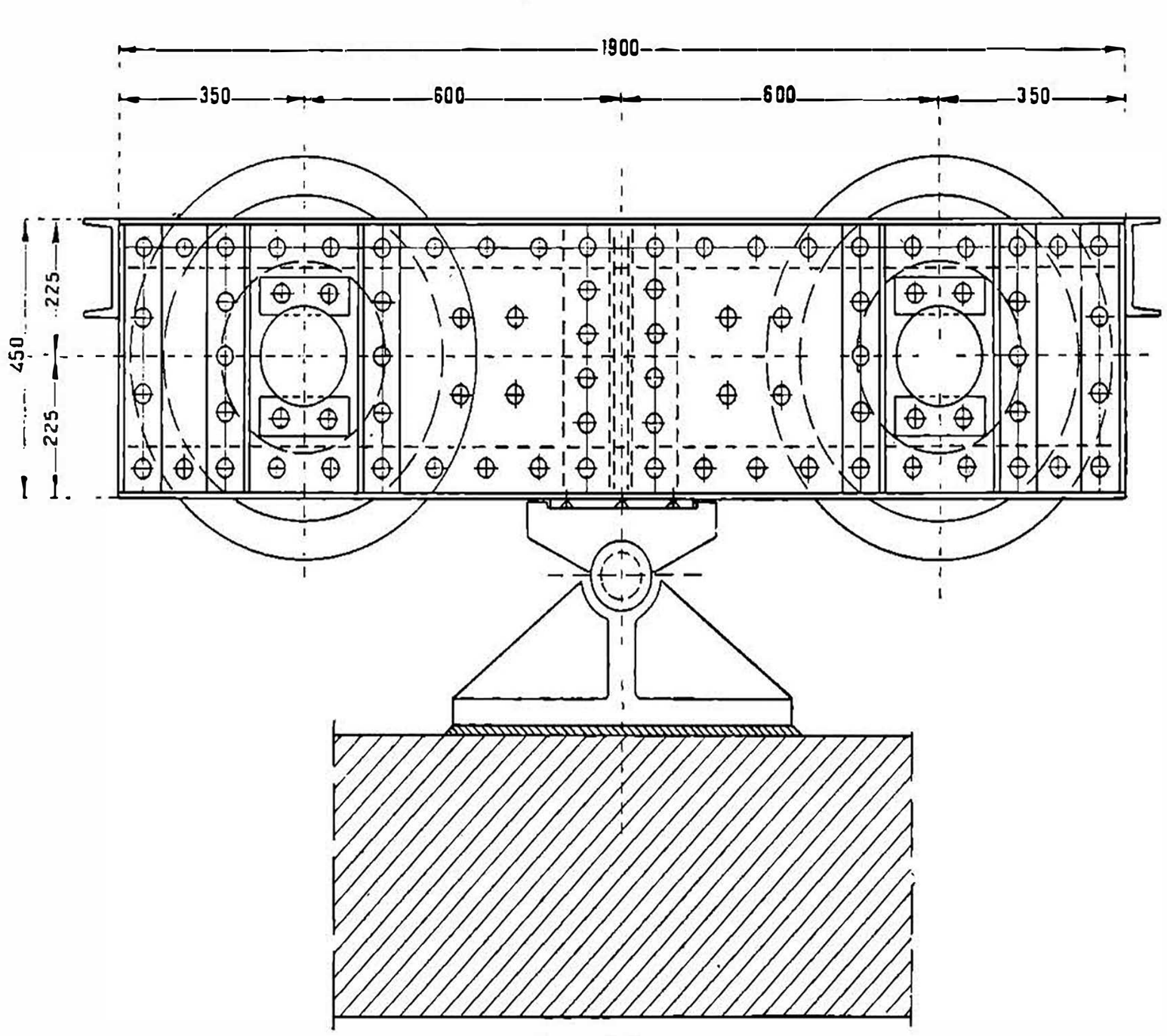


Рис. 270.

Если по величине передаваемого давления должны быть поставлены два ролика, то они устанавливаются на специальные балки, вращающиеся у шарниров (рис. 270).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Находясь под действием неравномерного давления роликов, балки вращаются вокруг шарнира, пока не уравновесится давление на оба ролика. При установке в одной и той же опорной точке нескольких роликов применяются двойные шарнирные балки (рис. 271).

Можно достигнуть того же результата постановкой роликов на гидравлические пресса, связанные между собой трубкой. При таком устройстве равномерность давления

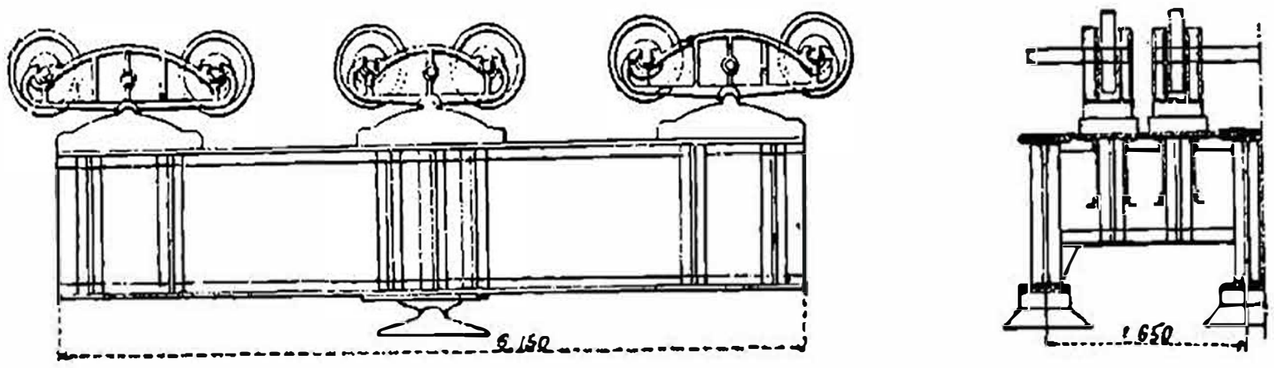


Рис. 271.

на оба ролика регулируется равенством давлений в сообщающихся между собой прессах. По сравнению с балансирными балками, пресса имеют более сложную конструкцию и, следовательно, требуют более тщательного надзора и ухода.

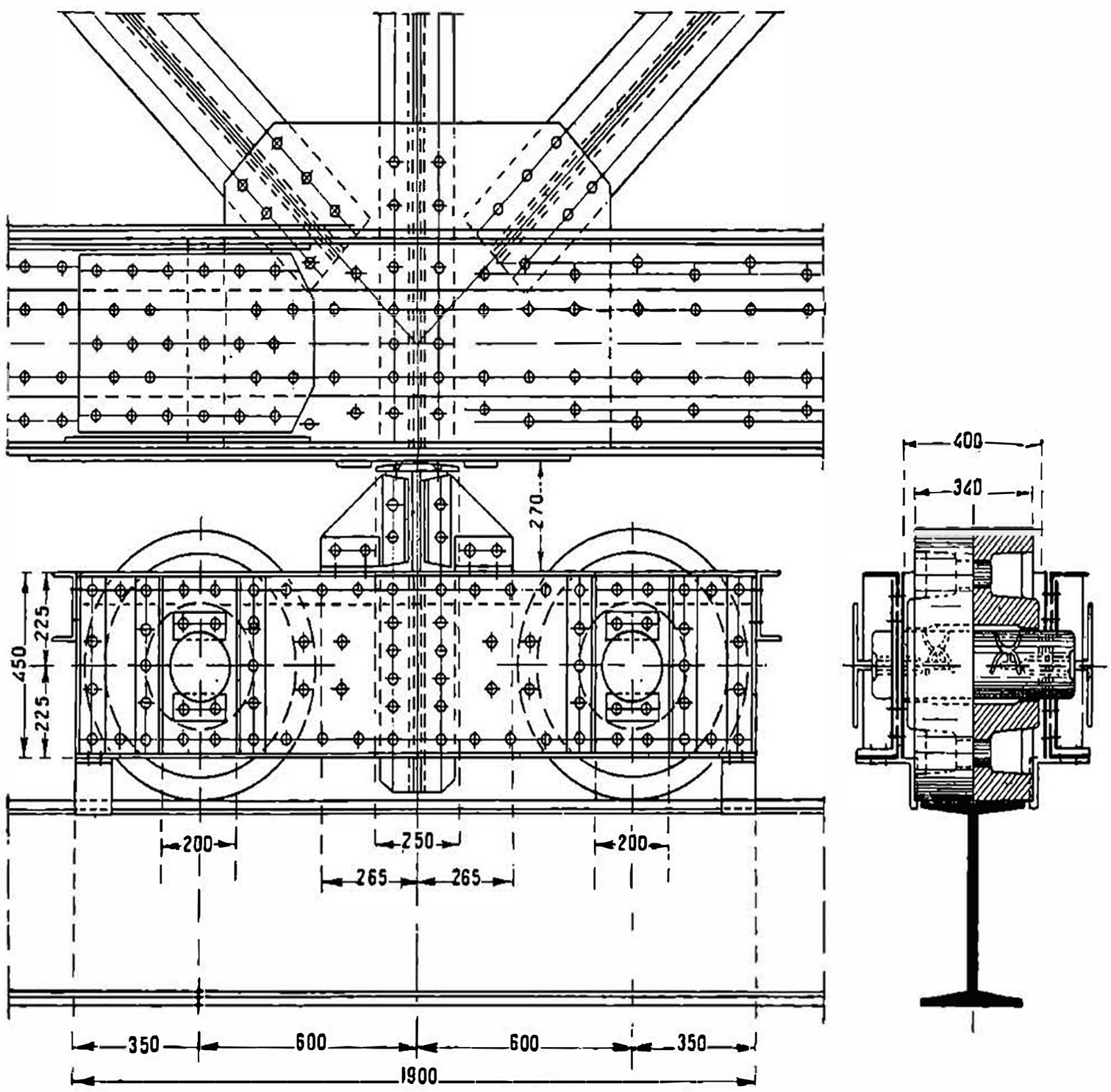


Рис. 272.

На рис. 272 показан тип тележек, применяющихся для продольных надвижек; они обычно проектируются с балансирами, помещающимися между колесами; при таком устройстве давление распределяется поровну на колеса при любом очертании кривой деформации. Тележки всегда укрепляются неподвижно к пролетному строе-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

нию; тогда как ролики могут быть укрепляемы неподвижно как к самому пролетному строению, так и к опорам моста и в насыпи.

Неподвижное укрепление тележек и роликов к надвигаемому пролетному строению обусловливает наличие плоскости, по которой могло бы происходить качение; поэтому установка их целесообразна под задним концом пролетного строения и под аванбеком при движении их по насыпи, и нецелесообразна при надвижке через короткие промежуточные опоры.

Применение тележек и роликов, неподвижно прикрепленных к пролетному строению и аванбеку, имеет то преимущество, что давление передается ими в

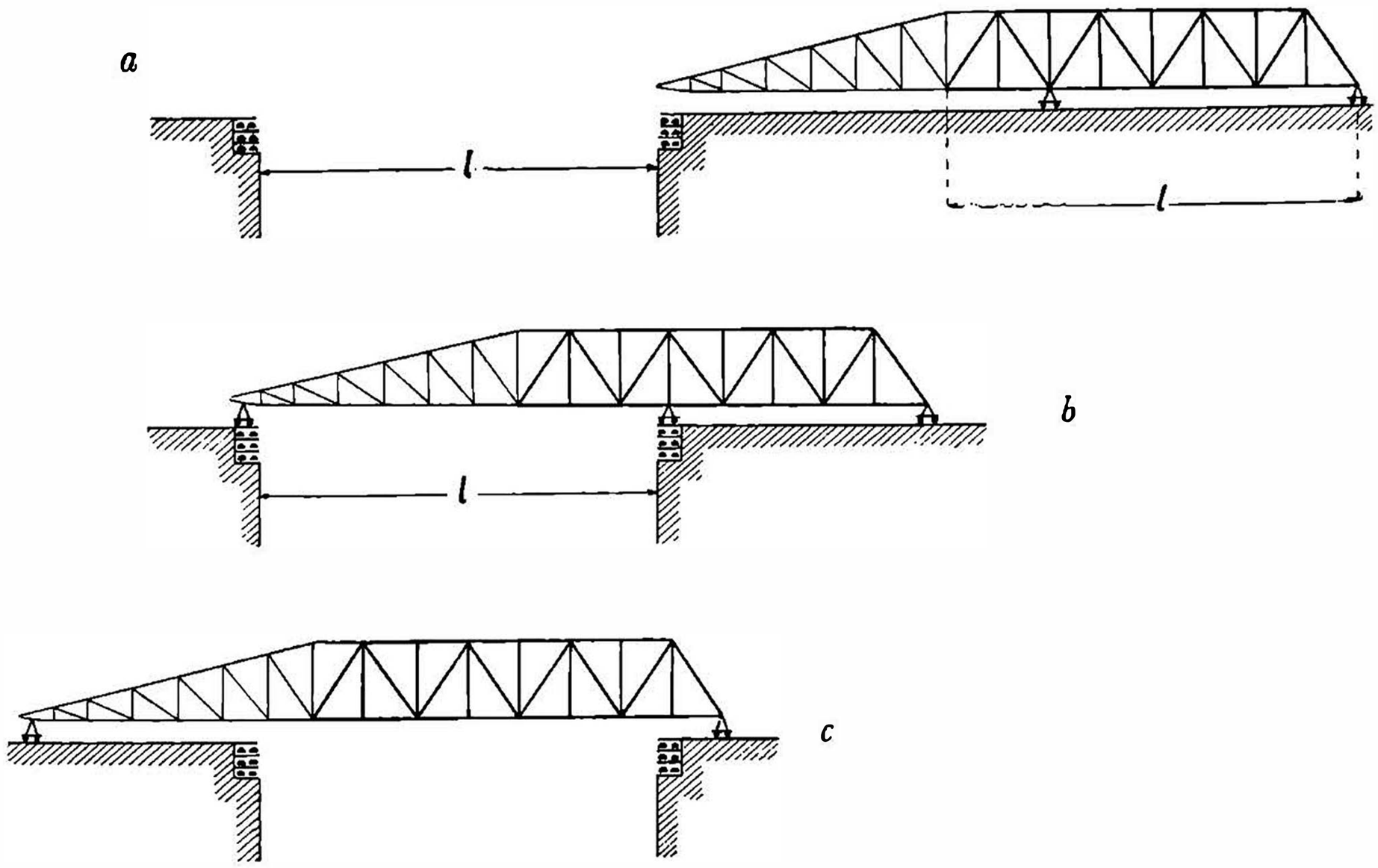


Рис. 273.

определенные узлы ферм, которые могут быть соответственно усилены деревянными распорками, если это потребуется расчетом. При применении для надвижки роликов, неподвижно укрепленных к опорам или в насыпи, пролетное строение проходит по ним большею частью длины своего пояса, который между узлами ферм подвергается дополнительному изгибу от давления роликов, иногда очень большому, что заставляет делать усиления пояса почти по всей его длине; поэтому применение таких роликов целесообразно в фермах с небольшими панелями, в которых эти дополнительные напряжения не достигают большой величины.

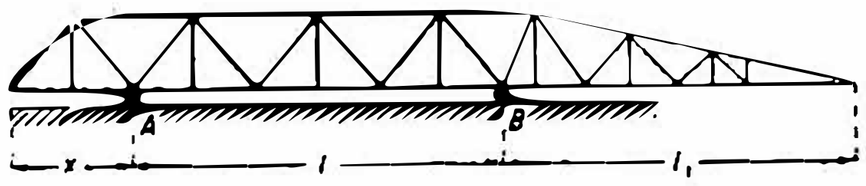


Рис. 274.

Применение тележек и роликов, неподвижно укрепленных к пролетному строению, имеет еще то преимущество, что, сохраняя свое положение относительно пролетного строения, они обеспечивают постоянство давления на него в течение отдельных периодов надвижки. Так, например, если рассматривать надвижку отдельного пролетного строения с аванбеком (рис. 273), то при установке пролетного строения на две тележки, постоянство давления сохраняется в период надвижки (рис. 273a), пока нос аванбека не взойдет на встречную опору; затем с подведением под нос аванбека тележки и с уборкой передней тележки из-под заднего конца постоянство давления сохраняется в течение всего последующего периода надвижки (рис. 273 c).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При применении тележек и роликов, неподвижно укрепленных к пролетному строению, рекомендуется задний из них устанавливать на некотором расстоянии x от заднего конца пролетного строения. Образующийся при такой установке свешивающийся задний конец увеличивает давление на задний ролик или тележку и разгружает передний. Согласно обозначениям рис. 274, давление, воспринимаемое обоими приспособлениями при таком расположении их, определяется формулами:

$$A=\frac{p}{2}\cdot\frac{l_1^2-(l-l_1)^2-l_1(2l-l_1)\frac{1}{k}}{l_1-x},$$

$$B=\frac{p}{2}\cdot\frac{-x^2+(l-x)^2+l_1(2l-2x+l_1)\frac{1}{k}}{l_1-x}.$$

Задавшись желаемым отношением $mA=B$, подставив в него величины A и B и сделав приведение, получим:

$$x=\frac{(m+1)kl^2+2mllk+2(m+1)ll_1+(m-1)l_1^2}{2(lk+l_1)} \qquad (61)$$

Так как после окончания проектировки аванбека величины l_1 и k известны, то, задавшись отношением m, можно определить соответствующее ему расстояние x или положение задней опорной точки.

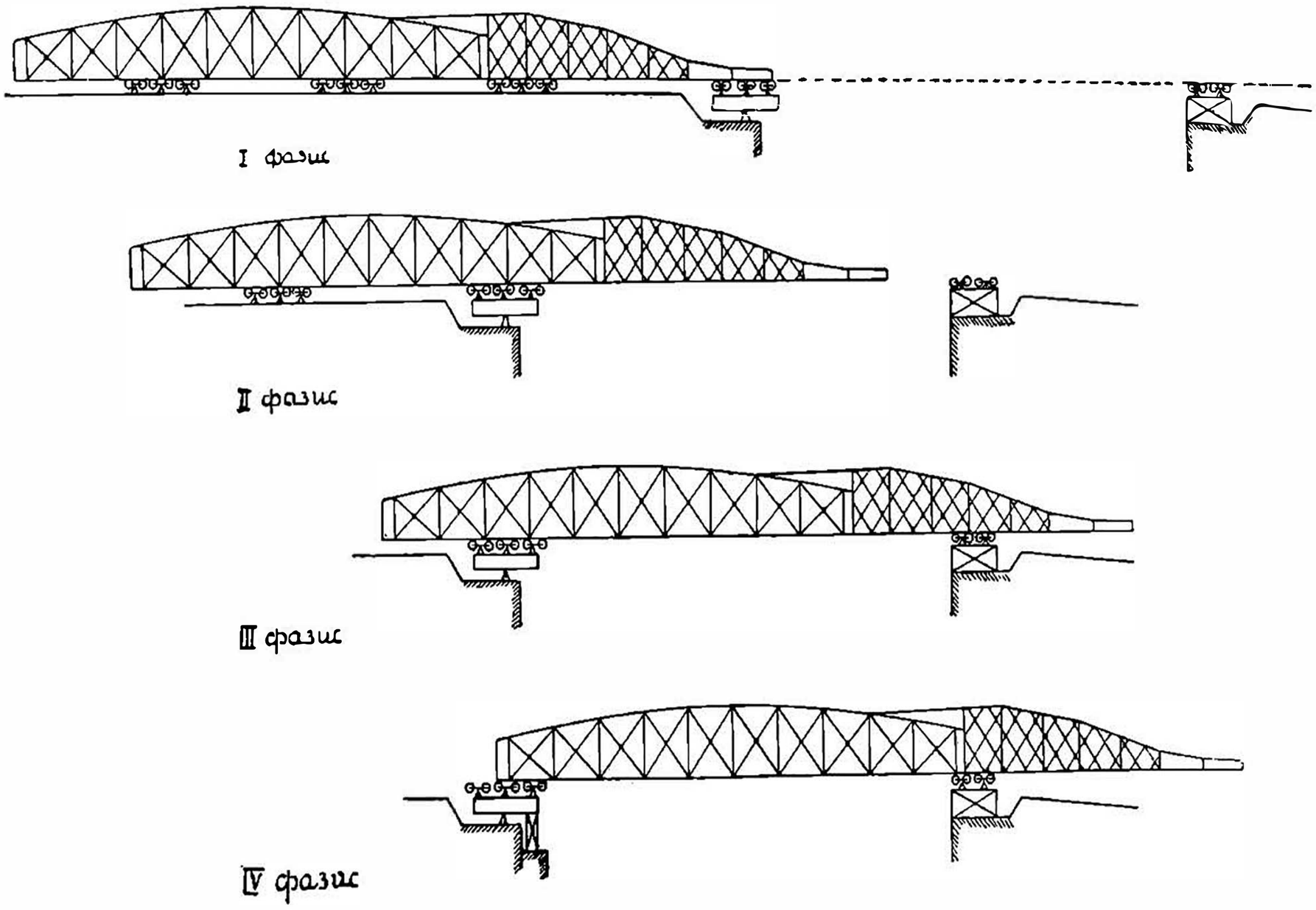


Рис. 275. Схема надвижки с аванбеком.

В целях большей разгрузки передней опорной точки и обеспечения большей устойчивости против перевеса, применяют загрузку заднего конца баластом из рельс или других тяжестей.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

С вступлением носа аванбека на встречную опору под него подводятся подвижные устройства, которые также целесообразнее делать в виде одной тележки или одного ролика, неподвижно укрепленного к аванбеку, так как введение последующих роликов вызовет разгрузку впереди лежащих роликов вследствие поднятия переднего конца аванбека под влиянием выгиба книзу средней части.

Переход переднего конца аванбека на встречную опору обычно сопровождается снятием передней тележки *B* из-под заднего конца или выходом переднего ролика с насыпи, после чего движение надвигаемого пролетного строения продолжается как двухопорного с опорами на двух берегах. По мере приближения заднего конца пролетного строения к месту установки, должен наступить момент, когда задняя тележка или ролик *A* должны будут выйти из работы, тогда как надвижка еще не закончена. К этому моменту под задний конец пролетного строения подводится дополнительная тележка, на которой заканчивается надвижка, и задний конец пролетного строения разгружается от баласта.

Применение роликов, неподвижно прикрепляемых на опорах или в насыпи, находит себе оправдание в тех случаях, когда вследствие большого давления их приходится сосредоточить несколько в одном месте, что связано с установкой их на балансирные балки (рис. 271). На рис. 275 показана схема расположения роликовых устройств и последовательные фазы надвижки путепровода на Северной железной дороге во Франции.

Неподвижные ролики нередко применяются при надвижках, связанных с переходом через промежуточные неширокие опоры. Однако следует иметь в виду, что неподвижность укрепления роликов на опорах влечет за собой изгиб последних по направлению движения силами трения, возникающими между пролетным строением и роликами. При большой высоте опор изгиб может достигнуть большой величины и требует принятия мер к уменьшению его.

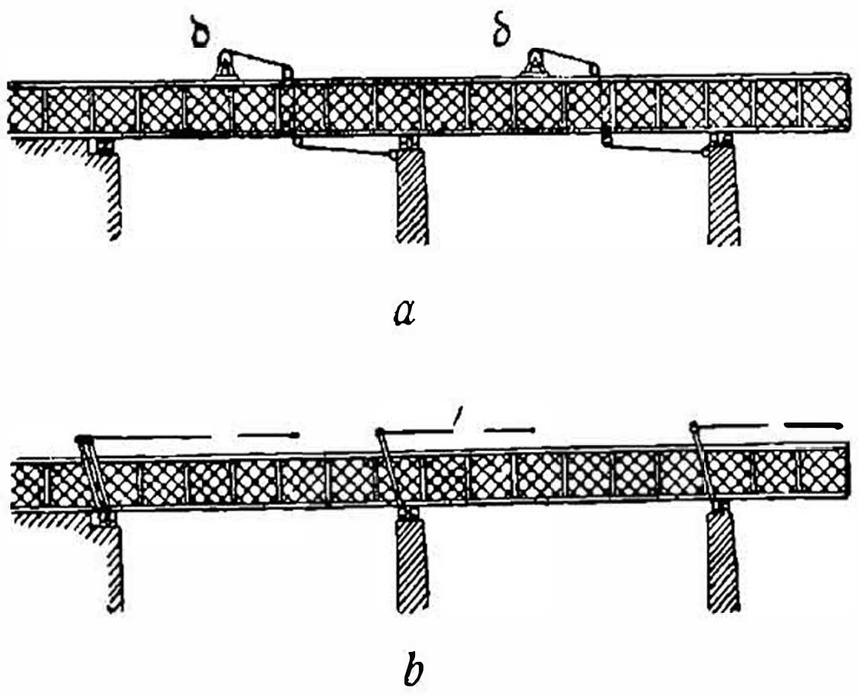


Рис. 276.

Наиболее удачными из них надо считать комбинирование тяговых устройств с подвижными устройствами. На рис. 276 а показана схема соединения с промежуточной опорой двигающей лебедки, которая силой тяги удерживает опору от изгиба силами трения [1]). На рис. 276 в показано комбинирование на одной и той же опоре роликов холостых и соединенных с трещотками, приводящими их во вращение; реактивной силой, вызываемой упором трещоток, парализуется действие сил трения [2]).

При большой ширине промежуточных опор целесообразно ролики заменять катками или тележками (см. § 33).

Подходные насыпи, по которым происходит движение заднего конца пролетного строения, в большинстве случаев свеженасыпанные, легко проседают под давлением подвижных приспособлений и не могут служить прочным основанием для них. Поэтому в случае применения для надвижки тележек, подвижных роликов и катков путь для движения их укладывается по выстилке из продольных и поперечных брусьев, распределяющих давление по насыпи, с закладкой между брусьями клиньев, позволяющих выправлять путь. В случае применения для надвижки неподвижных роликов последние укрепляются в насыпи или на насадках свай, забитых в нее, или на клетках из шпал, зарытых в нее.

---

[1]) Виадук «Siagne», Nouvelles anallеs de la constr., 1891 г.
[2]) Viaduc «Garabit», Revue gen. de chemins de fer, 1884.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ТАБЛИЦА 17

№№ по порядку	Наименование моста	Число и длина пролетов в *м*	Вид надвижки	Аванбек		Длина надвижки в *м*	Вес пролетн. строения во время надвижки в *т*	Приспособления для движения			Род двигателей	Средняя скорость движения
				Длина в *м*	Отношение длины аванбека к длин. прол.			Вид их	Размеры в *мм*	Наибольшее давление в *кг*		
1	Мост через р. Неман близ Гродно (жел-дор.) . . .	Неразрезные фермы 56,2—60—56,2	Целиком	С аванбеком 23,5	0,50	300	1210	18 роликов (6 рабоч.)	Диаметр роликов — 320, цапф — 150	—	Лебедки, соединенные с роликами	4—5 *м* в час
2	Мост через р. Вислу в Варшаве (жел. дор.) . . .	3 неразрезные фермы по два пролета—158—158	По два пролета	Без	—	Всего около 1000	Каждые 2 пролета—1400	40 роликов на 20 гидравлических прессах	Диаметр роликов — 290, цапф — 130	—	10 лебедок с канат.	6—7 *м* в час
3	Мост через р. Рио-Лима в Португалии (жел. дор. и шосс.)	Неразрезные фермы в 10 пролетов 2 по 46,98 8 по 58,44	Целиком	Без	—	562	1600	14 качающих по 2 ролика и 4 качающих по 4 ролика	Диаметр роликов — 500, цапф — 100	На ролик—25 000	Трещотки с рычаг. длин.	12 *м* в час
4	Тардский виадук (Франция)	Неразрезные фермы в три пролета 73,00—104,5—73,00	Целиком	С аванбеком 30,0	0,43	178	780	4 шарнира по 3 ролика	Диаметр роликов — 500, цапф — 100	На ролик—30 000	Трещотки с рычаг. длин.	9,3 *м* в час
5	Гарабитский виадук (Франция) . .	Неразрезные фермы 50—50—50—32,5—32,5	Целиком с каждого берега	Без	—	220 *м*	520	10 шарниров ролика;—2 по 4,8 по 2	Диаметр роликов — 500, цапф — 100	На ролик—30 000	Трещотки с рычаг. длин. 7 *м*	12 *м* в час
		—50—32,5—32,5		Без	—	105	250	4 шарниров ролика:—2 по 4,2 по 2		26 000		
6	Шоссейный мост через р. Анджа в Алжире .	Неразрезные фермы в 6 пролетов 44—56—56—56—44	Целиком	Без	—	320	450	22 ролика разных диаметров	С наибольшим диаметром роликов — 500, цапф — 100	На ролик—30 000	3 лебедки с полиспаст., 5 рабочих на лебедку	4 *м* в час
7	Мост через р. Дон (Юго-Восточной ж. дор.) .	Междуконсольные фермы 55,0	—	Аванбек 28 весом 16,5 *т*	0,51	38	165	Катки не менее 30 штук	Диаметр катков — 140	—	Лебедки с полиспаст., 4 рабочих на лебедку	Вся надвижка около 4 дней
8	Липинский виадук в Париже . . .	Однопролетный мост 43,8	—	Аванбек 26,75 весом 50 *т*	0,62	66	399	13 шарниров двойных роликов	Диаметр роликов — 600	—	2 лебедки с двойным полиспаст., 8 рабочих на лебедку	10 *м* в час

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Тяговыми устройствами обычно служат лебедки с полиспастами, устанавливаемые по схемам, указанным на рис. 240, и только при устройстве неподвижно укрепленных роликов иногда применяются трещотки.

Успешность надвижки обеспечивается равномерностью движения всей системы и возможной равномерностью распределения давления между подвижными приспособлениями. Ослабление давления на ролики или катки характеризуется боксованием их во время движения.

В таблице 17 приведены данные о нескольких случаях продольных надвижек неразрезных пролетных строений и однопролетных с аванбеком.

§ 33. Продольная надвижка через промежуточную опору. Применение аванбека для продольной надвижки может быть заменено устройством одной или двух промежуточных опор в пролете моста, служащих для поддержания свешивающегося конца надвигаемого пролетного строения. Выбор числа промежуточных опор существенно зависит от веса и конструкции надвигаемого пролетного строения.

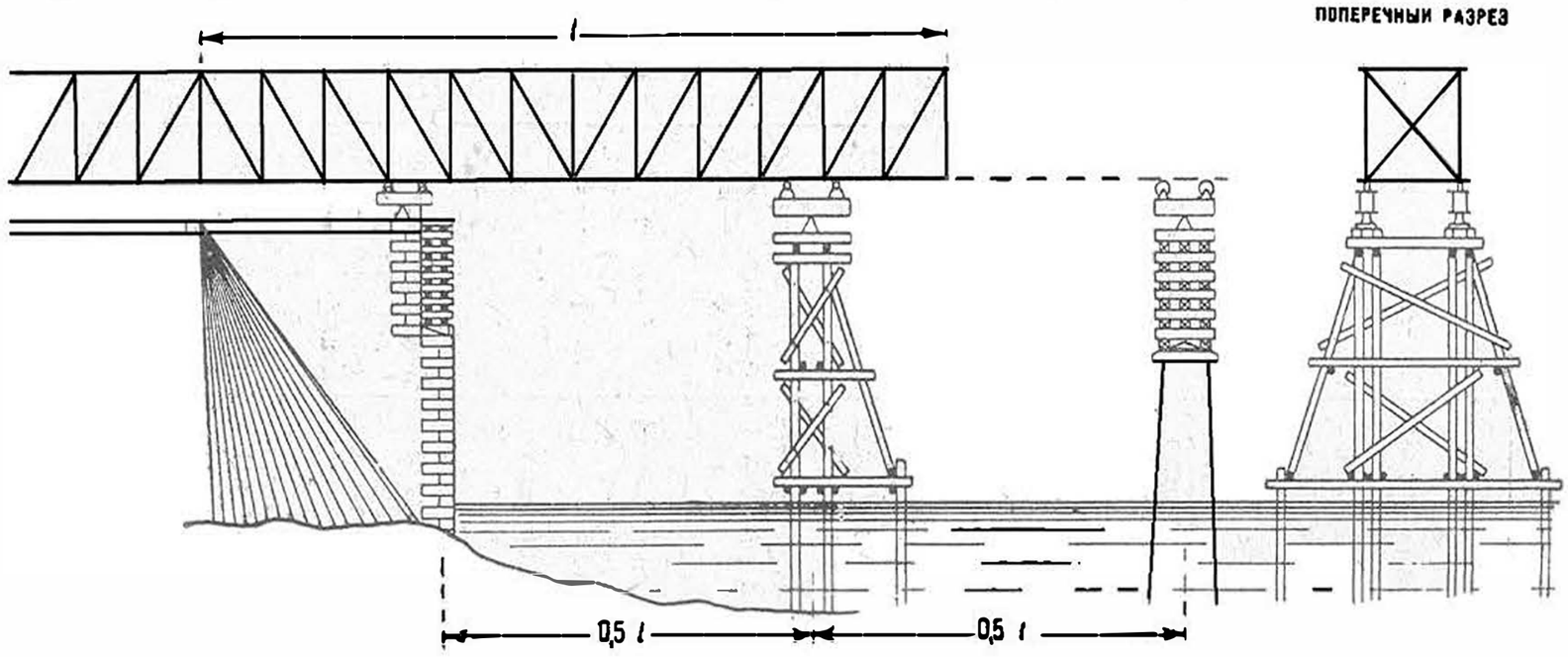


Рис. 277. Надвижка через промежуточную опору.

Устройство одной промежуточной опоры обычно применяется при надвижке неразрезных пролетных строений, когда задний конец их уравновешивает свешивающуюся часть (рис. 277). Устройство одиночной опоры для надвижки однопролетных строений возможно только для небольших пролетов, когда нельзя ожидать чрезмерных перенапряжений, вызываемых свешивающимся концом. Так как при приближении

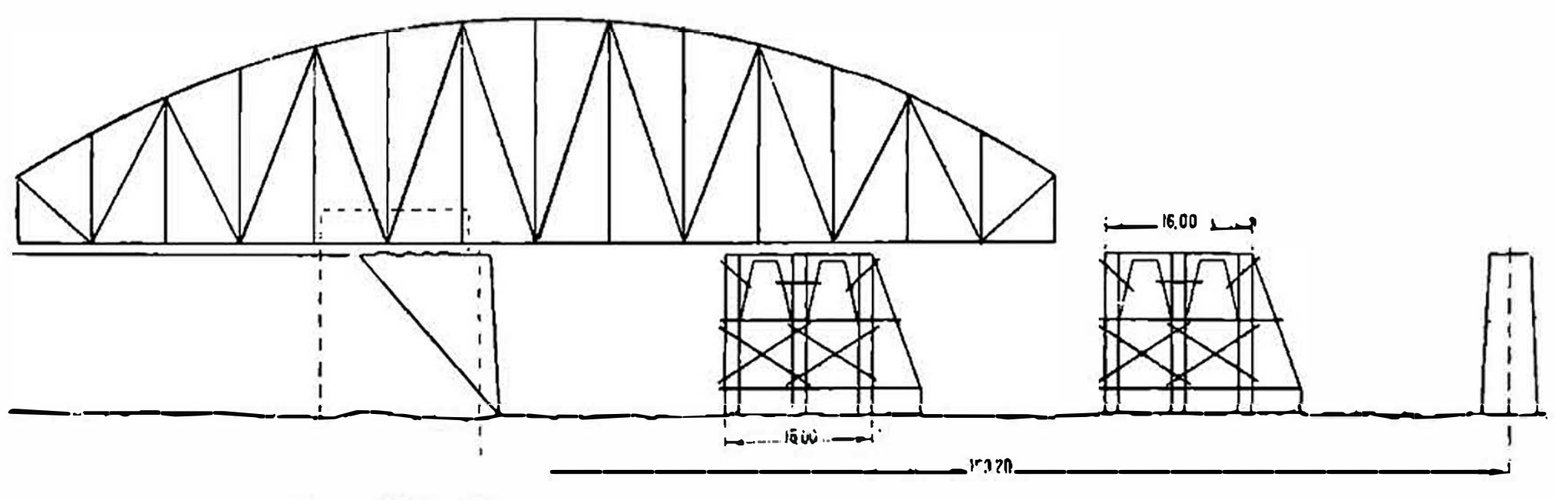


Рис. 278. Надвижка через две промежуточные опоры.

свешивающегося конца к середине пролета уже возникают опасения за возможность опрокидывания однопролетного строения, то при такой надвижке длина опоры по оси моста делается с расчетом, чтобы свешивающийся конец пролетного строения имел длину не более 0,45 l; это заставляет делать длину опоры не менее 0,15 длины пролета. При надвижке неразрезных пролетных строений ширина промежуточной опоры определяется конструкцией подвижных устройств.

При надвижке больших пролетных строений с большим собственным весом длину свешивающегося конца приходится делать не более 0,25—0,3 пролета, а потому для надвижки их обычно устраивают две промежуточных опоры, располагая их на взаимном расстоянии в одну треть пролета (рис. 278). Однако, несмотря на такое

НБ УДУНТ (ДІІТ)

сокращение длины свешивающегося конца, все таки в больших пролетных строениях приходится увеличивать жесткость нижних поясов. Так, например, при надвижке 109,8 *м*

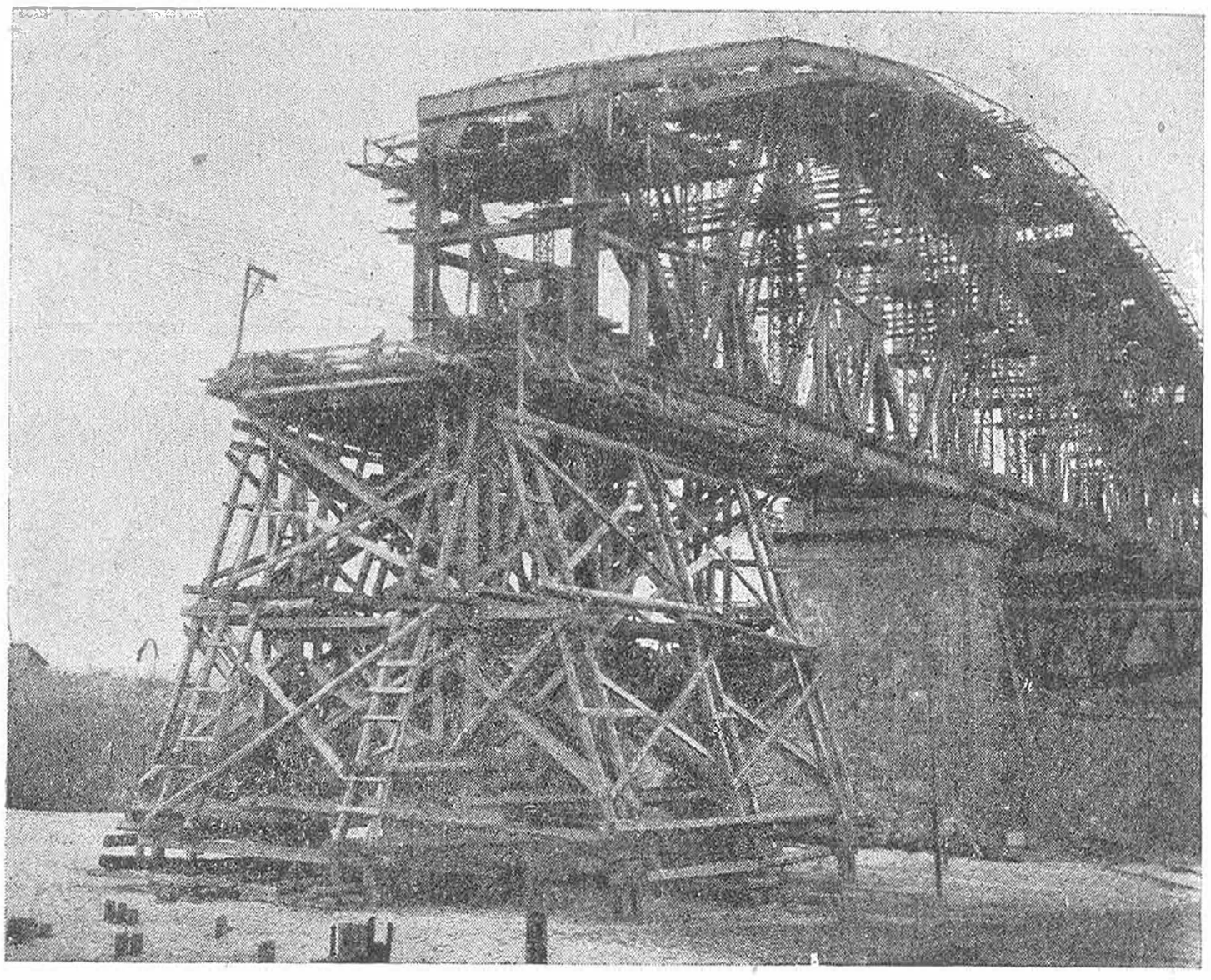


Рис. 279. Надвижка пролетного строения на мосту через р. Припять.

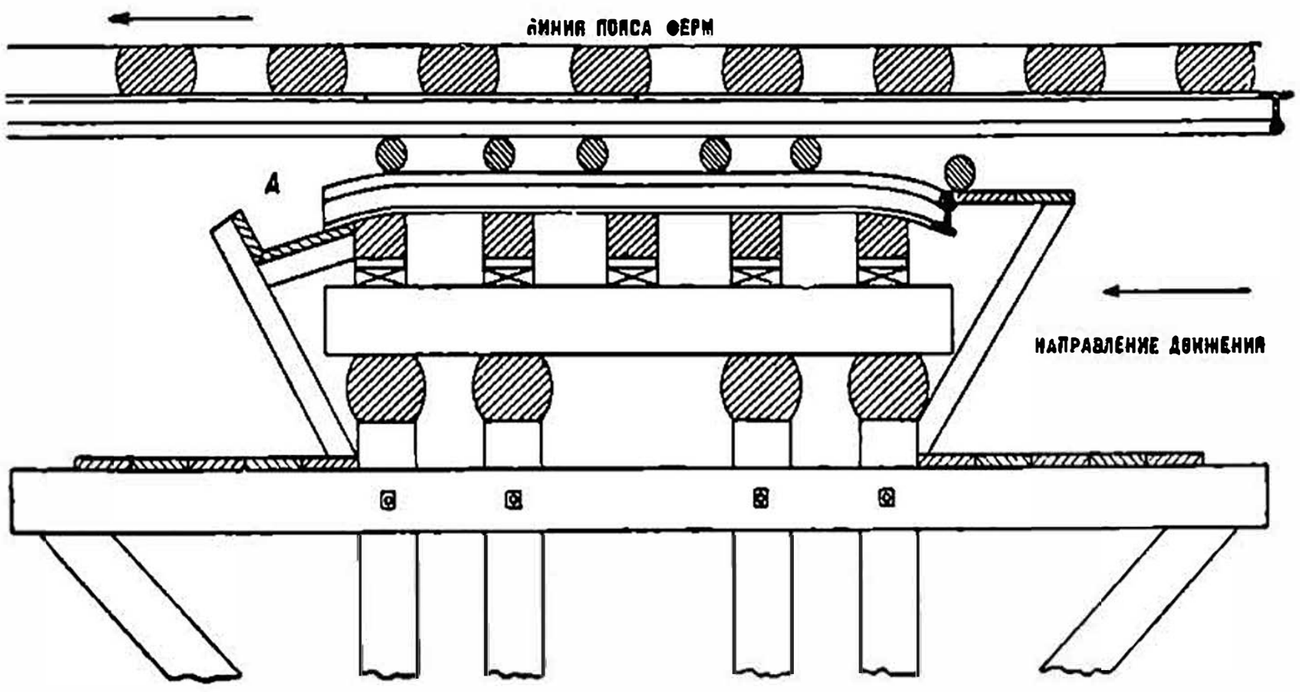


Рис. 280.

пролетного строения одного из мостов в СССР потребовалось усилить нижние пояса на длине 4 панелей, т. е. на длине 31,2 *м* немного большей свеса конца, равнявшегося 26 *м*. Это усиление было сделано уголками 15×10×1,1, прикрепленными к кромкам вертикального листа болтами.

При устройстве в пролете двух опор они могут быть по ширине меньше, чем при устройстве одной опоры. Выбор ширины их зависит от вида подвижных приспособлений, обслуживающих передвижку.

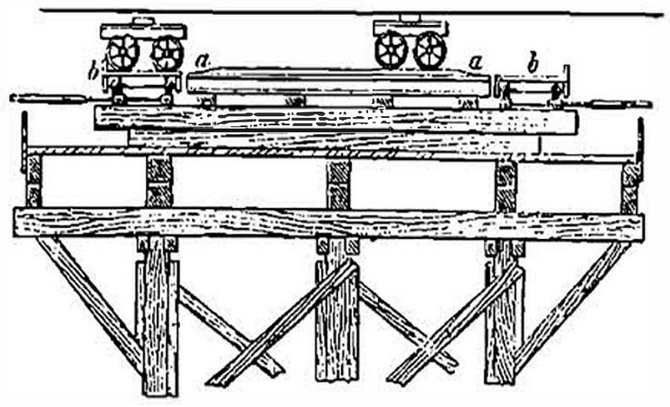


Рис. 281. Надвижка пролетного строения моста через р. Рейн около Нейенбурга.

Устройство высоких узких опор с помещением на них роликовых устройств нецелесообразно, так как им будут присущи все недостатки, являющиеся результатом

НБ УДУНТ (ДІІТ)

неподвижного укрепления роликов: изгиб опор, большие сосредоточенные давления и пр. Более рационально устройство широких опор (рис. 279), позволяющих разместить достаточное количество катков, распределяющих давление от пролетного строения на всю ширину опоры. Благодаря той же ширине эти опоры более устойчивы против силы трения, визываемой движением пролетного строения.

На рис. 279 показана широкая промежуточная опора для надвижки 109,2 *м* пролетного строения. Вдоль моста она имеет длину 15,6 *м*, равную длине двух панелей пролета; расстояние поперек моста между осями парных свай равно расстоянию между осями ферм; расстояние между парными сваями принято из расчета непосредственной передачи на них давления от пути, укладываемого для надвижки. Вся опора укреплена подкосами как с боковых сторон, так и с передней, — для предотвращения сдвига ее пролетным строением при движении его вперед. При расчете прочности опоры давление на каждую 27-*см* сваю было допущено до 18 *т*. На устройство такой опоры высотой около 12 *м* пошло 170 $м^3$ лесного материала.

Надвижка через широкие промежуточные опоры по своему производству очень близка к надвижке по сплошным подмостям, но значительно экономнее последней по расходу лесного материала.

Если надвижка производится по каткам, то как на опоре, так и под пролетным строением делается выстилка для рельсового пути такая же, как и при надвижке по подмостям

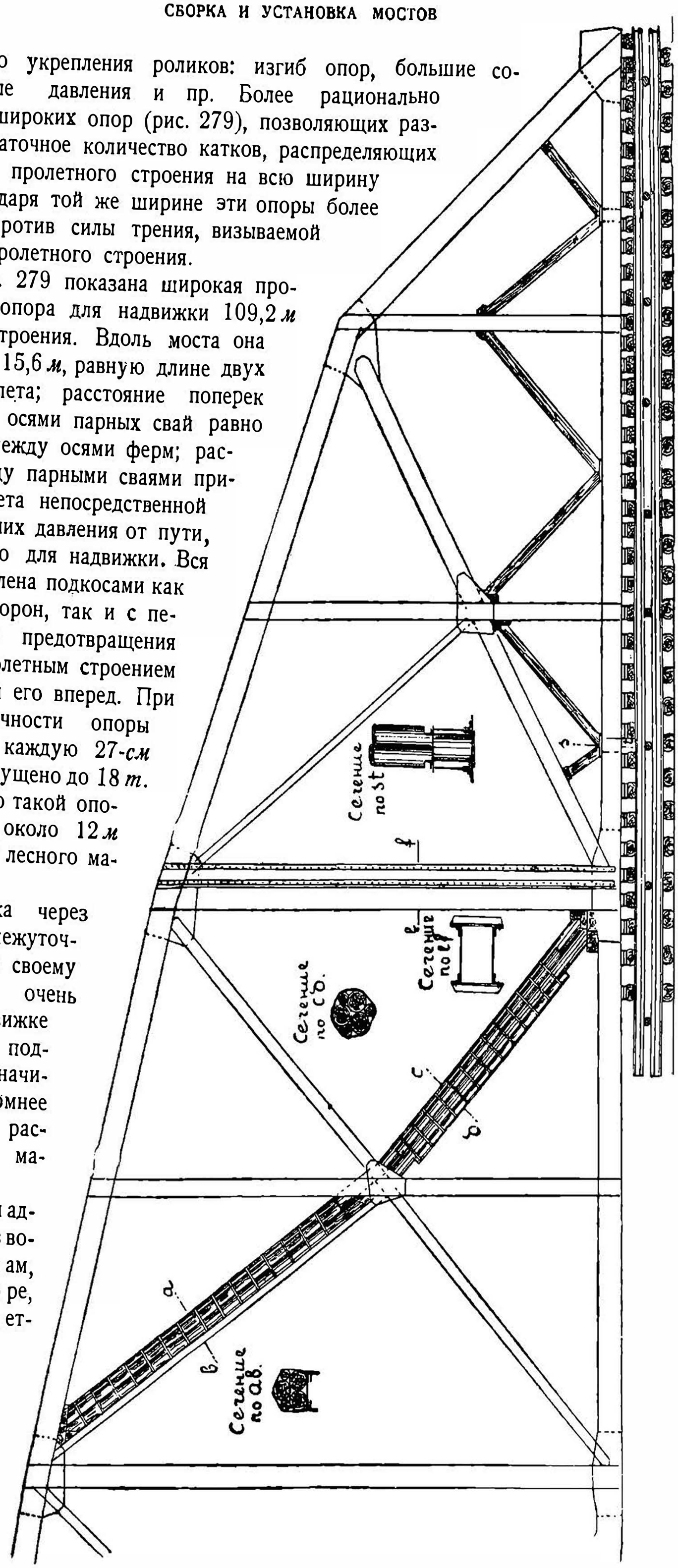


Рис. 282. Усиление ферм для надвижки по каткам на мосту через р. Волхов.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

(рис. 255). Но так как по мере движения пролетного строения вперед катки должны скатываться с опоры и должны пополняться новыми, подкладываемыми с задней стороны опоры, то рельсовый путь на концах опоры делается с уклоном в 1/5—1/6, облегчающим подводку и уборку катков (рис. 280). Катки скатываются в жолоб *A* и оттуда переносятся на задний конец пути.

Известны также случаи применения тележек для надвижки через промежуточные опоры (рис. 281). На опорах вдоль оси движения укладываются рельсовые пути со скошенными концами *a*. К концам этого пути нормально его оси подходят пути служащие для подвозки тележек. На каждой опоре, под каждой фермой помещается по две тележки. Пока одна из них находится в движении по главному пути, другая, освободившись из-под фермы, сходит на вспомогательный вагончик *b* и по боковым путям переводится на заднюю сторону опоры, где вновь вводится под ферму; одновременно с этим передняя тележка освобождается из-под фермы, спускается на вспомогательный вагончик и путь, откуда переводится на заднюю сторону и т. д. Однако при большом весе современных пролетных строений применение тележек не будет целесообразно, ввиду больших сосредоточенных давлений, передаваемых ими.

Какие бы приспособления ни были использованы для надвижки через промежуточные опоры — будут ли то катки, тележки или ролики, — пояса ферм пролетного строения всегда будут испытывать местный изгиб между узлами от передающегося на них давления подвижных приспособлений. Этот изгиб будет вызывать тем большее дополнительное напряжение, чем больше сосредоточенное давление и чем больше длина панели ферм. Для снижения величины этого изгиба приходится переходить на применение для надвижки катков, как дающих распределенную нагрузку, и сокращать длину панелей постановкой в ферме временных стоек и подкосов по типу, показанному на рис. 282. Крайне важно в местах упора деревянных подкосов и стоек предусмотреть постановку парных клиньев (рис. 283), которыми можно подтянуть подкосы и стойки, натянутость которых меняется под влиянием деформаций ферм, происходящих во время движения ферм, когда конец их то свешивается, то обжимается при проходе над опорой.

При надвижках через промежуточные опоры, некоторое осложнение в работе происходит вследствие того, что вновь отстроенные опоры значительно садятся при проходе по ним пролетного строения [1]). После прохода пролетным строением первой опоры и осадки ее под его весом, передний конец пролетного строения уже не будет находиться на уровне путевого устройства второй промежуточной опоры; и при подходе переднего конца к опоре придется приподнимать все пролетное строение, чтобы передний конец лег на путь и приготовленные катки. Предусмотреть величину просадки опоры соответственным повышением уровня пути на опорах нельзя, так как с повышением уровня пути, вновь будут иметь место затруднения при подходе к опоре переднего конца надвигаемого пролетного строения, которое придется поднимать на уровень пути.

В целях облегчения всхода пролетных строений на встречную опору следует рельсам образующим выстилку под поясами ферм, давать на концах выгиб кверху. Однако этот выгиб не бывает достаточным против посадки, и устранять влияние последнего приходится путем подбивки клиньев в клетках между брусьями пути.

О влиянии просадки опор на ход работ можно судить по следующим данным.

Надвижка через промежуточные опоры пролетных строений одного моста в СССР, имевших расчетную длину 109,2 *м* и вес 584,1 *т*, производилась по каткам при помощи ручных лебедок и полиспастов. Передвижка на длину 140 *м* заняла около 11 часов времени; если исключить из этого времени остановки, имевшие место в виду необходимости выправки катков, ферм, полиспастов и пр., то сама надвижка производилась со средней скоростью 0,4 *м* в минуту [2]). При надвижке первого пролетного строения этого моста, производившейся с той же средней скоростью,

---

[1]) О возможных величинах просадки в подмостях см. § 29.

[2]) Данные взяты по неизданному описанию работ А. Ф. Эндимионова.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

осадка первой из опор вызвала остановку в работах на 11 часов, потребовавшихся для поднятия переднего конца пролетного строения на уровень пути.

Надвижка через промежуточные опоры пролетных строений другого моста в СССР с расчетной длиной ферм около 109 *м* производилась со средней скоростью 0,32 *м* в минуту и с остановками заняла 10 часов 18 минут. Надвижка производилась по каткам диаметром 10 *см* при помощи 3 лебедок с полиспастами. В процессе работы было отмечено, что при трогании ферм с места требовалась работа всех трех лебедок при 9 рабочих на каждой; во время движения работали только 2 лебедки с 3 рабочими на них. При всходе же переднего конца пролетного строения на встречную опору, когда этим выправлялось провисание конца и происходило

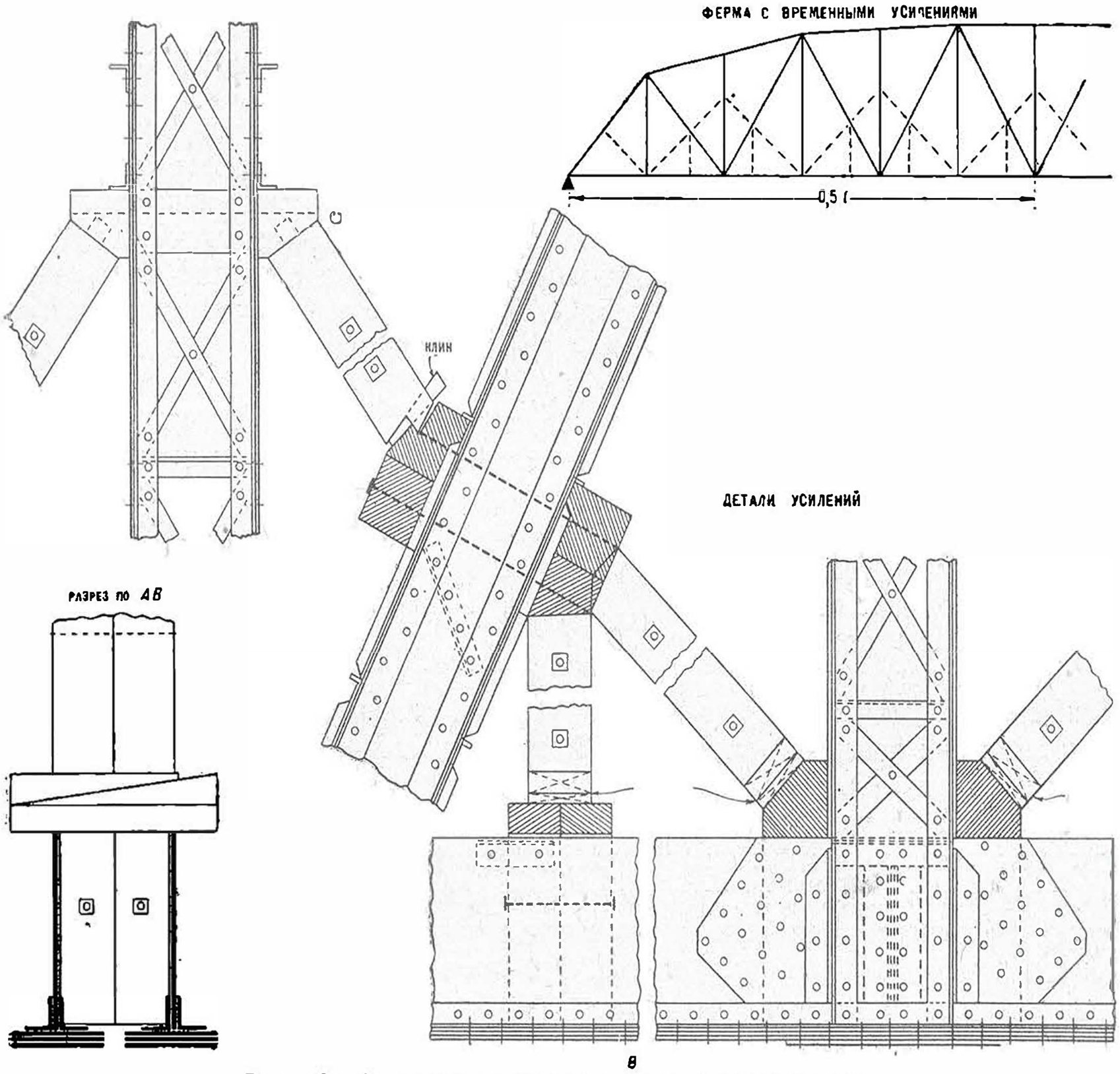


Рис. 283. Усиление ферм для производства надвижки.

обжатие опоры, требовалась работа всех 3 лебедок, с увеличением числа рабочих на каждой из них до 10 человек [1]).

Следует особо отметить производство продольной надвижки через промежуточную опору, поддерживаемую канатами, закрепленными в кладке устоев или к сваям, забитым сзади них. Общий вид такой надвижки 42-*м* пролетного строения показан на рис. 284. Применение такого вида установки, связанной с большими сложностями в закреплениях и большими напряжениями в них, находит себе оправдание только в тех случаях, когда устройство промежуточной опоры на сваях совершенно невозможно.

В указанном на рис. 284 случае основанием для опоры служили 11 металлических канатов $d = 19$ *мм* и 9 вагонных тяжей; для закрепления канатов и тяжей

---

[1]) Проф. Е. О. Патон, «Восстановление мостов», стр. 71, 1921 г.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

за каждым устоем было забито на глубину 3 *м* по 14 свай. На канатах и тяжах были устроены две промежуточные опоры: одна по середине пролета, другая — на одной четверти ближайшей к переднему устою по ходу надвижки. Основанием для опор служили брусья, обжимавшие сверху и снизу канаты и стянутые болтами.

Надвижка производилась при помощи катков. В начале надвижки, до входа переднего конца пролетного строения на среднюю опору, задний конец пролетного строения был загружен противовесом для обеспечения устойчивости, при дальнейшей надвижке противовес был снят. При загружении средней опоры канаты и тяжи вытянулись, и опоры просели, так что их пришлось нарастить клетками. Во время надвижки распор, передававшийся свае, доходил до 161 *т*, а усилия в канатах и тяжах — до 165 *т*. Канаты и тяжи были рассчитаны с большим запасом прочности, о чем можно судить из того, что, при передаче всего усилия в 165 *т* на одни

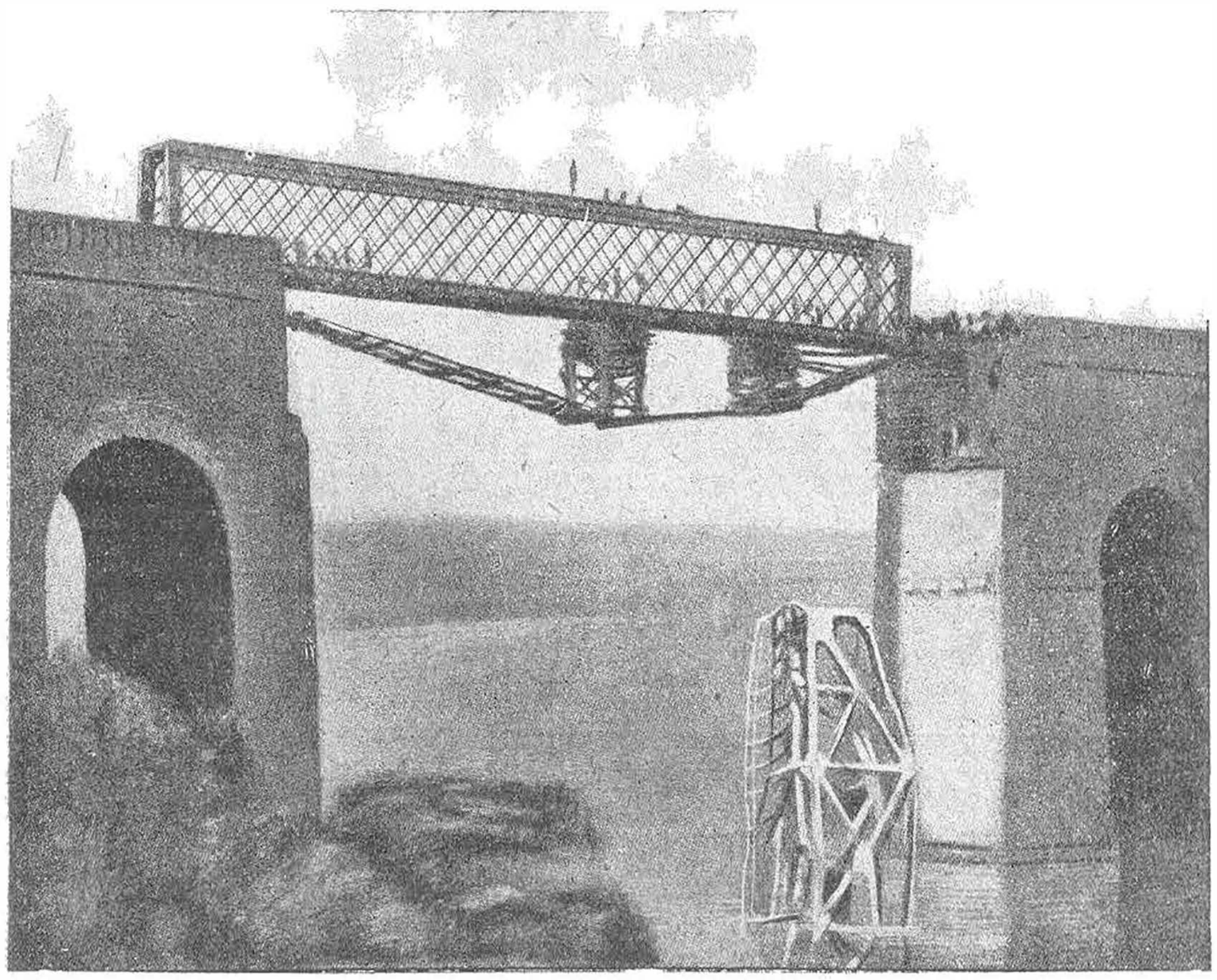


Рис. 284. Надвижка пролетного строения через подвесную опору на Черном Ташлыке.

тяжи, они испытывали бы напряжение в 1 020 *кг/см*^{2}. Распор воспринимался с каждой стороны 14 сваями, к которым канаты и тяжи были прикреплены при помощи хомутов; напряжение в сваях от смятия их поперек волокна хомутами доходило до 65 *кг/см*^{2}. В результате такого большого напряжения в сваях было обнаружено размолачивание. В процессе надвижки был отмечен отход свай в середине моста, что указывает на недостаточность глубины забивки свай в землю.

Расчет необходимой глубины h забивки свай можно производить по формуле [1]):

$$\frac{(dmh^2 - 2P)^2}{d(dmh^3 - 6P/H + h)} \leqslant 2mh, \tag{62}$$

в которой d — диаметр сваи, P — горизонтальная сила, приложенная к свае, H — высота приложения силы P от уровня земли, m — коэфициент, зависящий от веса

---

[1]) Проф. Прокофьев И. П. «Теория сооружений», ч. II, стр. 236.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

δ—грунта и его угла φ — естественного откоса, определяемый из выражения:

$$m = \delta \left[tg^2 \left(45° + \frac{\varphi}{2} \right) - tg^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2} \right) \right].$$

Для обеспечения боковой жесткости таких установок и устранения качания в них следует расчаливать их боковыми канатами, закрепленными к отдельным сваям или кустам свай.

§ 34. Продольная надвижка при помощи подвижных опор. При этом способе надвижки свешивающийся конец пролетного строения поддерживается временной опорой, перемещающейся одновременно с пролетным строением (рис. 285). Последнее в этом случае может быть поддерживаемо во время своего движения только в двух точках, а именно с переднего своего конца подвижной опорой, а с заднего — подвижным приспособлением в виде тележек, салазок и т. п.; при таком расположении подвижных устройств, давление распределяется между ними более или менее равномерно, и устраняется возможность дополнительных напряжений в частях пролетного строения. На практике известны два вида подвижных временных опор: подвижные подмости на тележках и на понтонах.

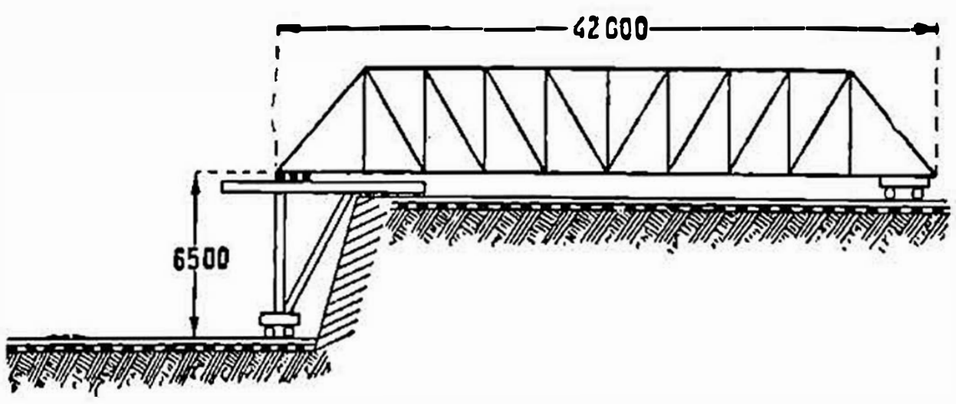


Рис. 285. Надвижка моста близ Форли.

В первом случае временные деревянные опоры устанавливаются на тележки, приспособляемые к движению по рельсовому пути, укладываемому вдоль сухого русла (рис. 285). Подобного рода надвижка возможна только при отсутствии воды в русле, когда по нему возможна укладка пути. Процесс накатки подмостями на тележках ничем не отличается от описанного ниже процесса накатки на пловучих опорах. Возможность укладки пути вдоль русла указывает на возможность постановки временных подмостей в пролете, а следовательно, и на возможность применения сборки на подмостях. Принимая во внимание случайности, связанные с надвижками на временных опорах, следует отдать предпочтение или сборке на подмостях, или надвижке по подмостям.

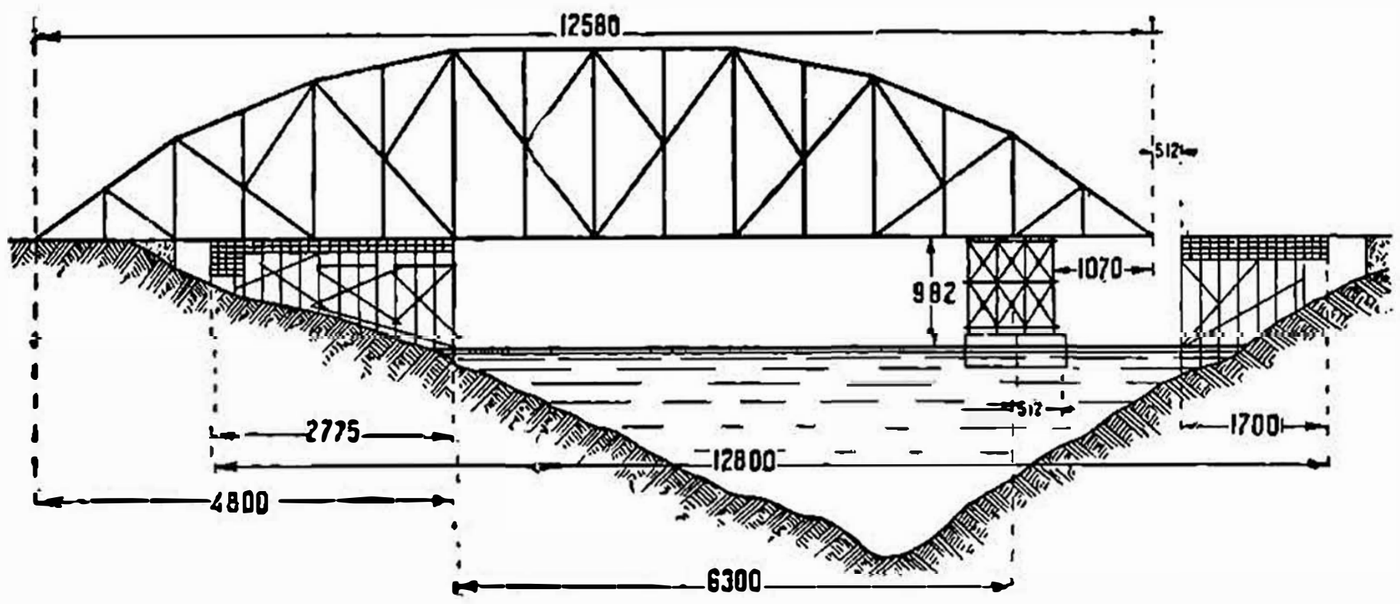


Рис. 286. Надвижка моста на линии Байкальской железной дороги.

Применение пловучих опор для надвижки пролетных строений получило довольно большое распространение (рис. 286) и вполне оправдывает себя в тех случаях, когда в русле реки невозможно устройство подмостей.

Неблагоприятными факторами при этом способе надвижки являются: во-первых, высокое расположение надвигаемого пролетного строения, что вызывает большой момент, опрокидывающий пловучую опору; и, во-вторых то, что пролетное строение одновременно опирается задним концом на опору, не изменяющую своего положе-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ния относительно горизонта, и передним концом — на пловучую опору, изменяющую свое положение в зависимости от уровня воды, действия ветра и пр., благодаря чему всегда возможны сдвиг пролетного строения, перекосы и прочее.

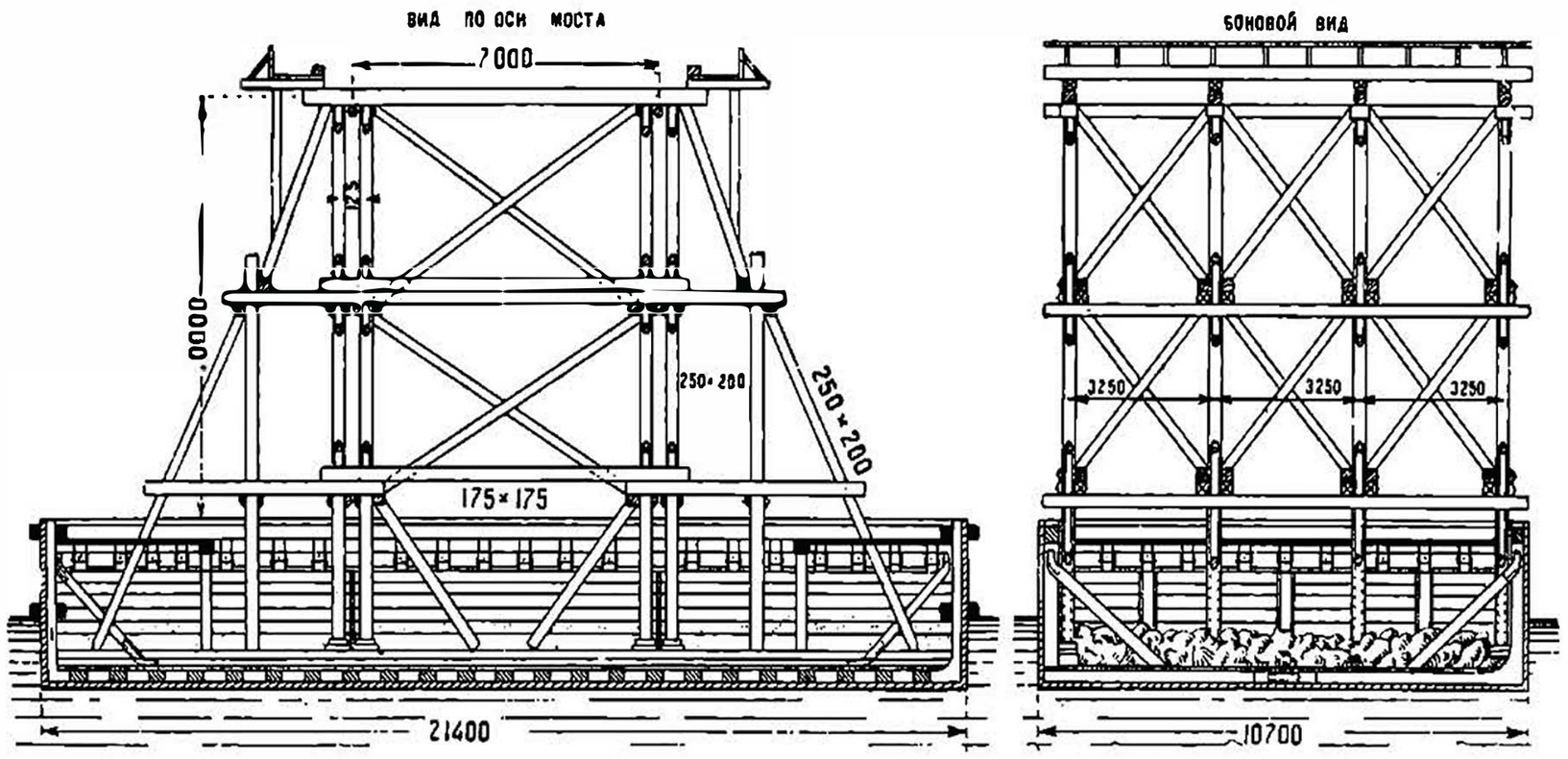


Рис. 287. Пловучая опора для надвижки пролетного строения моста на Круго-Байкальской ж. д.

Пловучие опоры состоят из баржей с подмостями достаточной высоты для поддержания пролетного строения на требуемом уровне.

Подмости на пловучих опорах конструируются так же, как и обычные сборочные подмости (см. § 23). На баржах они устанавливаются или на специально укла-

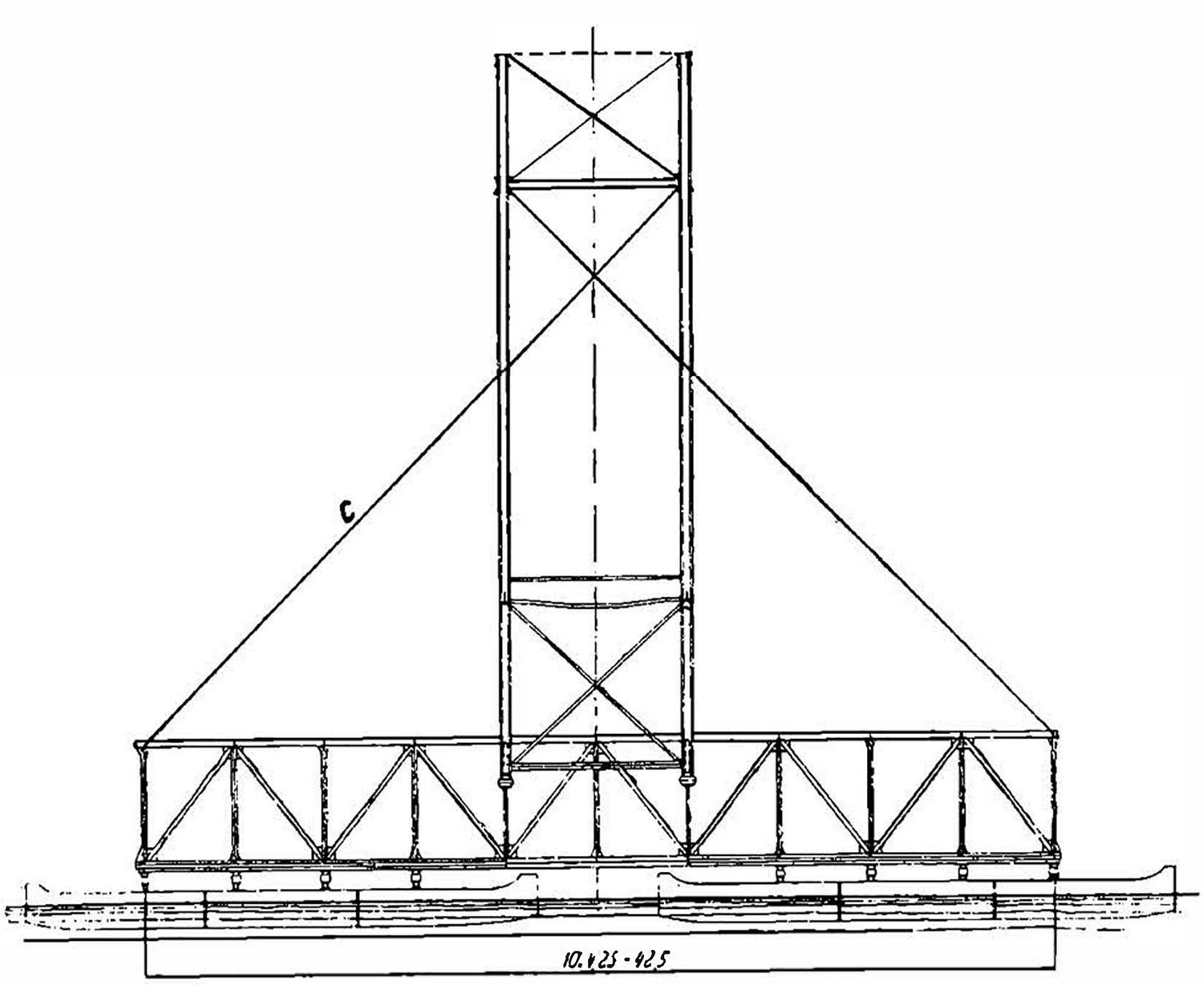


Рис. 288.

дываемые для этого солидные продольные брусья, в которые упираются подкосы подмостей (рис. 287), или на специально устраиваемые продольные фермы (рис. 288 и 289). Как брусья с подмостями, так и фермы имеют своим назначением увеличить продольную жесткость баржей, которые под действием нагрузки от веса подмостей

НБ УДУНТ (ДІІТ)

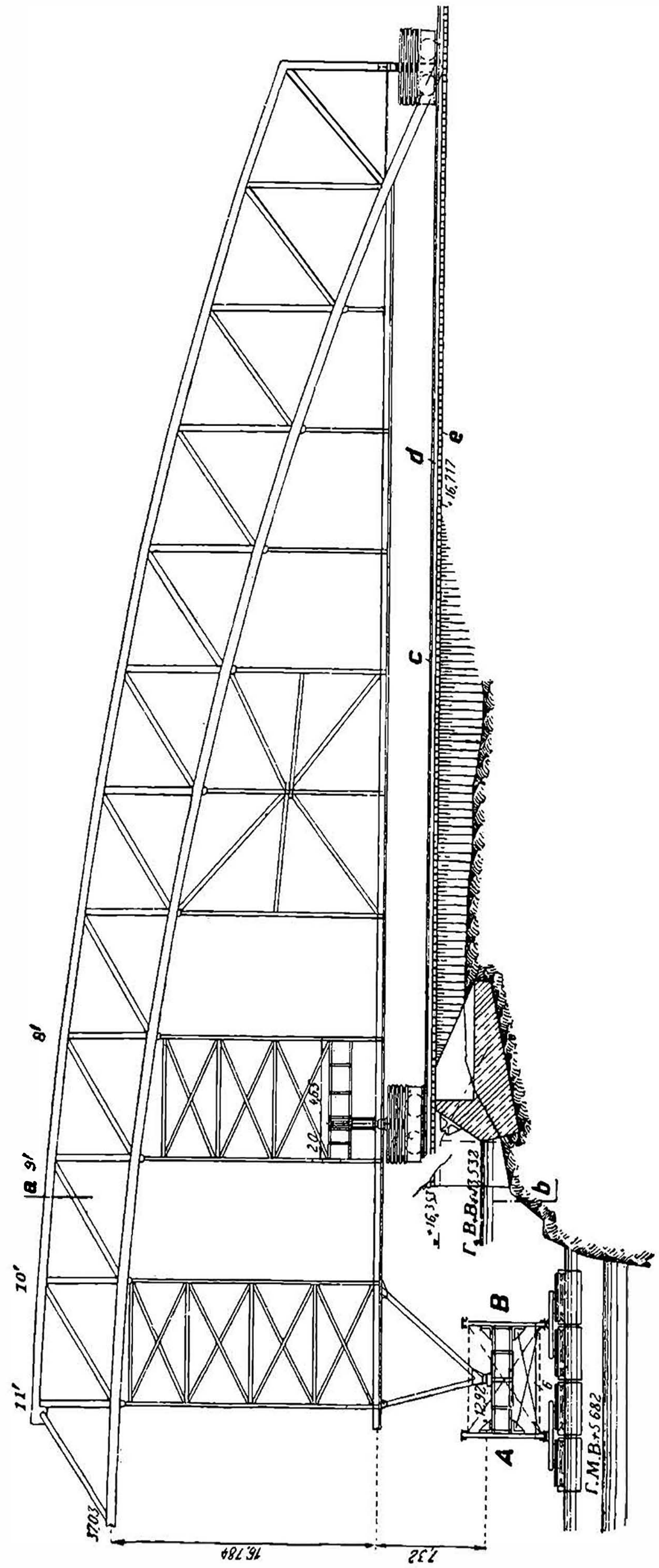


Рис. 289. Продольная надвижка арочного пролетного строения моста на реке Санага в Камеруне.

и пролетного строения, сосредоточенной в середине, изгибаются давлением воды снизу, и концы их стремятся подняться кверху [1]).

Высота подмостей пловучей опоры определяется разностью уровней проектного положения пролетного строения над средним уровнем реки, ожидаемого во время надвижки, и условием загружения баржи пролетным строением, подмостями и половиной веса водного баласта, служащего для регулирования высоты подмостей. Регулирование высоты подмостей изменением количества водного баласта обычно возможно в пределах до 1,00 *м*. Если ожидается возможность более резких колебаний уровня воды в реке, не позволяющих предусмотреть высоту подмостей, то приходится делать специальные устройства в самих подмостях, позволяющих изменять положение пролетного строения на них. Так, например, при надвижке пролетного строения через нижний рукав реки Санага (Sanagastrom) в Камеруне (рис. 289) вметаллических подмостях пловучей опоры была предусмотрена возможность изменения положения по высоте балки *AB*, на которую опиралось пролетное строение.

1) При надвижке пролетного строения моста через р. Волхов, вследствие недостаточно жесткого укрепления концов баржей, последние стали выгибаться кверху так, что для выправления их потребовалось загрузить нос и корму 131,5 *т* камня (Изв. Собр. Инж. П. С. 1909 г., № 2, стр. 24). Такой же случай имел место при надвижке пролетного строения через реку Муховец (Труды XV Съезда инж. сл. пути).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При надвижке балочных пролетных строений обычного типа пловучие опоры с подмостями помещаются возможно ближе к опорным узлам, так как это позволяет избежать больших усилений решотки ферм. При установке пловучих опор под мало жесткими элементами пролетных строений приходится значительно усиливать последние введением стоек жесткости и даже системы связей (на рис. 289—связи между подвесками).

Подмости пловучих опор рассчитываются так же, как обычные сборочные подмости; что касается баржей, то число их определяется в зависимости от размеров их и величины нагрузки передаваемой на них. Последняя слагается из:

G_1 — части веса пролетного строения,

G_2 — веса подмостей на плавучей опоре,

G_3 — веса самих баржей с оборудованием,

Q — веса запасного водного баласта.

Первые три величины определяются по размерам конструкций и данным проекта, количество же водного баласта определяется по цели назначения его.

Водный балласт в баржах предназначается для регулирования степени погружения баржей в воду. Независимость положения пролетного строения от изменения уровня воды в реке достигается изменением степени погружения в воду пловучей опоры. Необходимое для этой цели количество водного баласта определяется по разности пределов колебания уровня воды в реке.

Если в период надвижки ожидаются колебания уровня воды на высоту z, чему должна равняться также и величина изменения погружения баржи в воду, то вес баласта определится по величине соответствующего водоизмещения — v, определяемого выражением:

$$v = \psi l b z \gamma, \tag{63}$$

где l — длина баржи, b — ширина ее, ψ — коэфициент полноты водоизмещения, определяемый отношением площади по ватерлинии к прямоугольнику lb. Для обычных речных баржей ψ равно от 0,7 до 0,9.

Так как насосы откачивают воду из баржей только при условии, что слой воды внутри не менее 0,15 *м*, то общее количество водного баласта увеличивается на величину объема соответствующую этому слою, и вес его принимается равным:

$$Q = \psi l b (z + 0{,}15) \gamma, \tag{64}$$

где γ — вес *куб. м* воды равный 1 000 *кг*.

Таким образом полная нагрузка баржей:

$$R_g = G_1 + G_2 + G_3 + Q.$$

Число баржей и расположение их определяется не только условием их грузоподъемности, но и условиями остойчивости всей пловучей опоры.

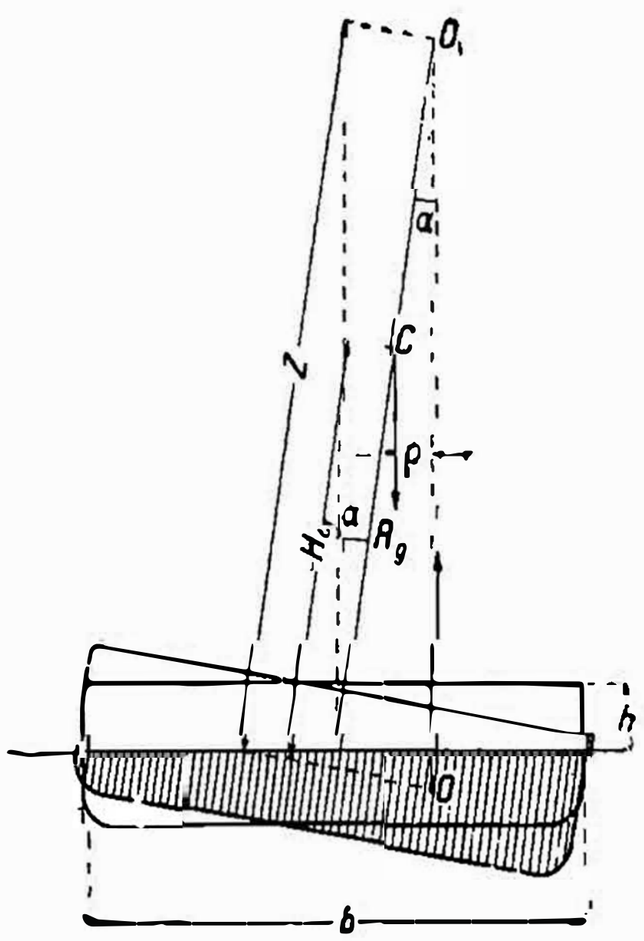


Рис. 290.

Остойчивость пловучей опоры. Под действием давления ветра, случайного одностороннего загружения, качки и других причин пловучие опоры могут давать продольный и поперечный наклоны (крен). В соответствии с наклонением пловучей опоры изменяется положение точки O — приложения водного давления, которая определяется центром объема воды, вытесняемой баржами (рис. 290). Если при этом наклоне положение центра тяжести C всей системы, т. е. пловучей опоры с пролетным строением на нем, не выйдет за пределы вертикали, проходящей через центр водоизмещения, то пара, образуемая действием веса R_g и равным ему противодавлением

НБ УДУНТ (ДІІТ)

воды, будет стремиться восстановить равновесие системы; если это условие будет нарушено, то та же самая пара будет содействовать дальнейшему опрокидыванию пловучей опоры. Точка O_1 — пересечения вертикали OO_1 с наклонной осью пловучей опоры носит название м е т а ц е н т р а; чем выше лежит эта точка над центром тяжести, тем устойчивее будет равновесие.

При небольших углах наклона в пределах 15°, момент пары, восстанавливающей равновесие, с достаточной степенью точности определяется величиной:

$$M = R_g \cdot \rho = R_g (z - H_g) \sin a \qquad (66)$$

где z — расстояние по оси от метацентра O до центра водоизмещения и H_g, — такое расстояние от центра водоема до центра тяжести системы от метацентра до центра тяжести C системы; α — угол наклона всей системы.

Величина z — расстояние метацентра определяется по формуле:

$$z = \frac{J}{v}, \qquad (67)$$

где J — момент инерции площади, ограниченной линией уреза воды относительно оси, вокруг которой происходит наклон системы; v — объем вытесненной воды, равный $R_g : \gamma$.

Подставив эти значения в формулу (66), определяющую величину удерживающего момента, получим:

$$M = R_g \left(\frac{J}{R_g \gamma} - H_g \right) \sin \alpha \qquad (68)$$

Из этого выражения видно, что величина удерживающего момента возрастает с увеличением площади баржей, ограничиваемой урезом воды, и с уменьшением

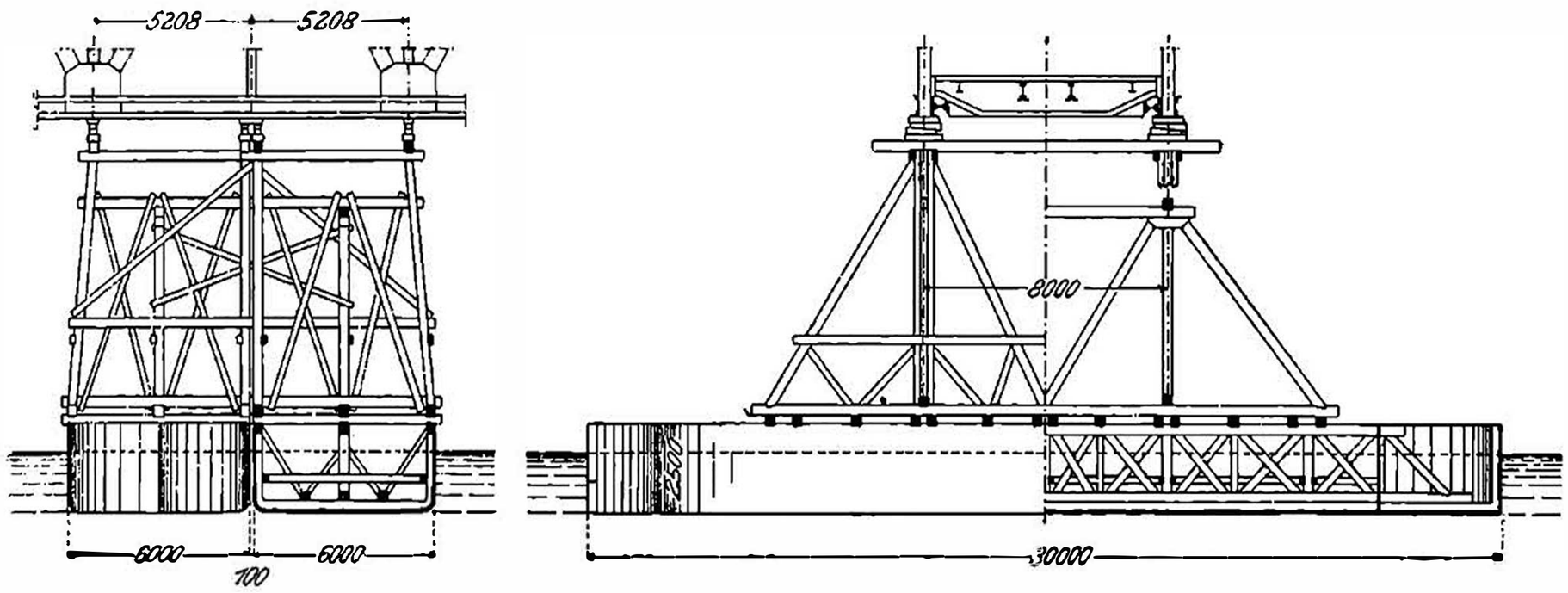


Рис. 291. Пловучие опоры для надвижки пролетного строения моста через р. Кемь.

высоты H_g — положения центра тяжести системы. Так как снижение центра тяжести на значительную величину представляется невозможным, то вполне естественным представляется повышать остойчивость пловучих опор увеличением площади уреза их, что и достигается спариванием их в поперечном направлении (рис. 291) и таким же соединением в долевом направлении (рис. 288). При таком устройстве момент инерции их определяется по известной формуле $J = J_o + \omega c^2$.

При использовании обычных плоскодонных речных баржей величины J и v могут быть выражены в общем виде так:

$$J = \varphi \frac{b^3 l}{12} \quad \text{и} \quad v = \varphi_1 b l h_o,$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

где b и l — соответственно ширина и длина баржи, h_0 — глубина водоизмещения, φ и φ_1 — коэфициенты полноты. При очертании баржи в плане близком к прямоугольнику, принимают:

$$z = \frac{J}{v} = \frac{\varphi}{\varphi_1}\frac{b^3 l h_0}{12 \cdot bl} \text{ принимают} = \frac{b^2 h_0}{14},$$

Если наклон происходит относительно поперечной оси баржи, то $J = \varphi' \frac{bl^3}{12}$ и величина z с достаточной степенью точности может быть определена выражением вида $z = \frac{l^2 h_0}{14}$.

Определяемой формулой (68) удерживающий момент имеет своим назначением уравновешивать момент опрокидывающий.

Если это опрокидывание происходит под действием давления ветра на пловучую опору и пролетное строение, то величина опрокидывающего момента определяется выражением:

$$M' = R_W \cdot H_W. \qquad (69)$$

где R_W — равнодействующая давления ветра на пролетное строение, на подмости и на борта баржи; H_W — положение центра этого давления относительно уреза воды.

Величина давления R_W определяется по площадям очертания пролетного строения, подмостей и баржи, причем для первых двух случаев вводится поправочный коэфициент в зависимости от полноты заполнения площади очертания (см. приложение в конце). Эти давления принимаются приложенными в центрах площадей очертания, на которые действует ветер. По этим данным определяется величина R_W и положение точки ее приложения H_g.

Так как момент удерживающий должен обеспечить безопасную остойчивость пловучей опоры, то обычно задаются условием:

$$M = 2M'$$

Это условие позволяет определить величину угла α, при котором не нарушается остойчивость пловучей опоры, а именно:

$$R_g \left(\frac{J}{R_g \gamma} - H_g\right) \sin\alpha = 2R_W \cdot H_W,$$

откуда

$$\sin\alpha = \frac{2R_W \cdot H_W}{\left(\frac{J}{\gamma} - R_g H_g\right)}. \qquad (70)$$

Во всяком случае, величина угла не должна превосходить той величины, при которой борта баржи могут уже касаться уреза воды. Если принять возвышение борта баржи над уровнем воды, равным h, то:

а) при наклоне относительно продольной оси $\operatorname{tg}\alpha = h : b$,

б) при наклоне относительно поперечной оси $\operatorname{tg}\alpha = h : l$.

По малости угла α можно принимать $\sin\alpha = \operatorname{tg}\alpha$.

Допускать наклонение пловучей опоры односторонним загружением не следует; если бы таковое вследствие каких-либо причин оказалось, то его следует регулировать запасным водным баластом. Для того, чтобы эта регулировка была возможна, внутри баржей делаются водонепроницаемые перегородки, обеспечивающие распределение водного баласта по площади баржи. Регулируя уровень воды в отдельных камерах между перегородками, можно уравновешивать наклон опоры.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Определение водоизмещения баржи. После того как принята схема расположения барж пловучей опоры, и выяснены размеры самих барж, определяется глубина осадки в зависимости от величины нагрузки R_g, приходящейся на каждую из них, которая слагается из веса самих барж, веса подмостей на них, части веса пролетного строения и веса водного баласта, необходимого для регулирования высоты пловучей опоры (формула 63). Глубина h_0 осадки определяется объемом вытесняемой воды, а именно:

$$R_g = \psi b l h_0 \gamma \tag{71}$$

Возвышением бортов баржи над водой обеспечивается запас подъемной силы их. Рекомендуется делать его не менее 0,5 *м*, так что необходимая высота H бортов барж определяется условием:

$$H = (h_0 + 0{,}5)\ м. \tag{72}$$

Расчет прочности баржи. Прочность барж и усиления их фермами (рис. 291) или подкосами (рис. 287) поверяется в предположении, что баржа находится в условиях пластинки, плавающей на воде и нагруженной: сверху внешними силами в виде веса пролетного строения, веса подмостей, давления ветра и пр.; снизу — гидростатическим давлением воды. При изгибе такой пластинки надо ожидать изменения распределения давления воды по ее длине; причем это изменение будет тем больше, чем больше упругость пластинки. По исследованиям В. Г Шухова [1]), условиями изгиба такой пластинки можно пренебречь и принять ее как абсолютно жесткую, если для нее величина

$$0{,}5lf = 0{,}5\sqrt[4]{\frac{\gamma}{4EJ}} \leqslant 1, \tag{73}$$

где $0{,}5\,l$ — половина длины баржи; γ — вес *куб. м* воды и j момент инерции поперечного сечения баржи. Для деревянных барж особенно усиленных фермами и подкосами это условие всегда удовлетворяется, а потому при расчете можно рассматривать их как вполне жесткие.

При этом условии давление воды на дно баржи при всяком виде загружения ее будет распределяться по гидростатическому закону, т. е. пропорционально глубине погружения его; при плоском дне баржи это распределение будет происходить по закону плоскости. Величина его в любой точке по длине баржи будет определяться формулой неравномерного сжатия, а именно:

$$p = \frac{R_g}{\omega} + \frac{M\,l}{J\,2}, \tag{74}$$

в которой R_g — равнодействующая вертикальных загрузок; M — момент внецентренности внешних сил относительно поперечной оси, ω — площадь сечения баржи по урезу воды и J — момент инерции той же плоскости относительно поперечной оси баржи, $\frac{l}{2}$ — половина длины баржи (рис. 291).

Расчет прочности должен производиться в предположении наибольшей возможной величины наклонения (крена) пловучей опоры, что обусловливает введение в выражение момента M влияния внецентренности от веса нагрузок R_g и влияние давления ветра R_W.

В зависимости от конструкции подмостей пластинка-баржа рассматривается

---

[1]) В. Г. Шухов, Уравнения $EJ\frac{d^4y}{dx^4} = ay$ в задачах строительной механики.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

или как балка (ферма) заделанная посредине (рис. 288), или как балка (ферма) упертая в нескольких точках (рис. 291); в последнем случае подкосы рассчитываются как консоли подпирающие такую балку.

При производстве продольной надвижки баржи могут устанавливаться своей долевой осью как поперек пролетного строения (рис. 291), так и вдоль его (рис. 292). Чаще можно встретить первый вид установки, что объясняется удобством установки пролетного строения на подмости баржи, возможностью подхода всей пло-

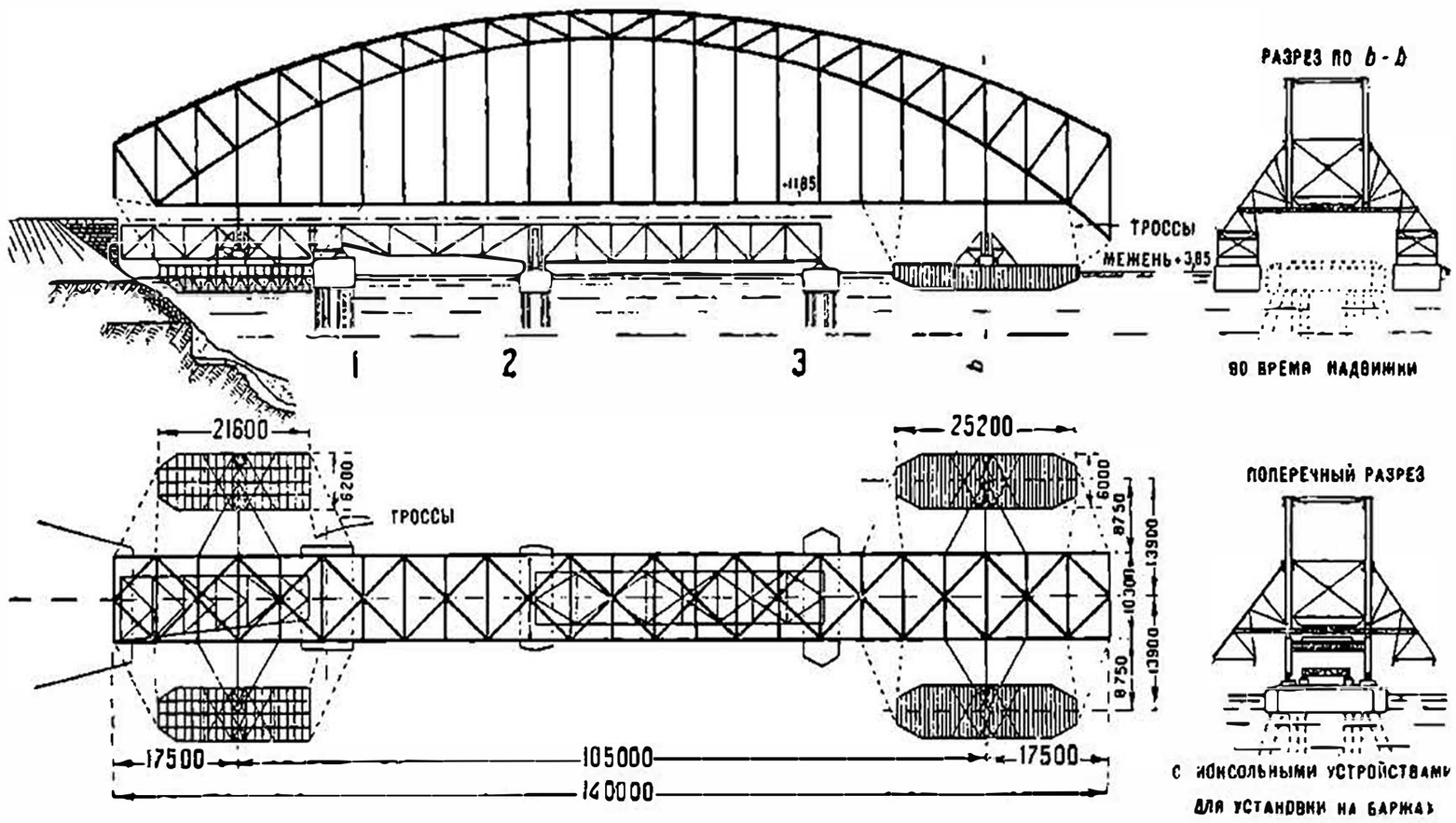


Рис. 292. Продольная надвижка при помощи барж пролетного строения моста в Стокгольме.

вучей опоры с подмостями непосредственно близко к опорам моста и, следовательно, возможностью установки их ближе к опорным узлам. При втором способе установки барж усложняется конструкция подмостей, поддерживающих пролетное строение, в которые приходится включать специальные балки и фермы, на которые помещается пролетное строение (см. рис. 292, поперечный разрез).

Укрепление плавучих опор против бокового сдвига их течением реки и давлением ветра обеспечивается или расчаливанием их с берега на берег, если ширина

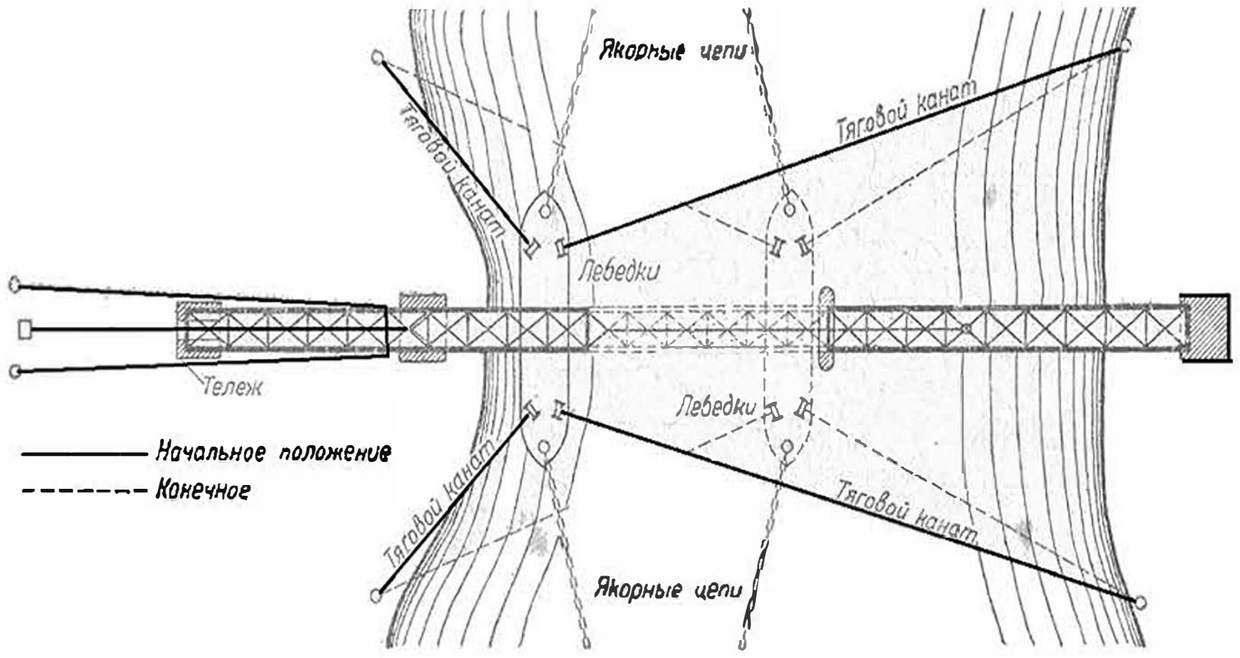


Рис. 293. План надвижки пролетного строения моста в Квинслэнде.

реки невелика, или расчаливанием специальным якорем. Эти расчаливания должны быть спроектированы так, чтобы, обеспечивая неподвижность барж относительно оси моста, давали им возможность перемещения вдоль берега.

На рис. 293 показано укрепление барж во время надвижки Альбертского моста в Квинслэнде. Баржа двумя цепями, длиною каждая около 190 *м*, была расчалена вверх и вниз по течению к 3 тонным якорям. Независимо от этого якорного закрепления баржа была расчалена дополнительными канатами к берегам. Эти канаты

НБ УДУНТ (ДІІТ)

соединялись с лебедками, установленными на барже, которые, по мере движения, одни ослаблялись, другие нарабатывались; работой лебедок можно было регулировать положение баржей относительно пролетного строения. Движение пролетного строения производилось помощью лебедки, установленной на встречной опоре.

По схеме рис. 294 в сторону движения пловучей опоры направлены 4 каната, из которых два заменяют имевшийся в первом случае канат для тяги самого пролетного строения. Такое расположение хуже первого, так как при неравномерной натянутости канатов, пловучая опора будет сдвигаться с оси моста.

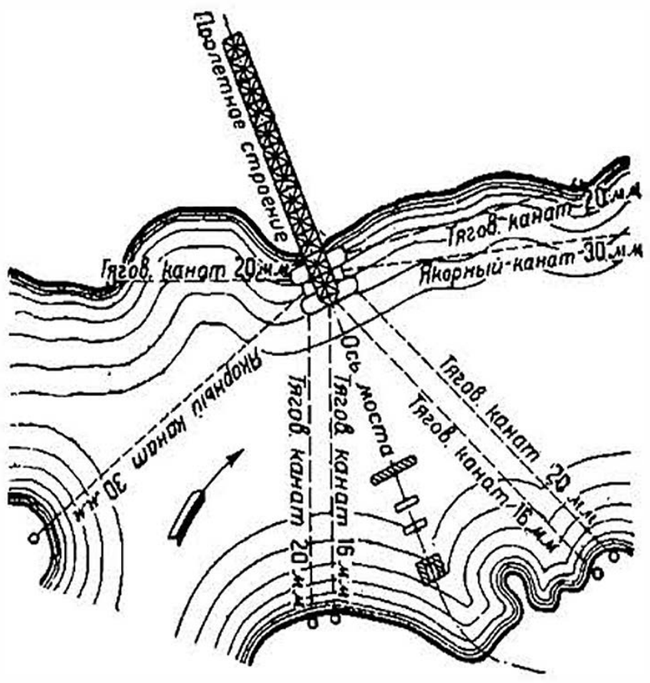


Рис. 294. План надвижки пролетного строения моста около Исальми (Финляндия).

Прочность закрепительных канатов должна быть рассчитана на суммарное действие сдвигающих сил от давления текущей воды на баржи и давления ветра на пролетное строение и на пловучую опору.

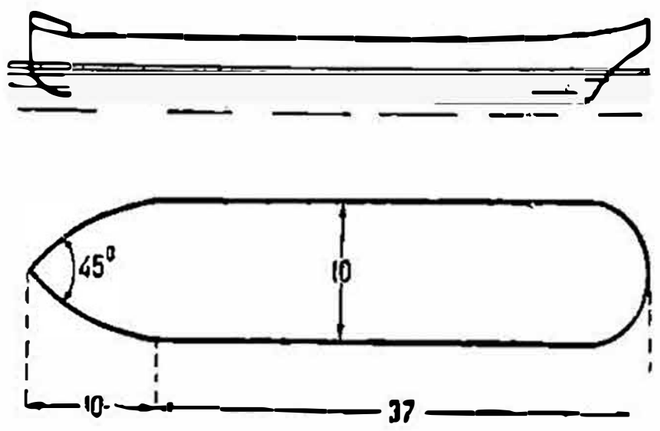


Рис. 295.

Гидродинамическое давление воды, зависящее от скорости v течения, определяется по формуле [1]):

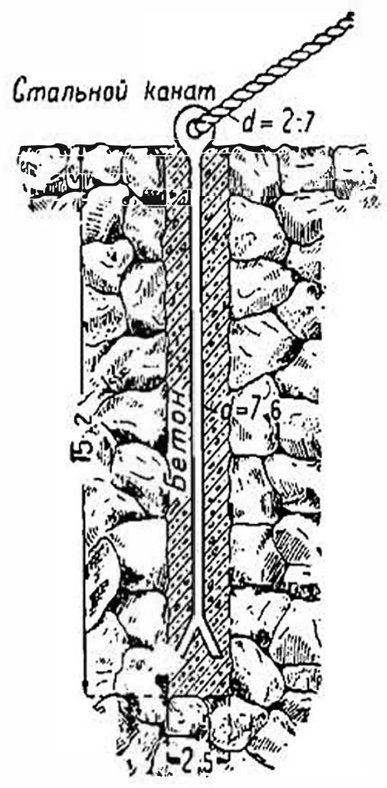
$$S = \varphi \gamma F \frac{v^2}{2g}, \qquad (75)$$

где F — проекция смачиваемой поверхности на плоскость нормальную течению; γ — вес *куб. м* воды $= 1\,000$ *кг* и φ — коэфициент зависящий от очертания баржи.

По опытам, произведенным 1 восстановительной организацией НКПС в 1923 г. на Днепре, с железными баржами типа, указанного на рис. 295, величина коэфициента φ была определена:

1) при установке баржей поперек течения — 0,71,
2) » » » вдоль » — 0,53.

Вообще величина давления текущей воды на баржи не представляет большой величины. Гораздо большая сдвигающая сила развивается от действия ветра; даже при ветре средней силы с давлением 75 *кг/м²*, эта сила в несколько раз, превосходит силу, развиваемую давлением воды. Ввиду этого, как правило, стараются производить работы по передвижке в тихую погоду, устанавливая благоприятное состояние погоды путем метеорологических справок. Вообще не рекомендуется производить надвижку при действии ветра с давлением более 50 *кг/м²*, предусматривая на случай более сильного ветра дополнительные закрепления.


Стальной канат
d = 2:7
Бетон
1:2,5
1:2,5
1:2,5

Качание баржей вызывается также действием волнения. Оградиться от влияния волнения вообще невозможно; применявшиеся для этого заплыви только частью смягчали величину волн. В водах же, где можно ожидать внезапного и сильного волнения, надвижку баржами лучше производить в зимнее время в специальных прорубях; это хотя и удорожает работу, но и обезопасит производство ее от волнений.

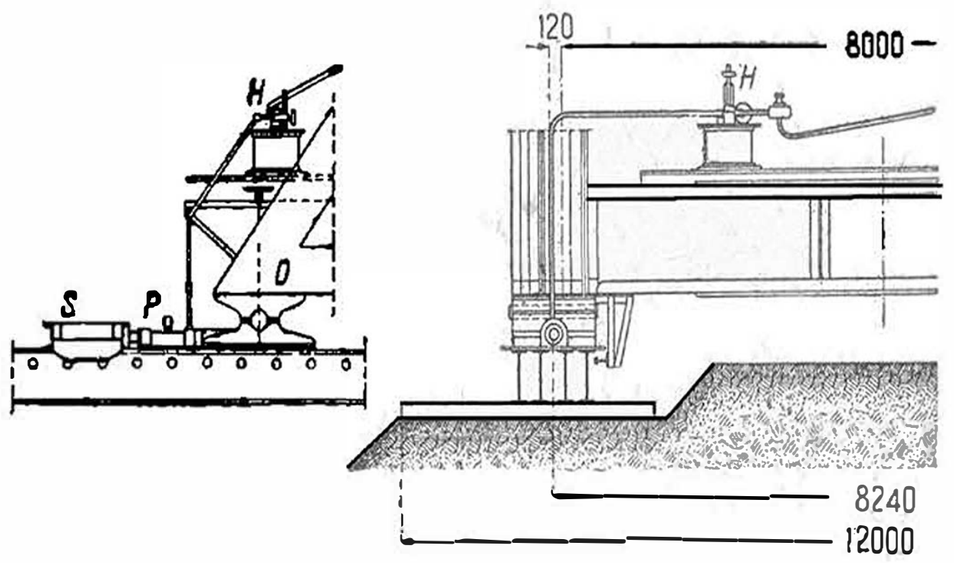


Рис. 297. Салазковое устройство для надвижки пролетного строения моста через р. Кемь.

Одновременно с передвижением переднего конца ферм помощью подвижной опоры происходит движение заднего конца их вдоль пути подходящего к мосту. Кроме своего прямого назначения— служить для движения ферм, подвижные приспособления, служащие для движения заднего конца ферм, должны удовлетворять условию беспрепятственного колебания пролетного строения в вертикальной плоскости, вызываемого изменением уровня воды в реке; вместе с тем, они, по возможности, должны обеспечивать устойчивость пролетного строения против сдвига его в сторону. Первое условие проще всего удовлетворяется помещением под задним концом каждой фермы только одной точки опоры, снабженной шарниром, около которых все пролетное строение могло бы иметь свободное вращение. Сосредоточение подвижного приспособления в одном пункте дает также возможность поместить его в наиболее жесткой части ферм, например в опорном узле, и этим устранить вредное влияние сосредоточенных давлений от подвижных приспособлений в промежуточных точках поясов ферм.

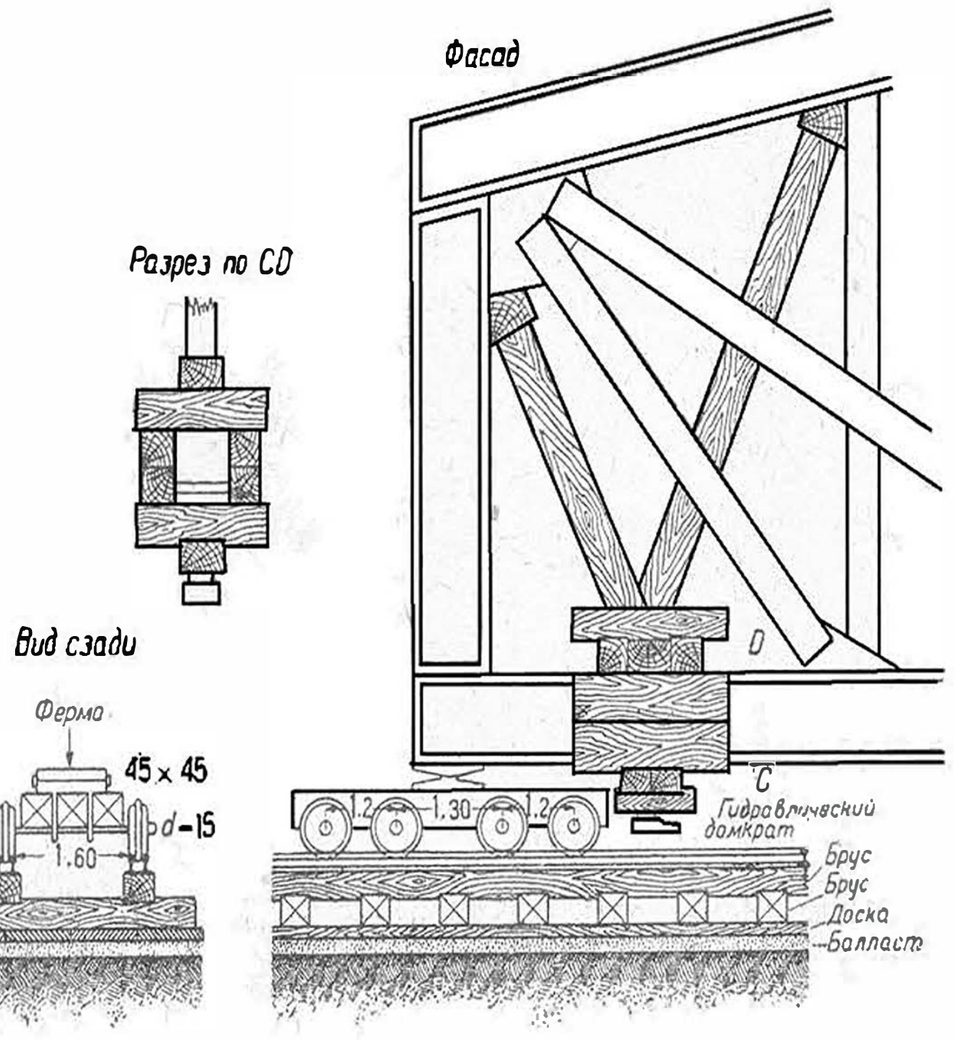


Рис. 298. Тележки для надвижки пролетного строения моста в Квинслэнде.

На рис. 297 показано салазковое приспособление, примененное при надвижке 125-метрового пролета моста через реку Кеми в Финляндии. В качестве салазок были использованы неподвижные опорные подушки этого моста с балансирным соединением между собой. Подушки с подложенными под ними железными листами скользили по верхним полкам двутавровых балок. Под каждую подушку было уложено по четыре балки, скреплявшихся между собой болтами. Обе фермы приводились в движение гидравлическими прессами P, непосредственным упором их в подушки S, укреплявшиеся болтами по двутавровым балкам. К нижним граням поперечных балок пролетного строения были прикреплены консоли, которые своим нижним концом двигались вдоль внутренних граней пути скольжения и в случае сдвига пролетного строения в сторону своим упором в путь препятствовали дальнейшему сдвигу пролетного строения.

На рис. 298 показано приспособление тележек для движения заднего конца

пролетного строения. Четырехосные тележки с колесами диаметром 76 *см* на стальных осях диаметром 15 *см* имеют движение по четырем рельсам. Колеса тележек в середине обода имеют реборду, препятствующую сдвигу тележек с рельс. Кузов тележки состоит из трех железных брусков, сечением 45·45 *см*, длиной 4,36 *м*. Пролетное строение моста устанавливается на тележки помощью балансирных опорных подушек.

Применение катков для движения заднего конца пролетного строения не может быть рекомендовано. Располагаясь во время своего качения по некоторой части длины ферм, катки этим самым устраняют возможность применения сосредоточенного в определенном пункте балансирного соединения. Вместе с тем при таком расположении катков является неопределенность в распределении опорного давления между катками и пловучей опорой, между задними и передними катками. Самое приспособление ферм к движению их по каткам отличается большой сложностью и самые фермы в большинстве случаев подлежат дополнительному усилению по типу, показанному на рис. 282 и 283.

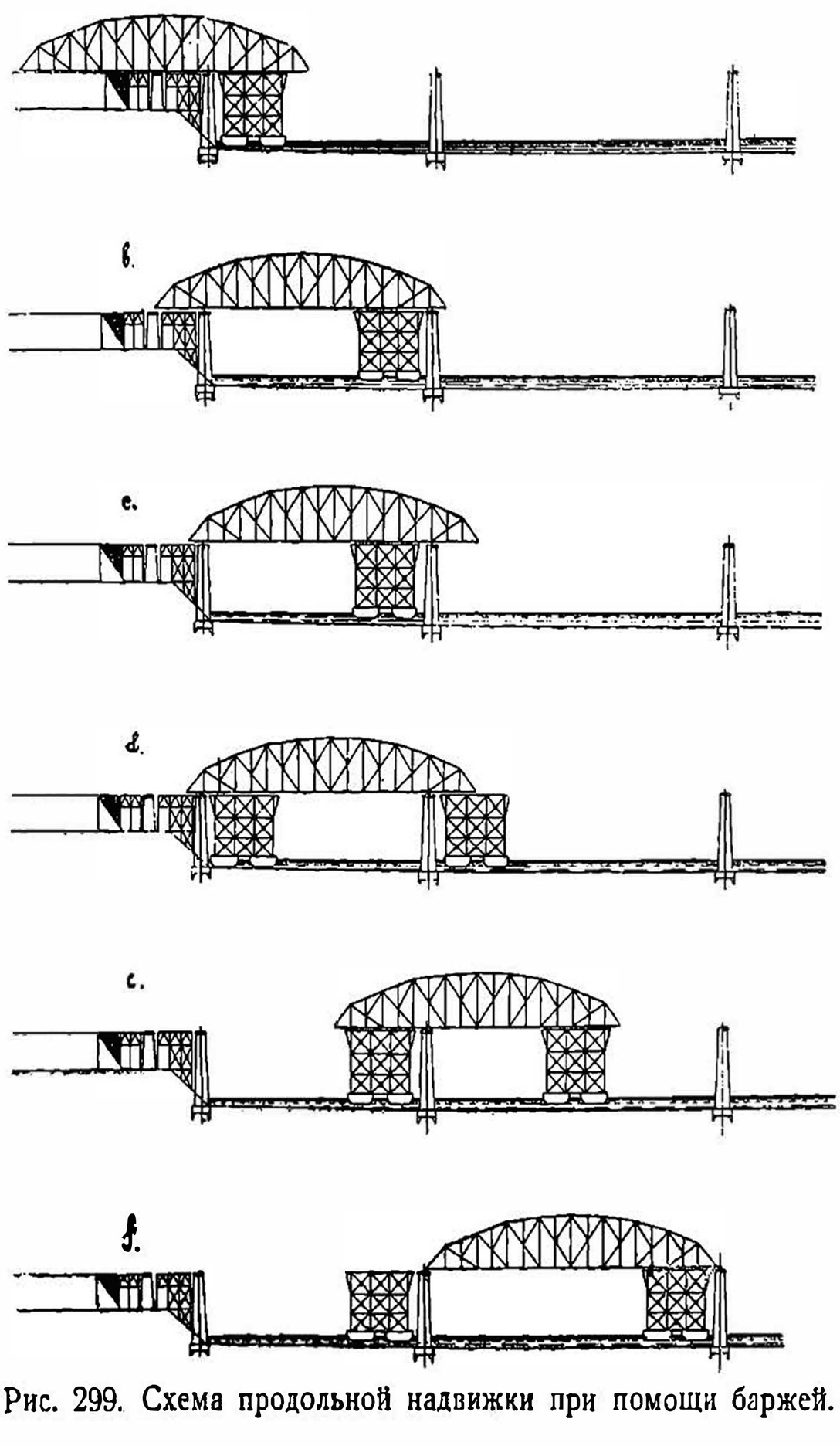


Рис. 299. Схема продольной надвижки при помощи баржей.

Путь для движения вагонеток, катков и пр. укладывается на поперечные брусья, основанием для которых служит подбивка песком (рис. 297) или ряд продольных и поперечных брусьев, распределяющих нагрузку от ферм на грунт (рис. 298). В тех случаях, когда на свеже насыпанной насыпи можно ожидать больших просадок пути, во время движения по нему ферм, поперечные брусья пути подбиваются клиньями, натяжением которых путь выравнивается до требуемого горизонта.

Процесс накатки ферм состоит в следующем (рис. 299). По окончании сборки пролетного строения вдоль оси пути на берегу, оно выдвигается над береговым устоем настолько, чтобы можно было подвести под него подвижную опору. Длина выдвигаемого конца фермы выбирается с таким расчетом, чтобы, по установке под ним подвижной опоры, впереди ее оставался достаточной длины конец, которым пролетное строение могло бы быть установлено на встречную опору в момент окончания надвижки. Длина свешивающегося конца определяется расстоянием, на которое может подойти подвижная опора к встречной опоре. Пловучая опора подводится под пролетное строение при наибольшем погружении, для чего она временно нагружается водным баластом, заменяющим собою нагрузку от пролетного строения. По установке пловучей опоры под передним концом часть водного баласта откачивается, пока опора, подни-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

маясь, не примет на себя пролетное строение; последнее неподвижно укрепляется на верхней площадке подмостей опоры, после чего уже производится движение пролетного строения вместе с подвижной опорой.

Для приведения пролетного строения и подвижной опоры в движение обыкновенно употребляются лебедки, устанавливаемые на встречной опоре и соединяемые с передвигаемой фермой полиспастами; можно рекомендовать также установку лебедок на берегу, с которого производится надвижка пролетного строения. Канат от этих лебедок, переходя через блок, укрепленный в конце насыпи, возвращается к заднему концу фермы, где и закрепляется. Приспособление лебедки по последнему способу имеет то преимущество, что канат от нее проходит все время вдоль насыпи, а потому более доступен ремонту и исправлению.

Во время надвижки баржи, поставленные поперек пролетного строения, встречая сопротивление в виде давления воды, отстают от пролетного строения по скорости движения. Для регулирования движения барж с пролетным строением они расчаливаются канатами к обоим концам последнего (рис. 300); той же регулировки

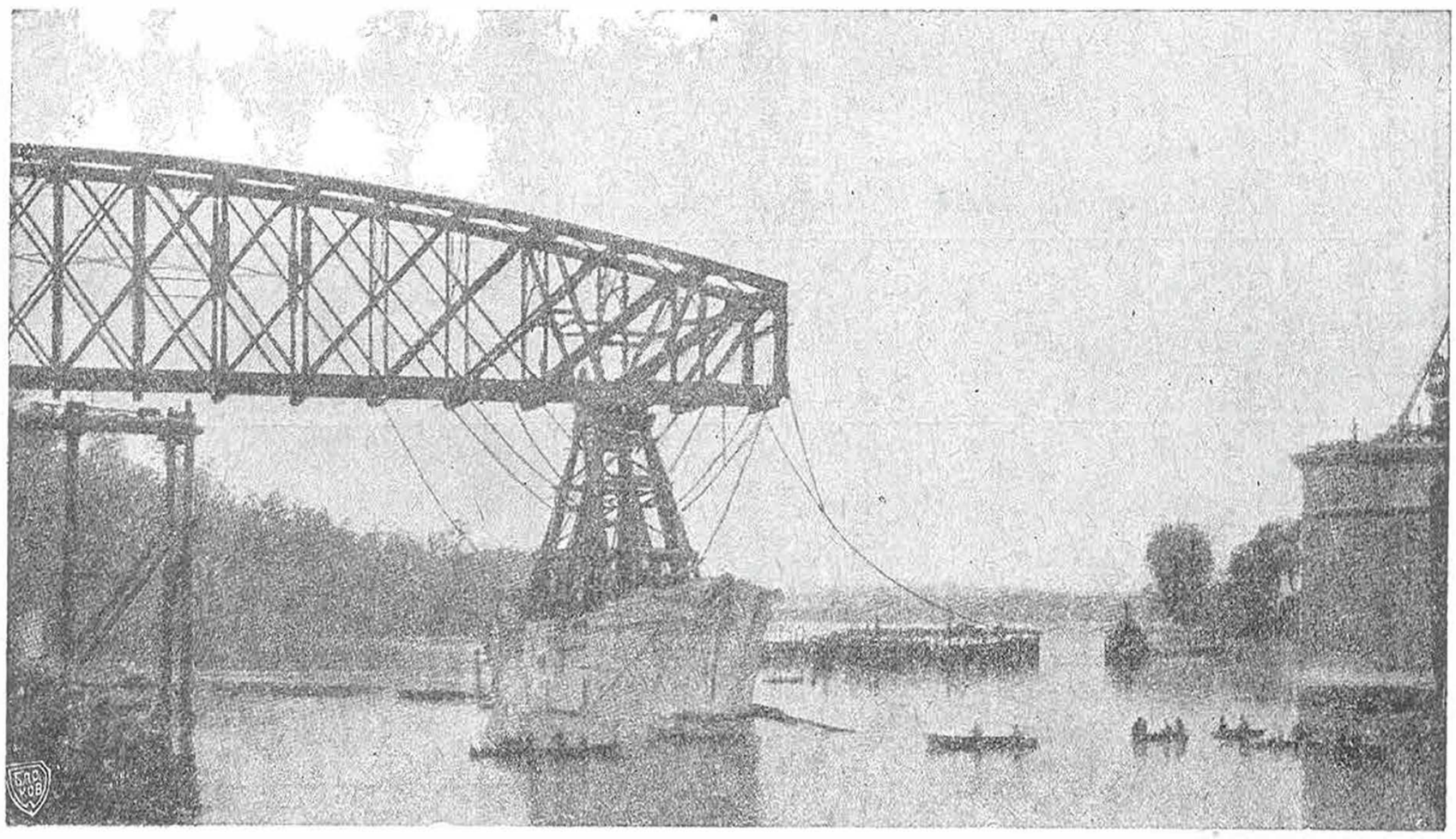


Рис. 300. Надвижка пролетного строения моста в Квинслэнде.

движения можно достигнуть постановкой рабочих лебедок параллельно на пролетном строении и на барже.

В таблице 18 приведены данные, характеризующие ход надвижек, произведенных пловучими подвижными опорами.

Процесс самой накатки оканчивается в момент, когда передний конец пролетного строения достигает встречной мостовой опоры; далее следует уже установка его на опоры. Баржи пловучей опоры наливаются водным баластом, вследствие чего они вместе с подмостями и пролетным строением медленно опускаются, пока последнее своими опорными узлами не сядет на опору, баржи же вместе с подмостями выводятся в сторону. Установка заднего конца производится или помощью гидравлических домкратов или же помощью той же пловучей опоры, для чего последняя по выводе ее из-под переднего конца подводится под задний, приподнимает его с подвижным приспособлением и после уборки последних опускает его на опоры. Вся манипуляция по установке пролетных строений помощью пловучей опоры производится путем откачивания и накачивания в нее водного баласта. При установке пролетных строений следует иметь в виду, что всякое уменьшение давления пролетного строения на пловучую опору вызывает поднятие ее из воды и поэтому должно сопровождаться соответствующим накачиванием водного баласта.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ТАБЛИЦА 18.

№ по пор.	Наименование моста	Число и величина пролетов в *м*	Длина надвижки в *м*	Вес пролетного строения во время надвижки в *т*	Пловучая опора		Подвижные приспособления заднего конца				Род двигателей	Время продолжения движения	Средняя скорость движения *м* в час
					Вид	Подъемная сила в *т*	Вид	Размеры в *см*	Путь для движения	Наибольшее давление в *кг*			
1	Река В. с СССР	2 по 96 1 » 128	Берег. 100 Сред. 228	— 819	2 плоских баржи	Каждая 578	Стальные катки	Диаметр $d=15$	4 рельса под каток	—	Лебедки	Надвижка с перерывами	До 25,0 при движении крайнего пролета
2	Р. Френч Канадск. ж. д.	1 » 125	130	1282	1 плоская баржа	1000	2 подушки скольжения	137 · 142	7 рельсов под подушку	320 000	Паровая лебедка	7 час.	18,6
3	Р. Кеми Улеаб Торнеоской ж. д.	1 » 125	90	720	2 плоских баржи	Каждая 2 880	2 подушки скольжения с балансирами	—	4 двутавровых балки, высотою 55 *см*	182 500	2 гидравлических домкрата в 53 *т*	35 час.	2,56
4	Березовая бухта Кругобайкальской ж. д.	1 » 127	100	650	2 плоских баржи	Каждая 291	Чугунные катки	Диаметр $d=15$	3 рельса под каток	—	2 ручных лебедки в 307 *кг*	16 час.	6,2
5	Альбертский мост в Квинслэнде	2 » 102	102	—	1 килевая баржа	1600	Две восьмиколесные тележки с балансирами	Диаметр колес — 76 оси — 15	4 рельса под тележку	150 000 на тележку	1 лебедка в 20 *т*	1 час 30 м.	68,0
6	Южный рукав реки Санага в Камеруне	1 » 160	80	336	8 металлических барж	—	2 тележки по 2 оси	Диаметр колес — 63 диаметр колес — 12	2 рельса под тележку	70 на тележку	—	2 часа	40
7	Мост Лидингое в Стокгольме	1 » 140	140	1 250	По две баржи под каждым концом	Все 1650	2 тележки по 2 оси	Диаметр колес — 800	2 рельса под тележку	—	2 лебедки	—	105

НБ УДУНТ (ДИИТ)

В первый период надвижки, когда пролетное строение моста выдвигается над устоем, передний конец его на известной длине остается навесу, представляя собою консоль, изгибающуюся от собственного веса. Результатом этого изгиба являются дополнительные напряжения в некоторых элементах ферм, могущие повлечь за собой остаточные деформации в них [1]).

Влияние излишнего провисания переднего конца устраняется постройкой временных подмостей вблизи устоев на такую длину, чтобы плавучая опора подходила вплотную к ним (рис. 286); вместе с тем для выдвигания пролетного строения используются не только временные подмости, но и сама подвижная опора, которая, будучи установлена рядом с подмостями и крепко связана с ними, служит непосредственным продолжением их. В этом случае для сохранения уровня настила подмостей и плавучей опоры в одной плоскости, откачка воды в баржах ведется по мере выдвигания пролетного строения и загружения им баржи.

Устройство временных подмостей вблизи опор полезно и в том отношении, что при окончании надвижки пролетного строения они могут быть использованы для помещения на них домкратов для снятия пролетного строения с подвижной опоры и опускания его на мостовые опоры.

В многопролетных мостах средние пролеты устанавливаются на место путем надвигания их над береговыми и над промежуточными опорами. Движение над промежуточной опорой совершается помощью двух плавучих опор под передним и задним концами (рис. 299), причем в этом случае одновременное движение пролетного строения по промежуточной опоре является ненужным и даже вредным, так как всякое неожиданное колебание уровня воды в реке может вызвать чрезмерное загружение или баржей или мостовой опоры, что может повлечь к нежелаемым деформациям. Промежуточная же мостовая опора используется для движения пролетного строения с того момента, как плавучая опора подойдет к ней, и дальнейшее движение плавучей опоры становится невозможным. Для осуществления движения пролетного строения по промежуточной опоре на последней делается настилка из брусьев и рельс (рис. 301), подобная той, которая делается на временных опорах при продольной надвижке через них (§ 33).

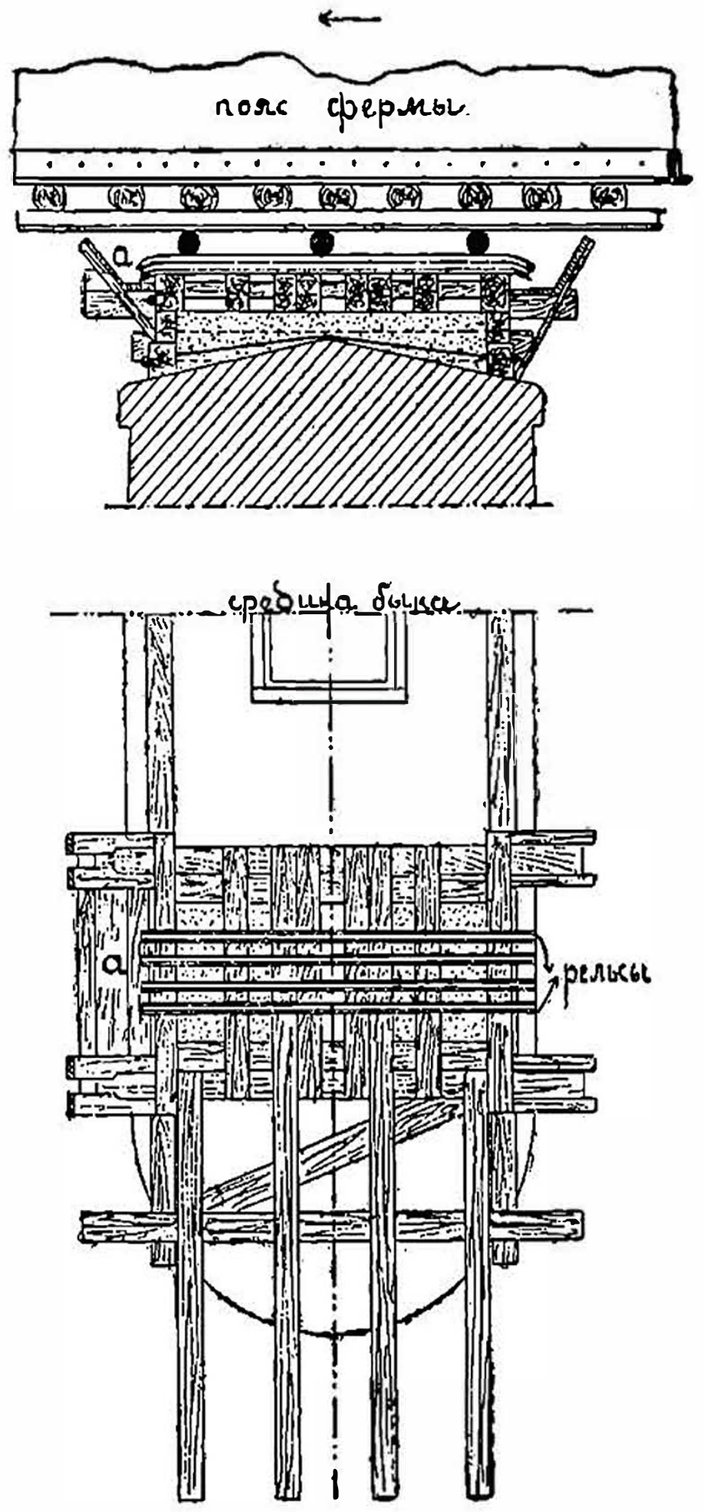


Рис. 301. Приспособление для продвигания пролетного строения через промежуточную опору во время надвижки на баржах (р. Западная Двина).

§ 35. Продольная надвижка по канату. При небольшом весе пролетного строения (обычно пролетные строения с ездою понизу до 40 *м*), продольную надвижку можно выполнить путем поддерживания переднего конца пролетного строения кареткой, передвигающейся по канату, перекинутому через пролет и укрепленному к двум стойкам, установленным по концам пролета (рис. 302).

Канат, служащий для движения каретки, может быть наглухо закреплен вверху поддерживающих его опорных стоек или рам; в этом случае натяжение его регулируется закрепительными тягами, проходящими сзади стоек, и сами стойки должны

---

[1]) При надвижке пролетного строения моста через Березовую бухту полураскос 4-й панели под влиянием свеса деформировался и дал выгиб в 21 *см*.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

быть шарнирными в пятах. Целесообразнее пропускать канат через ролик, установленный на опорной раме, и закреплять его при помощи тяг к неподвижным якорям, помещая по длине тяг стяжные муфты, при помощи которых представляется возможным регулировать натяжение каната. Такое закрепление имеет особое значение в тех случаях, когда при большом весе пролетного строения приходится пользоваться двумя несущими канатами. Жолоба роликов поддерживающих канат, рекомендуется покрывать кожей или каким-либо аналогичным материалом. Этим канаты, проходящие через жолоба, предохраняются от повреждений.

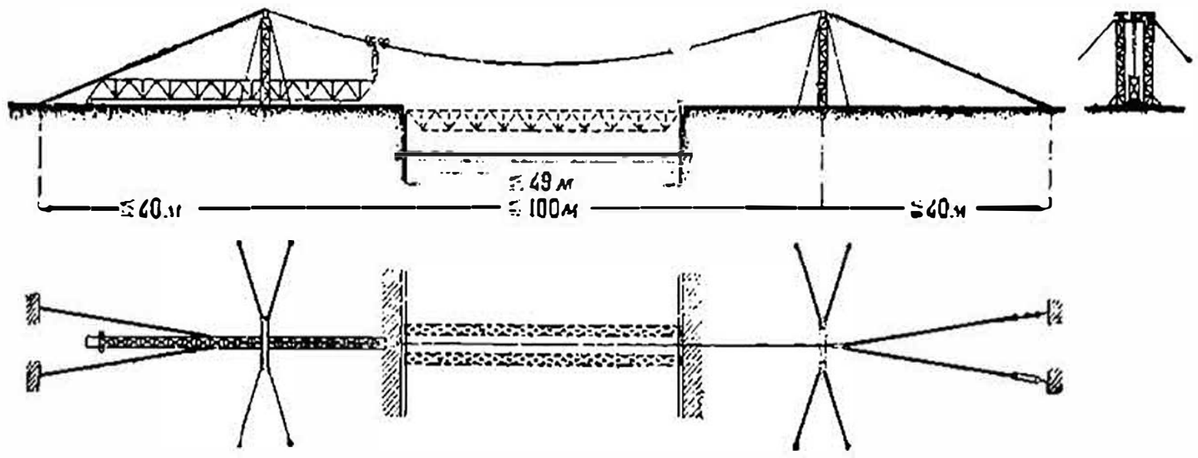
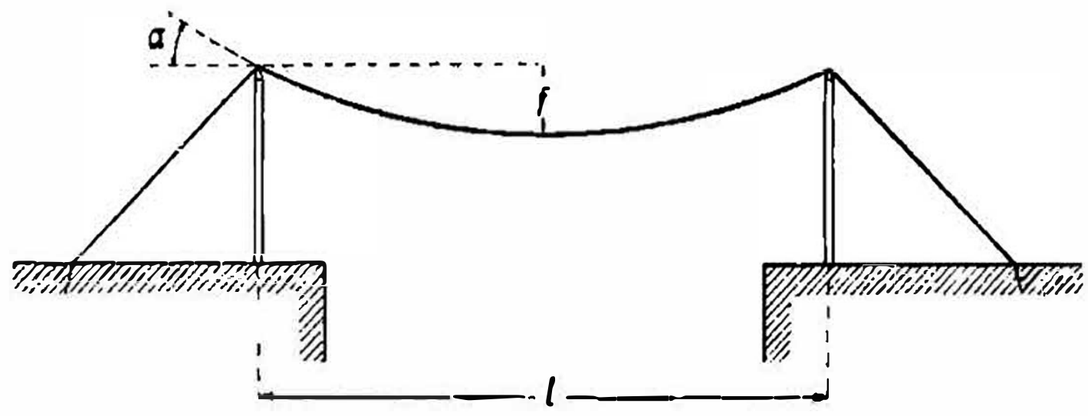


Рис. 302. Надвижка пролетного строения при помощи каната (Ост-Индия).

Размеры каната определяются из условия расчета прочности их на растяжение от усилий, возникающих в нем под действием нагрузки от собственного веса, и сосредоточенного груза P, а также на изгиб и на смятие под давлением колес тележек, служащих для движения груза.



Распор от собственного веса каната определяется по формуле (рис. 303 *а*):

$$H=\frac{ql^2}{8f}, \qquad (76)$$

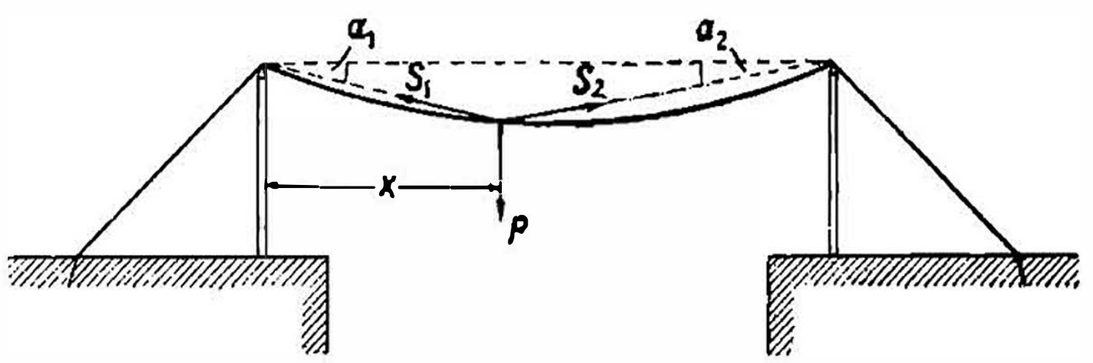


Рис. 303 а и 6.

где l — пролет между точками привеса каната и f — стрела провеса, которой обычно задаются в пределах от $^1/_8$ до $^1/_{10}$ пролета; с увеличением стрелы провеса увеличивается высота опорных стоек и рам, что нежелательно.

Усилия в канате от собственного веса имеют наибольшую величину у точек подвеса и равны:

$$S_q=H:\cos\alpha. \qquad (77)$$

Усилия в частях каната от сосредоточенного груза определяются из условия (рис. 303 *b*)

$$S_1\sin\alpha_1+S_2\sin\alpha_2=P,$$
$$S_1\cos\alpha_1+S_2\cos\alpha_2=0,$$

где α_1 и α_2 — углы наклона ветвей каната при положении груза P на расстоянии x от левой опоры.

Наибольшее значение усилий S_1 и S_2 имеет место при $x=0{,}5l$.

В этом случае

$$\sin\alpha_1=\sin\alpha_2=\frac{2f}{\sqrt{l^2+4f^2}}$$

$$\text{и}\quad S_1=S_2=\frac{1}{2}P\sqrt{1+\frac{l^2}{4f^2}} \qquad (78)$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Таким образом, полное напряжение от растяжения определяется выражением:

$$n' = \frac{1}{\omega}\left(\frac{ql^2}{8f} + \frac{1}{2} P \sqrt{1 + \frac{l^2}{4f^2}}\right). \qquad (79)$$

Напряжение в канате от изгиба его вокруг обода колеса определяется из условия:

$$n'' = E \frac{1}{\varrho} y = E \frac{d}{2\varrho},$$

где ϱ — кривизна каната, определяемая по формуле [1]):

$$\varrho = \frac{\omega}{P} \sqrt{\frac{Sm \cdot E}{\pi \cdot i}} \qquad (80)$$

В этих формулах: d — диаметр проволок, i — число проволок в канате, ω — площадь сечение каната $= \frac{\pi \cdot d^2}{4} i$, E — коэфициент продольной упругости, m — коэфициент упругости каната, принимаемый равным единице.

Таким образом после подстановок и приведения полное напряжение от растяжения в канате определяется суммой:

$$n = n' + n'' = \frac{4}{\pi d^2 \cdot i}\left(\frac{ql^2}{8f} + \frac{1}{2} P \sqrt{1 + \frac{l^2}{4f^2}} + d \sqrt{\frac{PE\pi i}{2m \sqrt{1 + \frac{l^2}{4f}}}}\right) \qquad (81)$$

Величина этого напряжения не должна превосходить некоторой части прочности каната, даваемой по каталогам фирм. Если установка делается для использования на одном или двух мостах, когда износ канатов не может достигнуть большой величины, можно допускать тройной запас прочности канатов. При установке спроектированной для надвижки и сборки ряда пролетных строений шоссейных мостов в Ост-Индии, запас прочности канатов был принят четверным [2]).

Диаметр каната в *мм* в зависимости от смятия, производимого колесами, определяются по формуле [3]):

$$d = m \sqrt[3]{2 \frac{P}{n}} \qquad (82)$$

где n — число колес в тележке; m — численный коэфициент, величина которого изменяется по соображению с формой каната и предполагаемой работой его; для обычных проволочных канатов и предполагаемой малой работы величина m может быть принята $= 2{,}5$.

Так, например, в установке, примененной для надвижки ферм в Ост-Индии, канат имел диаметр $d = 4{,}2$ *мм*, давление на колесо было принято 2 500 *кг*; при этих данных величина коэфициента m будет:

$$m = \frac{4{,}2}{\sqrt{2 \cdot 2\,500}} = 2{,}45$$

Установка исправно работала на целом ряде мостов.

---

[1]) Prof. P. Stephan, Die Drahtseilbahnen, 1926, стр. 54.
[2]) Bautechnik, 1928 г., № 41, стр. 611.
[3]) Prof. P. Stephan, Die Drathseilbahnen, стр. 56.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

На рис. 304 показан тип каретки, применяемой для подвешивания пролетного строения. Такие каретки обычно состоят из жесткой рамы, в нижней части которой устраивается балансир для подвески пролетного строения; в верхней части рамы помещаются балансиры, через которые рама каретки подвешивается к колесам. Число колес в каретке определяется из условия удовлетворения формулы (82) и принимается всегда четным, чтобы имелась возможность соединения их попарно раздельными рамами; соединение всех колес в одну жесткую раму недопустимо, так как это не позволит колесам располагаться по кривой очертания каната и может вызвать подъем колес с каната. Вообще в целях ограждения колес от выбрасывания, рекомендуется на осях крайних колес ставить хомуты, охватывающие канат снизу (рис. 304).

Рис. 304.

Если по условию веса пролетного строения надвижку приходится производить по двум канатам с двумя раздельными каретками, то в целях регулирования распределения давления между обоими канатами и в целях устранения перекосов, могущих появиться при неодинаковой натянутости канатов, обе каретки должны быть связаны регулирующими блоками по типу показанных на рис. 305, при посредстве которых груз передается на обе каретки.

При движении каретки по канату подвешенный к ней передний конец пролетного строения изменяет свое положение по высоте в соответствии с провесом каната и тем самым вызывает вращение пролетного строения вокруг некоторой оси. Возможность этого вращения будет лучше всего обеспечена, когда задний конец пролетного строения будет установлен на тележку с балансиром (рис. 272), как это было рекомендовано выше для случая надвижки при помощи плавучей опоры.

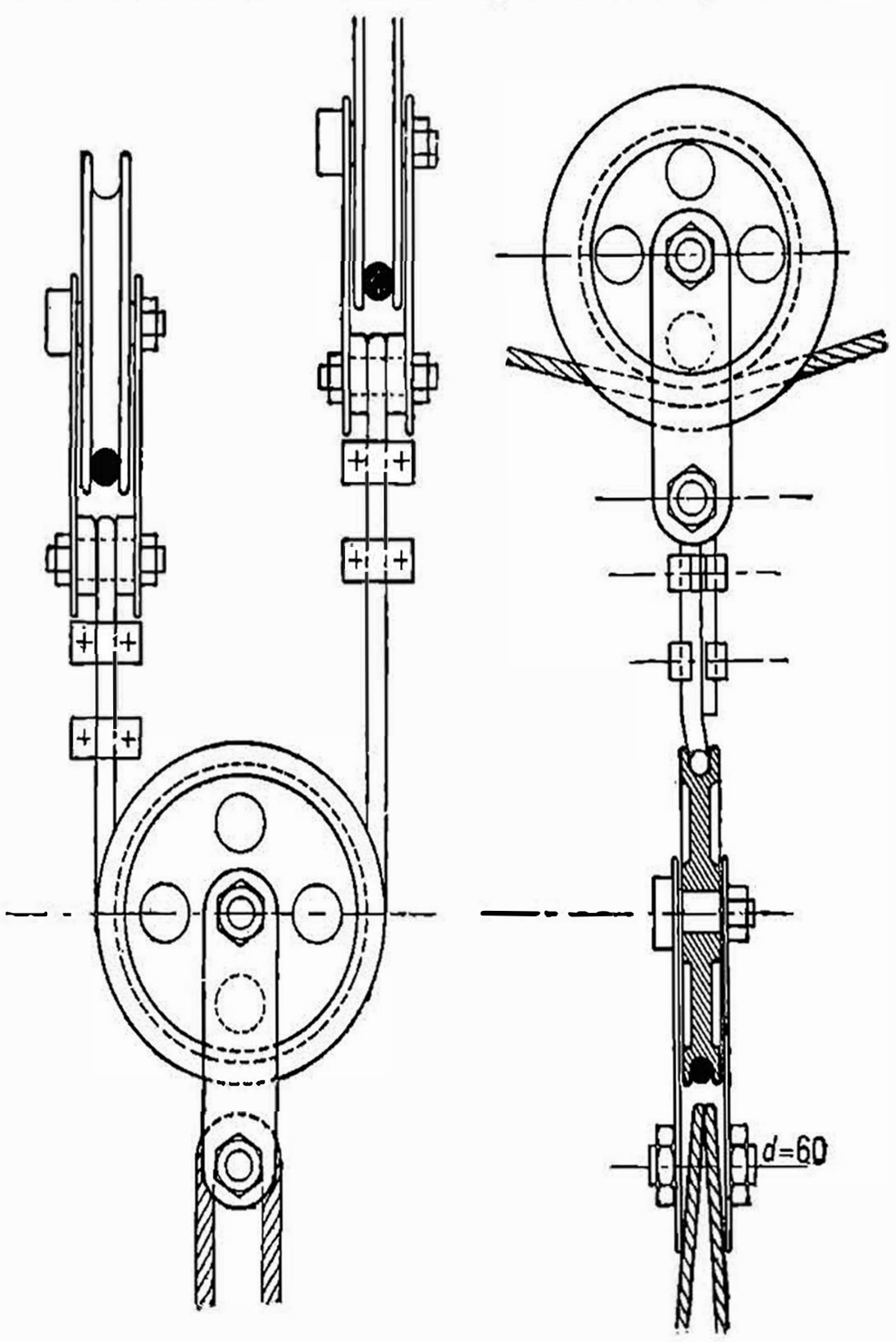


Рис. 305.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Тяговое усилие, необходимое для производства надвижки, определяется по величине сопротивления движению каретки и задней тележки.

Сопротивление каретки движению изменяется в зависимости от наклона касательной к кривой каната и равно (рис. 306):

$$T' = P \sin \varphi + f P \cos \varphi \qquad (83)$$

где f — коэфициент трения колес тележки по канату, принимаемый $= 0{,}016$ [1]).

Сопротивление тележки движению:

$$T'' = \frac{P'}{R}(f_2 + f_3 r),$$

где R — радиус колес, r — радиус осей тележки, f — коэфициент трения, $f_3 = 0{,}05$ и $f_3 = 0{,}075$.

В первый период надвижки, когда пролетное строение входит на пролет, каретка скатывается по канату, а потому сопротивление ее движению значительно падает. Общее сопротивление движению в этот период будет:

$$T = \frac{P'}{R}(f_2 + f_3 r) + f P \cos \varphi - P \sin \varphi, \qquad (84)$$

из чего следует, что в начале надвижки тяговое усилие будет незначительно, и легко можно обойтись подталкиванием пролетного строения сзади.

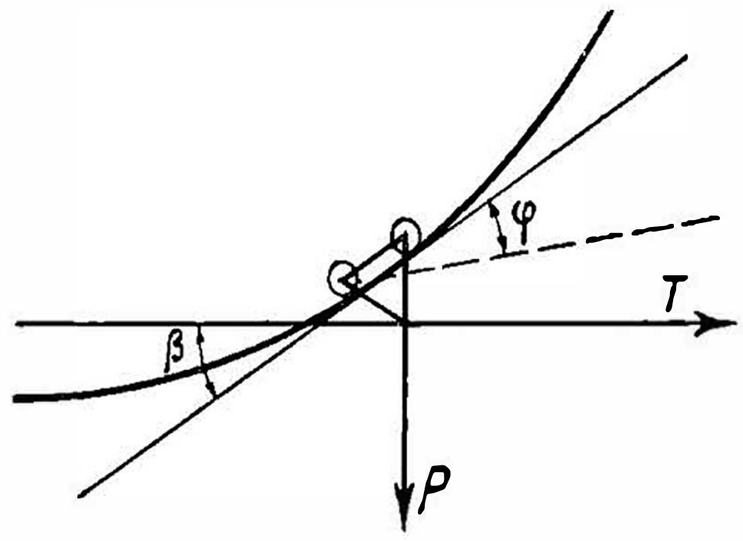


Рис. 306.

Во второй период надвижки, когда пролетное строение подойдет к середине пролета, и каретка начнет подниматься вверх по канату, общее сопротивление определится суммой:

$$T = \frac{P'}{R}(f_2 + f_3 r) + P(f \cos \varphi + \sin \varphi). \qquad (84)$$

Кроме того в зависимости от направления тягового каната, здесь могут развиваться дополнительные сопротивления от нажима самого тягового каната.

Если тяговой канат будет иметь направление под углом β к направлению касательной к кривой каната, то движение будет осуществляться только при условии, если (рис. 306)

$$T \cos \beta \leqslant \frac{P'}{R}(f_2 + f_3 r) + P(f \cos \varphi + \sin \varphi) + f T \sin \beta. \qquad (85)$$

Поэтому следует давать направление тяговому канату возможно близкое к направлению поддерживающего каната, для чего блок тягового каната, изменяющий направление его к лебедке, помещается возможно ближе к месту укрепления поддерживающего каната на опорной раме.

Во всех вышеприведенных формулах тяговых усилий величина φ определяется по наклону касательной к кривой каната, а так как путь, описываемый движением

---

1) Prof. P. Stephan, Die Drahtseilbahnen.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

сосредоточенного груза по канату, наглухо закрепленному к неподвижным рамам, близок к эллиптической кривой, то угол φ определяется по формуле [1]):

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{dy}{dx} = \frac{f(l-2x)}{l\sqrt{xl-x^2}},$$

где x — положение рассматриваемой точки кривой от точек закрепления каната.

Опоры, возводимые для укрепления канатов, служащих для продольных надвижек, проектируются в виде рам прямоугольного или трапецоидального очертания, что позволяет пропускать надвигаемое пролетное строение в отверстие рамы, чем определяется габарит этого отверстия (рис. 302). Ширина ног рам определяется по условиям достаточной устойчивости их против опрокидывающего действия боковых сил: давления ветра на рамы, канаты, пролетное строение и пр. Рекомендуется расчаливать рамы в поперечном направлении канатами со стяжными муфтами, так как этим не только повышается устойчивость рам, но и облегчается выправление их в случае перекоса от неравномерной осадки подошвы одной из ног и так далее.

Высота рам определяется условием всей установки. Она должна быть достаточной, чтобы обеспечить: величину проектной стрелы f провисания каната, величину увеличения Δf стрелы от загружения каната, высоту необходимую для прохода надвигаемого пролетного строения под канатом, с учетом в этой высоте: высоты каретки, длины подвесок пролетного строения к каретке, высоты самого пролетного строения, высоты задней тележки. Все перечисленные выше высоты даются проектом, за исключением величины Δf провисания каната под сосредоточенной нагрузкой, — последняя приближенно определяется по следующим соображениям: если приблизительно длина каната

$$l_1 = l + \frac{8}{3}\frac{f^2}{l}$$

то при удлинении его на величину Δl та же зависимость выразится так:

$$l_1 + \Delta l = l + \frac{8\,(f+\Delta f)^2}{3 \quad l}$$

в которой Δf—увеличение стрелы, вызываемое удлинением Δl каната.

Отсюда получается, что

$$\Delta f = \frac{3}{16}\frac{l}{f}\Delta l \qquad (86)$$

Входящее в это выражение удлинение Δl каната может быть определено из условия

$$\Delta l = \frac{Sl}{E\omega} = \frac{P.\,l}{2E\omega}\sqrt{1+\frac{l^2}{f}}$$

где S—усилие в канате, взятое по формуле 78.

При определении этой высоты необходимо предусматривать свойство витых канатов получать некоторое удлинение при нагрузке за счет уплотнения проволок, выпрямления выгибов и пр. Так как предусмотреть это удлинение расчетом нельзя, то рекомендуется подвергать канат перед укладкой растяжению нагрузкой, превышающей расчетную (см. § 47 Витые канаты). Если же этого сделать нельзя, то необходимо предусмотреть возможность такого удлинения каната назначением запаса в высоте опор от 0,5 до 1 *м*.

Конструкция самих рам ничем не отличается от рам обычного типа. Целесообразно в ногах рамы предвидеть устройства для установки домкратов на случай

1) В действительности, путь описываемый сосредоточенным грузом при движении по канату, дает кривую более сложную, чем эллипсис, но близкую к ней. Framke, Untersuchen an ausgeführten Kabelkranen mit besonderer Berüksichtigen der Theorie des elast. Seilen. 1923.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

необходимости выправления возможных перекосов рамы вследствие просадки грунта. Так как в большинстве случаев рамы приходится устанавливать на насыпи, то не следует допускать больших давлений на грунт под основанием ног рамы.

Расстояние между опорными рамами по оси моста в большинстве установок подобного рода делается в полтора раза и даже в два раза больше пролета, что

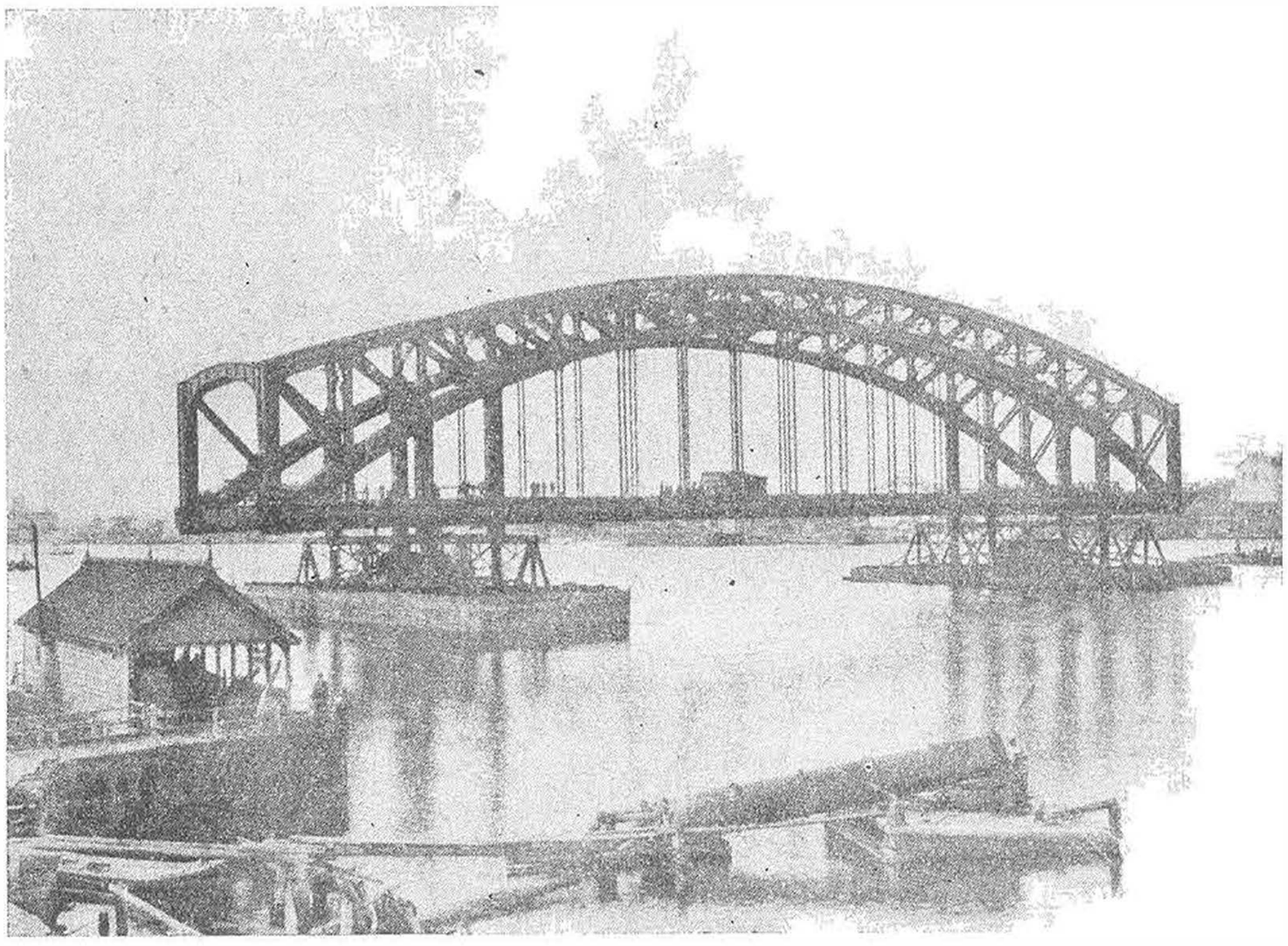


Рис. 307. Подвозка пролетного строения на баржах на мосту через р. Неву.

оправдывается удобством производства работ, так как при таком устройстве часть каната, по которой должно иметь движение каретки, имеет мало изменяющуюся кри-

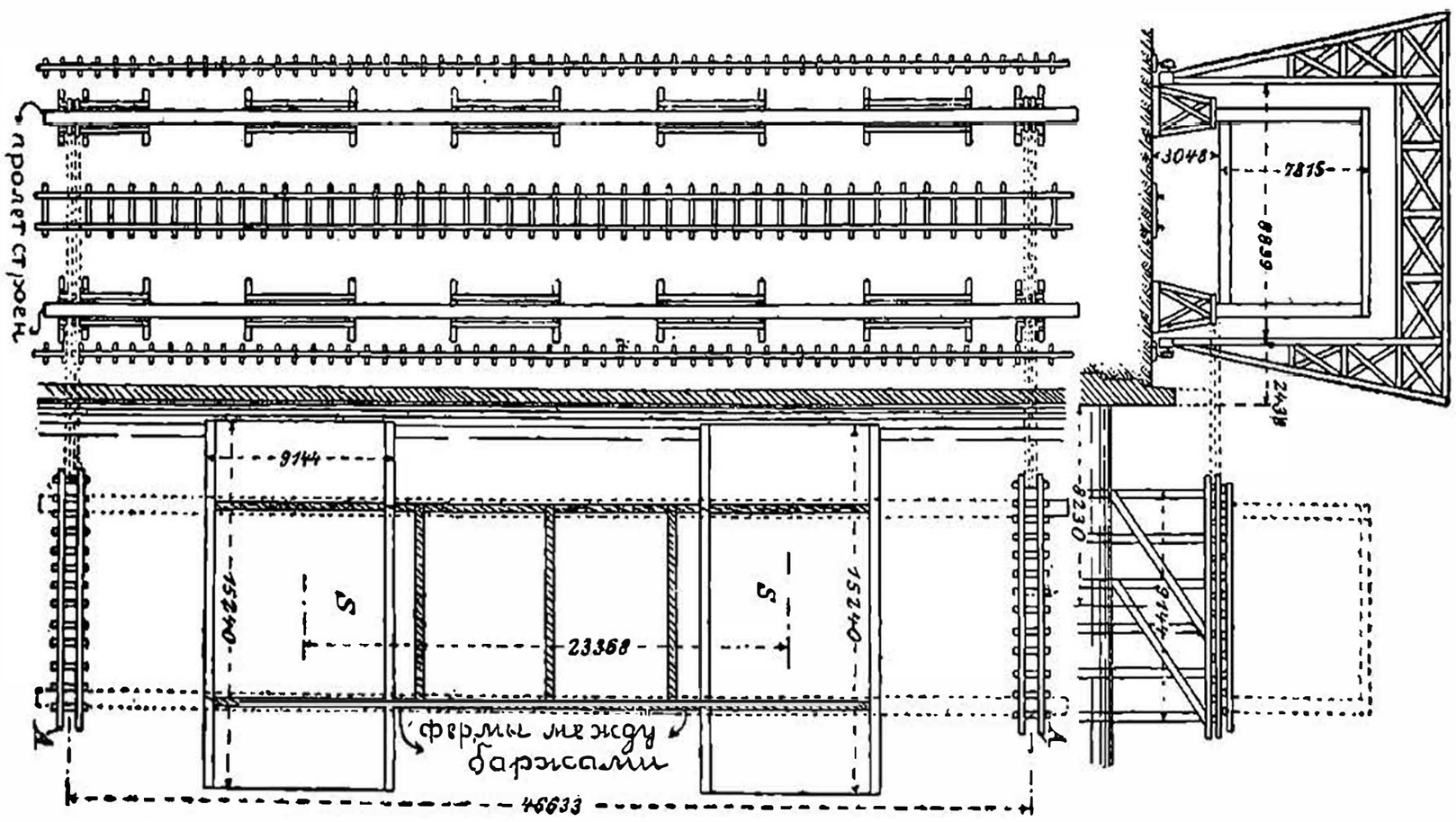


Рис. 308. План расположения места сборки и погрузки на баржи пролетных строений шоссейного моста в Детруа.

визну, что влияет на длину подвесов и на величину тягового усилия. Однако такое увеличение расстояния резко отзывается на размерах каната и высоте опорных рам; так что выбор этого расстояния всегда должен быть проработан в проекте установки.

§ 36. Подвозка и установка пролетных строений пловучими подмостями. По сравнению с продольной надвижкой пловучими опорами метод непо-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

средственной подвозки ими (рис. 307) имеет то преимущество, что пролетное строение с момента подъема его пловучими подмостями следует все время за их движением и, не будучи связано с постоянными точками опор или земли, может быть даже снесено ветром и течением вместе с пловучими опорами, без опасения быть опрокинутым. Вместе с тем применение баржей сохраняет за собой в силе все недостатки, связанные с применением пловучих опор с высокорасположенным над ними пролетным строением, а именно: малую остойчивость, большую парусность и пр.

Остойчивость пловучих опор увеличивается теми же способами, как это было указано в описании применения их для продольных надвижек (§ 34). Что касается парусности, то единственной мерой ограждения может быть уменьшение поверхности, подвергающейся действию ветра, что, конечно, возможно только до известного минимума, а потому, как правило, надо принять производство надвижек пловучими опорами в тихую погоду. Так, например, перевозка пролетных строений Охтенского моста на р. Неве была рассчитана на скорость ветра не свыше 5 *м/сек*, т. е. на давление около 4 *кг/м*^{2}.

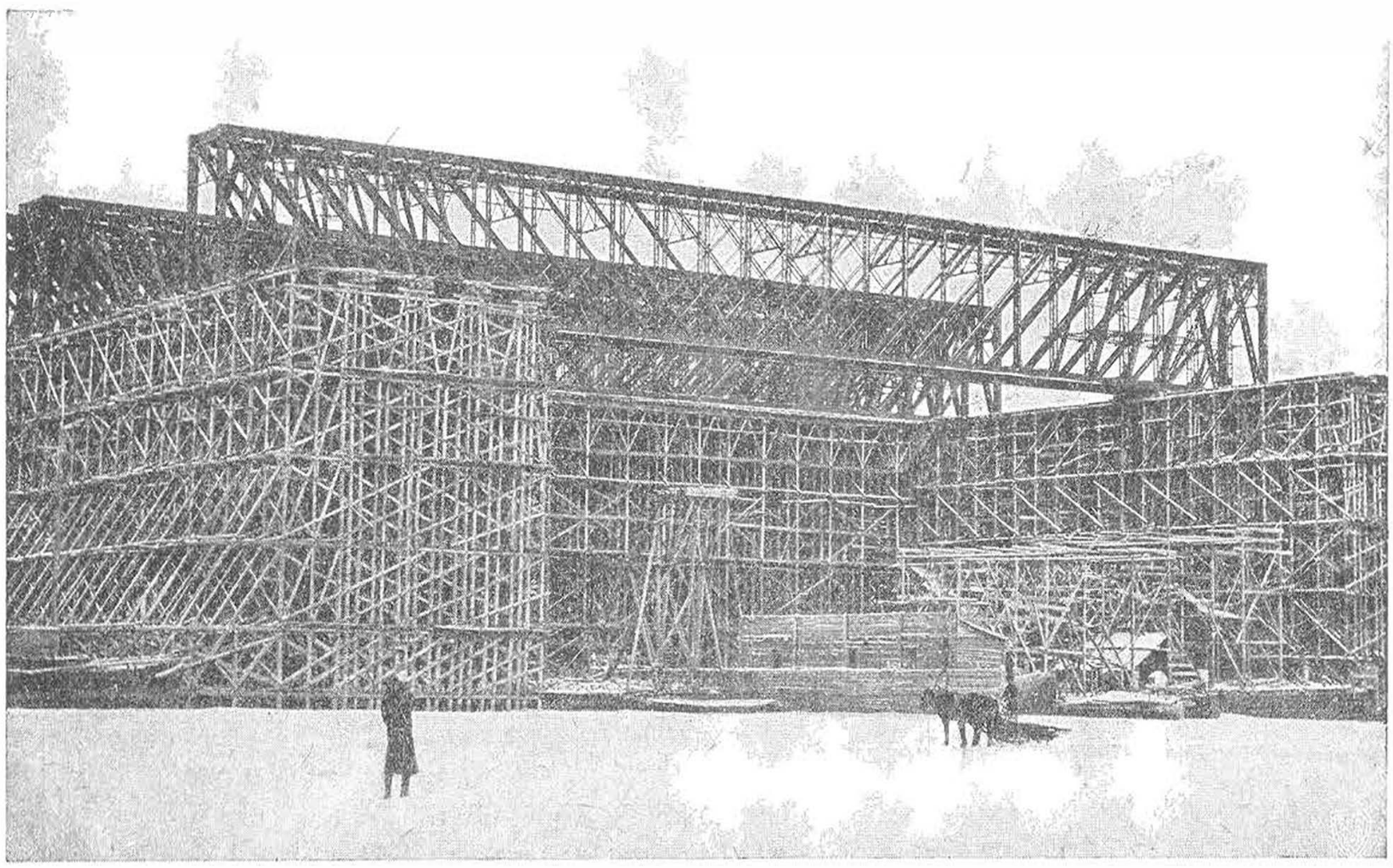


Рис. 309. Подмости для сборки и погрузки пролетных строений моста через р. Волгу.

Обычно лучшими часами для перевозки считаются ранние утренние часы, когда менее всего можно ожидать резких изменений ветра. Во всяком случае, рекомендуется время перевозки устанавливать по согласованию с метеорологическими пунктами. Известны случаи из практики, когда, несмотря на осторожный выбор времени перевозки, приходилось останавливать ее вследствие сравнительно небольшого увеличения ветра [1]).

Во избежание излишних подъемов при установке на опоры пролетные строения до погрузки их на пловучие приспособления собираются на площадках, располагаемых примерно в уровне проектного положения пролетного строения на опорах, Если берега реки настолько высоки, что позволяют удовлетворить этому условию, то сборочные площадки устраиваются непосредственно на них; в противном случае, для сборки возводятся специальные подмости.

В первом случае для погрузки пролетных строений на пловучие приспособления делаются специальные подмости, своим долевым направлением образующие с местом сборки как бы букву П (рис. 308). По этим подмостям — *А* укладываются

---

[1]) Такие случаи имели место при перевозке пролетных строений моста через р. Волгу у Сызрани и моста через р. Волгу у Свияжска и др.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

пути, служащие для передвижения пролетного строения. Пловучие приспособления (*S*) вводятся между этими подмостями и по мере откачивания водного баласта воспринимают на себя пролетное строение. Поднятое на пловучие опоры пролетное строение своими концами выступает за пределы их, что дает возможность ввести и установить пловучие опоры в промежутке между мостовыми опорами так, чтобы свешивающиеся концы пролетного строения поместились над своими постоянными опорами. Соответственно этому расстояние между подмостями для передвижки про-

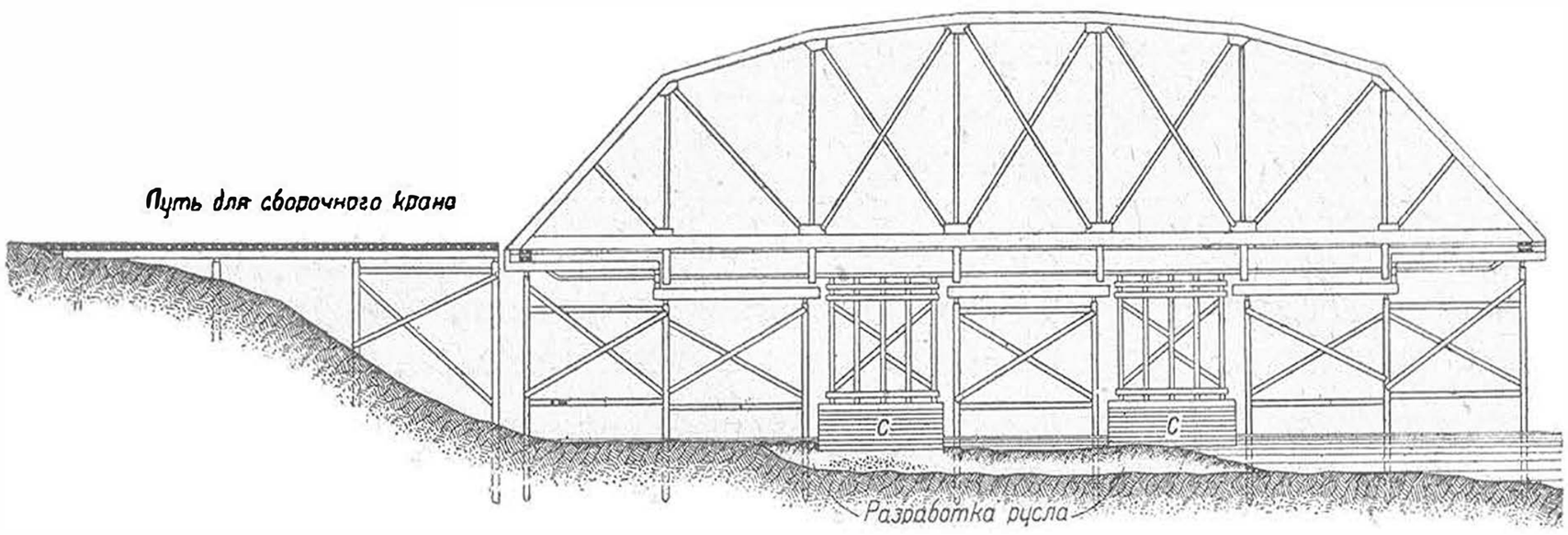


Рис. 310. Подмости для сборки и погрузки пролетных строений моста на р. Мирамичи (Нью-Кестль).

летного строения и расположение баржей пловучих опор между ними выбираются с таким расчетом, чтобы не стеснялась установка последних в пролете между мостовыми опорами. Общая конструкция (рис. 309) как площадки для сборки, так и подмостей для поперечной передвижки пролетных строений ничем не отличаются от описанных в § 23.

Когда сборка пролетных строений производится на подмостях, в них оставля-

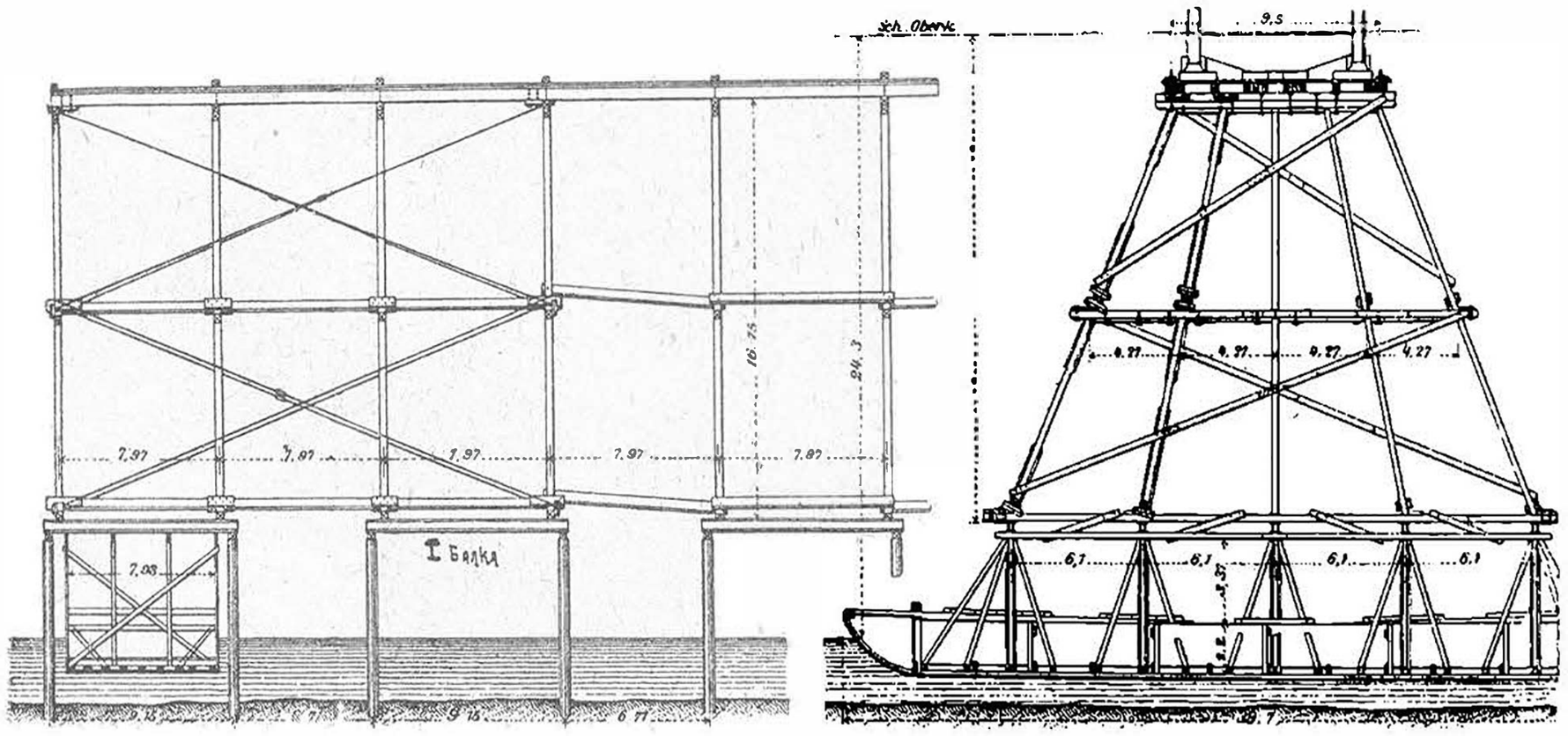


Рис. 311. Подмости для сборки и перевозки пролетных строений моста через р. Охио близ Питсбурга.

ются отверстия, достаточные для введения пловучих опор *C* (рис. 310). Эти отверстия перекрываются балками, обыкновенно металлическими, под которые непосредственно подводятся пловучие опоры.

Показанные на рис. 310 подмости служили как для сборки пролетных строений, так и для их перевозки. Для устройства подмостей вдоль берега был забит ряд свай; расстояние между поперечными рядами свай было сделано переменным — 6,71 *м* и 9,15 *м*. Сваи на высоте 4,1 *м* над водой были срезаны и перекрыты насадками, по которым укладывались двутавровые железные балки; на этих последних были устроены подмости. Конструкция собственно подмостей понятна из чертежа. По окончании сборки пролетного строения на этих подмостях, в промежутки

НБ УДУНТ (ДІІТ)

между свайными рядами, шириной 9,15 *м* были введены баржи размерами 39,7 · 7,95 $м^2$ (рис. 311). На баржах было установлено по 5 козел, согласно расположению свай в поперечном ряду. По откачке воды из баржей, козелки поднимали на себя балки, а вместе с ними подмости с пролетным строением, которое в таком виде доставлялось к месту установки на опоры (рис. 312).

Если сборочные подмости используются для сборки нескольких пролетных строений, то, во избежание задержки в производстве работ, на баржах возводятся особые подмости, высотой соответствующей высоте сборочных, которые, будучи введены в отверстие подмостей, непосредственно принимают на себя пролетное строение (рис. 307) и таким образом освобождают сборочные подмости для сборки следующего пролетного строения.

Высота сборочных подмостей и подмостей на пловучих приспособлениях выбирается с таким расчетом, чтобы в момент установки пловучих опор между опорами моста низ пролетного строения свободно проходил над подферменными камнями с установленными на последних опорными частями, для чего достаточно запаса — 0,10 до 0,15 *м*.

Если обозначить:

A — отметку верха подферменных камней,

B — отметку низшего горизонта воды в период установки,

h — высоту возможного колебания уровня воды,

h_1 — высоту опорных частей,

h_2 — высоту клеток или подвижных приспособлений для передвижки пролетного строения на пловучие опоры, то высота H — сборочных подмостей от среднего уровня воды будет равняться:

$$H=(A+h_1+0{,}15)-\left(B+\frac{1}{2}h\right)-h_2 \qquad (87)$$

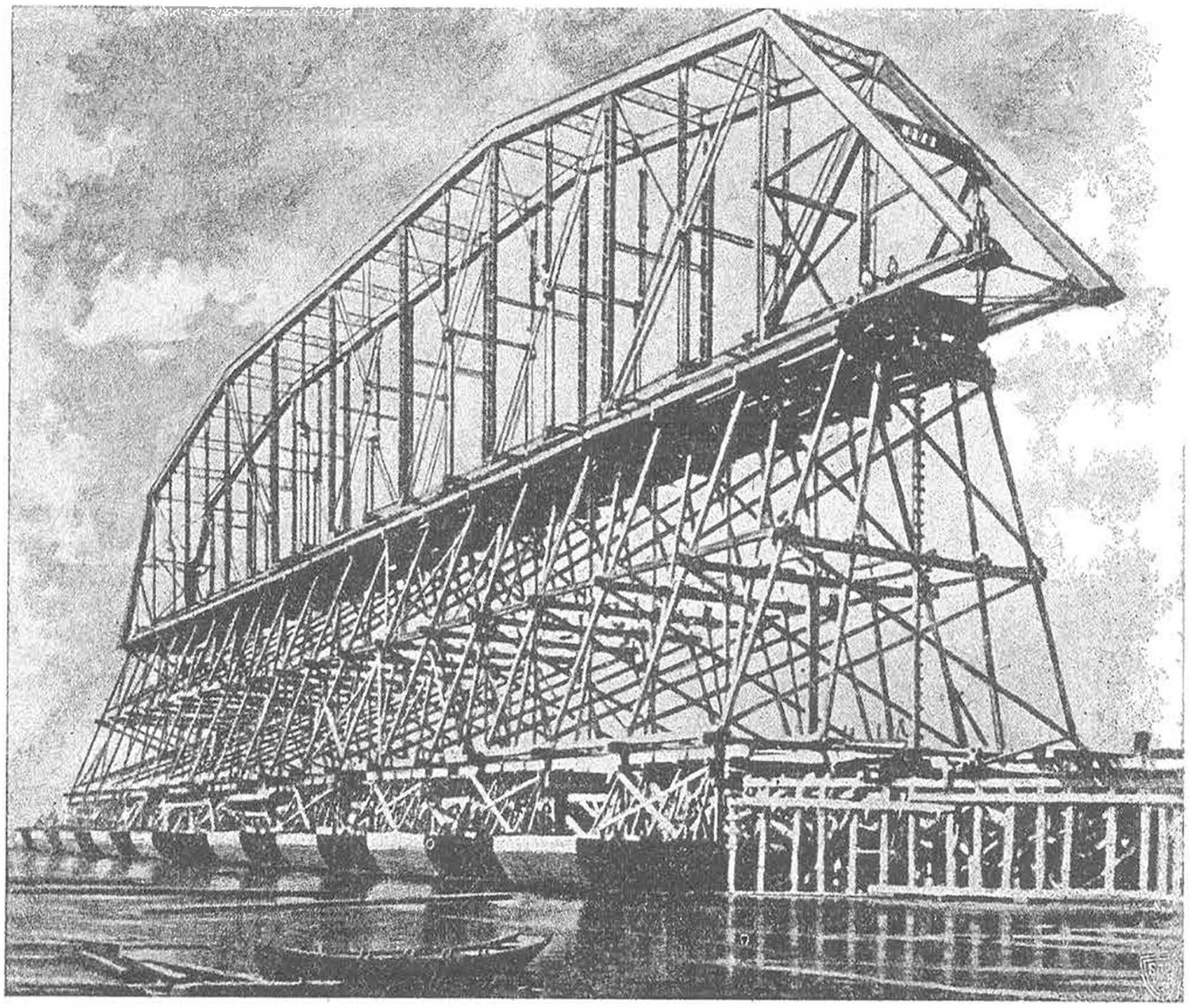


Рис. 312. Перевозка пролетных строений моста через р. Охио близ Питсбурга.

Высота подмостей пловучих опор в случае колебания уровня воды в реке регулируется изменением количества водного баласта в баржах, количество которого рассчитывается по формуле (63).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Число баржей в пловучих опорах определяется в зависимости от подъемной силы их по формуле (71). По своей прочности баржи должны удовлетворять условиям изгиба от давления воды и ветра (формулы 73 и 74), против изгибающего действия которых они усиливаются балками и фермами жесткости.

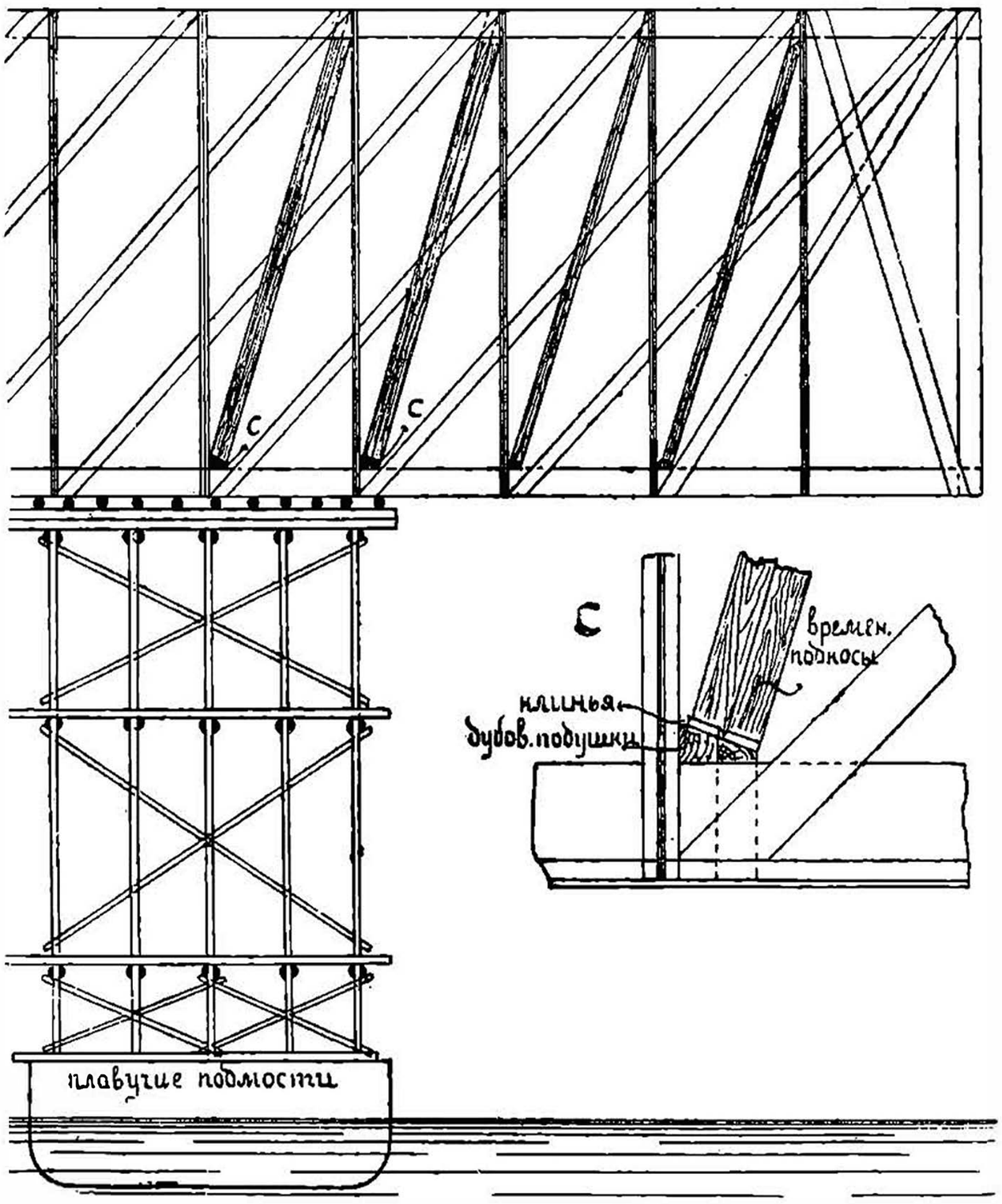


Рис. 313. Усиление ферм для перевозки их на баржах (р. Волга).

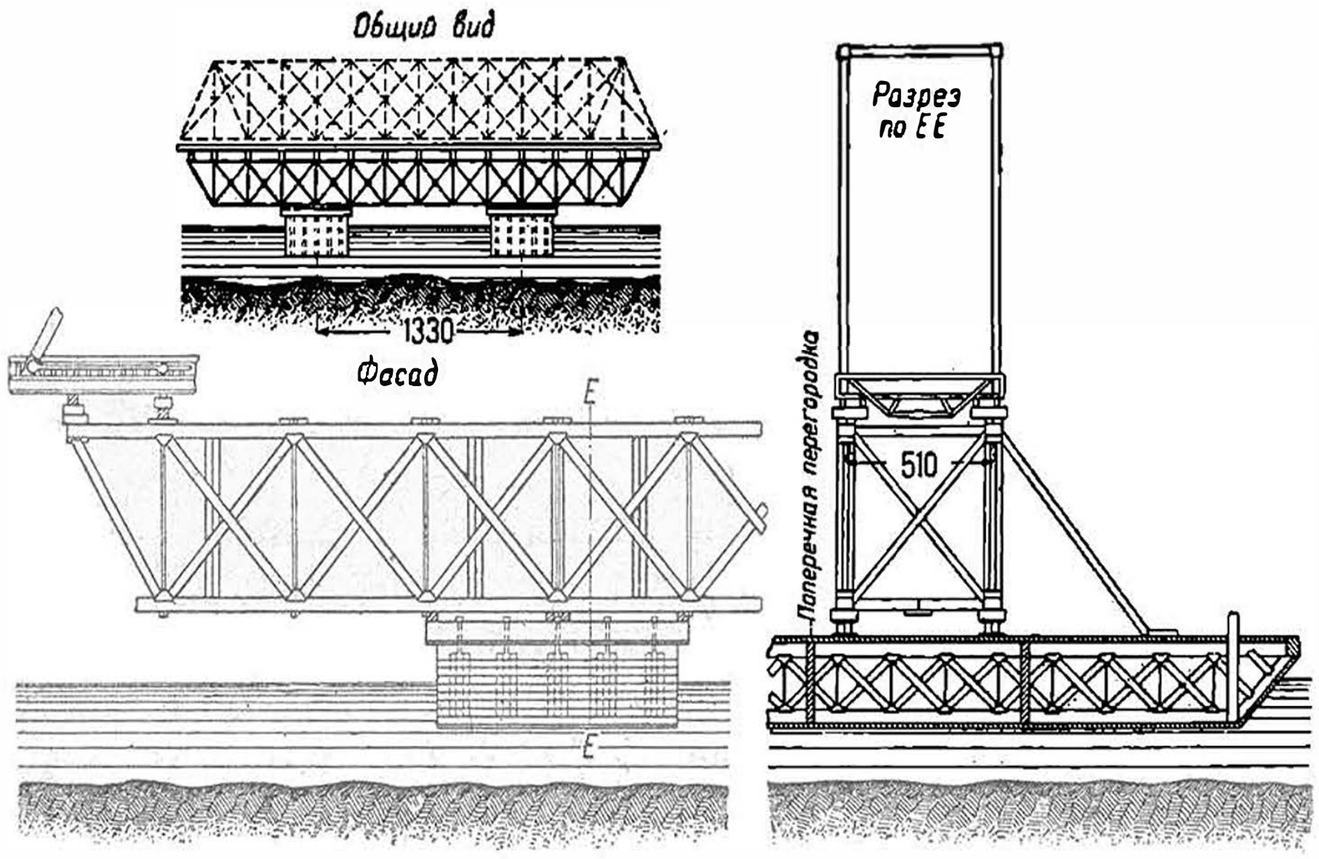


Рис. 314. Баржи с фермами Гау для перевозки пролетных строений моста через р. Мирамичи.

При большом числе баржей они располагаются непосредственно одна возле другой и перекрываются общими подмостями, образуя нечто жесткое и остойчивое

НБ УДУНТ (ДІІТ)

как в продольном, так и в поперечном направлениях (рис. 312). Если же для подъемки пролетного строения достаточно двух барж, то их раздвигают возможно ближе к концам пролетного строения (рис. 307).

Помещение пловучих опор возможно ближе к концам пролетного строения важно в том отношении, что этим уменьшается длина свешивающегося конца ферм. Концы ферм под действием собственного веса провисают и несут дополнительные напряжения, в устранение чего фермы со слабыми сечениями решетки усиливаются постановкой деревянных распорок (рис. 313), или под них подводят специальные фермы жесткости (рис. 314).

Восприятие пловучими опорами на себя пролетного строения и опускание его на опоры моста связаны с откачиванием и накачиванием водного баласта в баржах. Следовательно и условие равномерной работы пловучих опор связано с условием равномерного изменения количества водного баласта в них. С этой целью каждая баржа снабжается рядом непроницаемых перегородок, регулирующих распределение водного баласта по всей площади их. Каждое отделение всех барж и понтонов снабжается особыми насосами для откачки воды. Равномерность откачки и заполнения их баластом наблюдается по специально установленным в них рейкам.

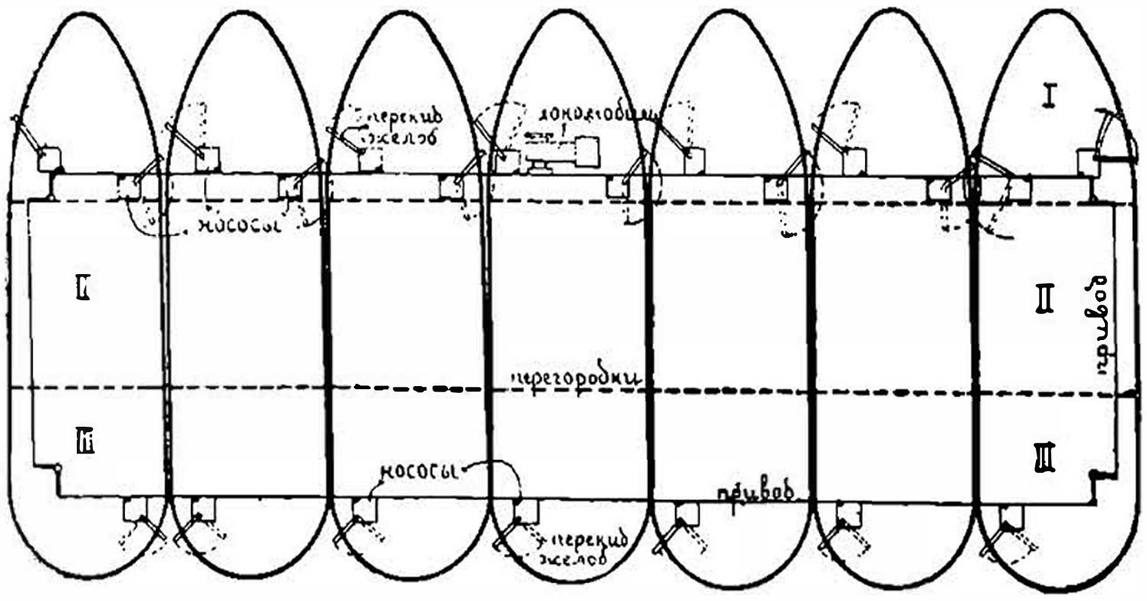


Рис. 315.

При большом числе пловучих опор, регулирование уровня воды требует особых приспособлений и тщательного надзора. Сравнительно просто регулирование уровня было выполнено при перевозке пролетных строений моста через р. Волгу близ Сызрани, где требовалось производить одновременную откачку воды в семи баржах (рис. 315). Каждая из барж имела три отделения с отдельными насосами для откачивания воды. Рукоятки всех насосов были соединены между собой проволокой с коленчатой передачей на поворотах и приводились в движение одним и тем же локомобилем, чем достигалась полная равномерность в работе. Если замечалось, что в каком-либо отделении откачка идет более интенсивно, чем в других, то перекидной жолоб соседних насосов направлялся не в реку, а в это отделение, и этим приливом воды восстанавливалось равновесие уровней.

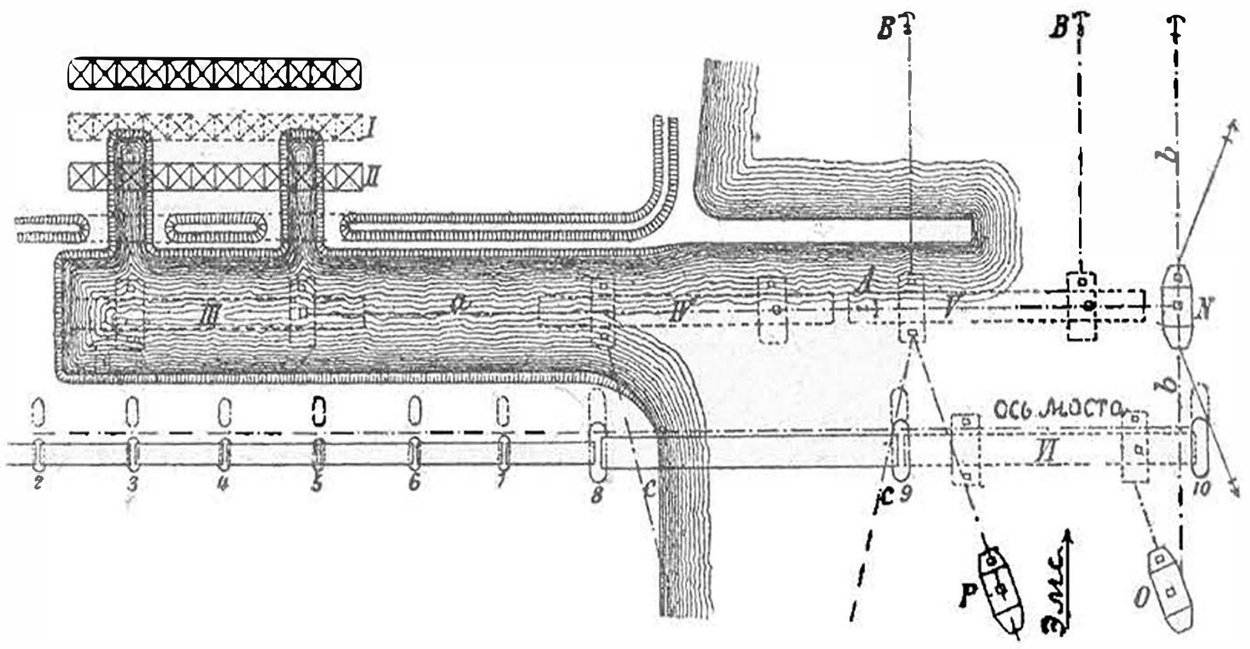


Рис. 316. План перевозки пролетных строений для моста через р. Эмс.

Для налива воды в баржи или проделывают отверстия в боках их с плотными затворами, изменяя степень открытости которых, регулируют уровень прилива воды в отделениях, или, что проще, для налива пользуются теми же насосами, опуская всасывающие рукава в реку и регулируя притоки воды перекидными жолобами.

Пловучие опоры с пролетным строением доставляются к месту установки или пароходами (см. рис. 318) или помощью лебедок и воротов, путем расчали-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

вания за неподвижные точки. На рис. 316 показана схема такого перевода барж. Последовательное положение барж и пролетного строения обозначено римскими цифрами. Перевод из III положения в V сделан канатом *a*, закрепленным в неподвижную точку *N*; такие же точки *P* и *O* служат для перевода барж в положение VI. Канаты с якорями *B* предназначаются для отвода барж назад в случае перехода ими во время установки оси моста. Канатом *c* регулируется положение барж вдоль оси моста.

На рис. 317 показана схема перевода пловучих опор при помощи неподвижных якорей, заложенных в лед, примененная на работах при установке одного из пролетных строений на Охтенском мосту на р. Неве; на этих работах перевозка была произведена по каналам, вырубленным во льду. Поворот всей системы на 90° был сделан при помощи якорей *A* и *E*, путем вращения вокруг закрепленной точки *Д*. Долевое движение было произведено помощью канатов, закрепленных к опорам моста с одновременным расчаливанием к якорям *Л*.

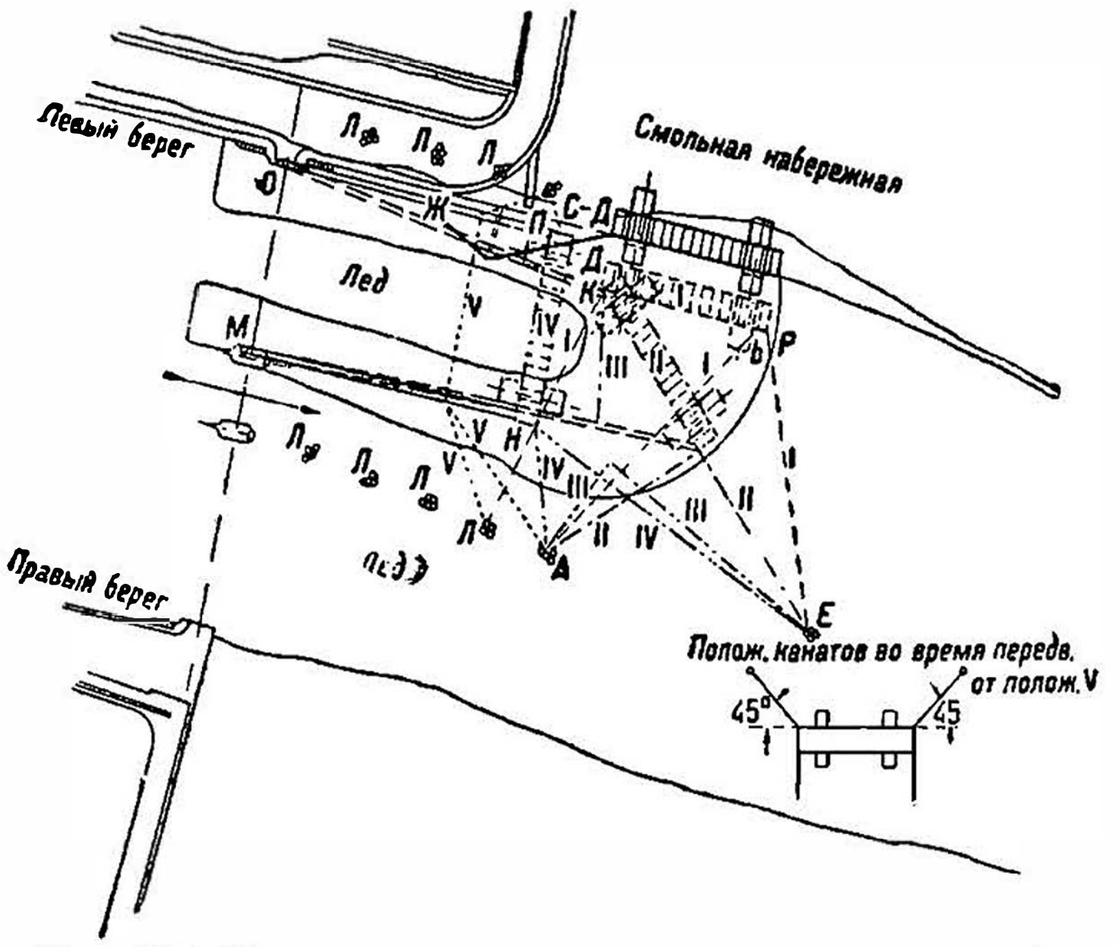


Рис. 317. План перевозки во льду пролетных строений для моста через р. Неву.

При наводках помощью пароходов рекомендуется всегда иметь неподвижно заложенные якоря, к которым расчаливаются пловучие опоры, и к которым может быть сделано быстро закрепление барж в случае какой-либо аварии на пароходе.

ТАБЛИЦА 19.

Подвозка и установка пролетных строений пловучими опорами.

Мост	Пролетное строение		Баржи		Тяговые приспособления	Длина перевозки в *м*	Время перевозки в часах	Время в часах	
	Длина *м*	Вес *т*	Число	Подъемная сила				Снятие с подмостей	Установка на опоры
Через реку Волгу .	109	595	7	Всех 1361	Пароходы	400	6—8	—	1—1,5
Через реку Волгу .	158	1468	6	Каждая размерами		220	2,5	—	7 ч.
Через реку Волгу .	158	1468	6	55,6 12 $м^2$	Пароходы	400	7,75	—	5 ч.
Через реку Неву . .	134,3	3280	2	Каждая 2230	Расчал.	230	7,5	0,3	—
Через реку Неву .	134,3	—	2	—	Пароходы	380	12	2,0	4

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Провод пловучих опор по руслу в тихую погоду не представляет особых трудностей; затруднение представляет введение и установка их между опорами моста, где всякое неравномерное движение может повлечь удар пловучих опор или пролетного строения об опоры моста и вызвать этим повреждение их вплоть до опрокидывания. Неравномерность в движениях чаще всего можно ожидать при наводке пловучих опор по течению реки, когда пловучие опоры, независимо от тяги канатов, смещаются струями воды; поэтому вообще подобного рода наводки делаются против течения. Регулирование и точная установка пловучих опор в отверстие моста производится, кроме тяговых канатов, боковыми канатами, укрепляемыми или на берегах реки к свайным кустам, или на промежуточных опорах.

Установленное на пловучих опорах в отверстие моста пролетное строение опускается на опоры путем заполнения баржей или понтонов водным баластом.

Характеристикой времени, затрачиваемого на перевозку пролетных строений, могут служить данные о производившихся работах, приведенные в таблице 19.

Ниже приведены отчетные данные о стоимости работ по сборке и надвижке пролетных строений одного из мостов через р. Волгу.

Для производства сборки на этом мосту, состоящем из 6 больших пролетов (158,4 *м*), подмости для сборки были сделаны в 3 пролетах подряд. Собранные на них пролетные строения по очереди продвигались на подмости 3-го пролета, откуда по очереди снимались на пловучие опоры и перевозились поперек реки на остальные пролеты, где устанавливались. Освободившиеся подмости были использованы для сборки остальных 3-пролетных строений с установкой их тут же на опоры.

Стоимость работ на тонну.

Наименование работ	3-пролетных строений, собранных на подмостях и тут же установленных	3-пролетных строений, собранных на подмостях и перевезенных
Разгрузка, подача, сборка, клепка и пр. .	18 р. 43 к.	18 р. 43 к.
Устройство подмостей . .	22 р. 94 к.	—
Постройка пловучих опор и оборудование их .	—	17 р. 72 к.
Передвижка и перевозка в среднем .	—	3 р. 94 к.
Общие накладные расходы . .	24 р. 28 к.	24 р. 28 к.
Итого . .	65 р. 55 к.	64 р. 37 к.

Небезынтересными представляются данные того же отчета о стоимости передвижки и перевозки отдельных пролетов.

	Передвижка на длину	Перевозка на длину	Стоимость в руб.	
			Всего	На тонну
II пролет .	127 *м*	474 *м*	4 683	3 р. 17 к.
I пролет	196 *м*	78 *м*	6 986	4 р. 73 к.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Из сопоставления длин передвижки и перевозки и по изменению стоимости можно видеть, что надвижка по подмостям обходится значительно дороже, чем собственно перевозка на пловучих опорах.

Преимущество подвозки пловучими опорами перед остальными видами надвижек состоит в возможности применения ее без особых осложнений не только для ферм с прямыми нижними поясами, но и для ферм с криволинейными поясами, в том числе и арочных.

В противоположность к балочным пролетным строениям, которые подвозятся к месту установки и устанавливаются всегда в целом виде, арочные пролетные строения собираются и доставляются к месту установки по частям (рис. 318). Для установки частей арок в отверстии моста возводятся специальные подмости, в виде временных опор, на которых части арок соединяются между собой (рис. 319).

Конструкция подмостей как на пловучих опорах, так и в отверстии моста в основе ничем не отличается от описанных ранее; в деталях она видоизменяется

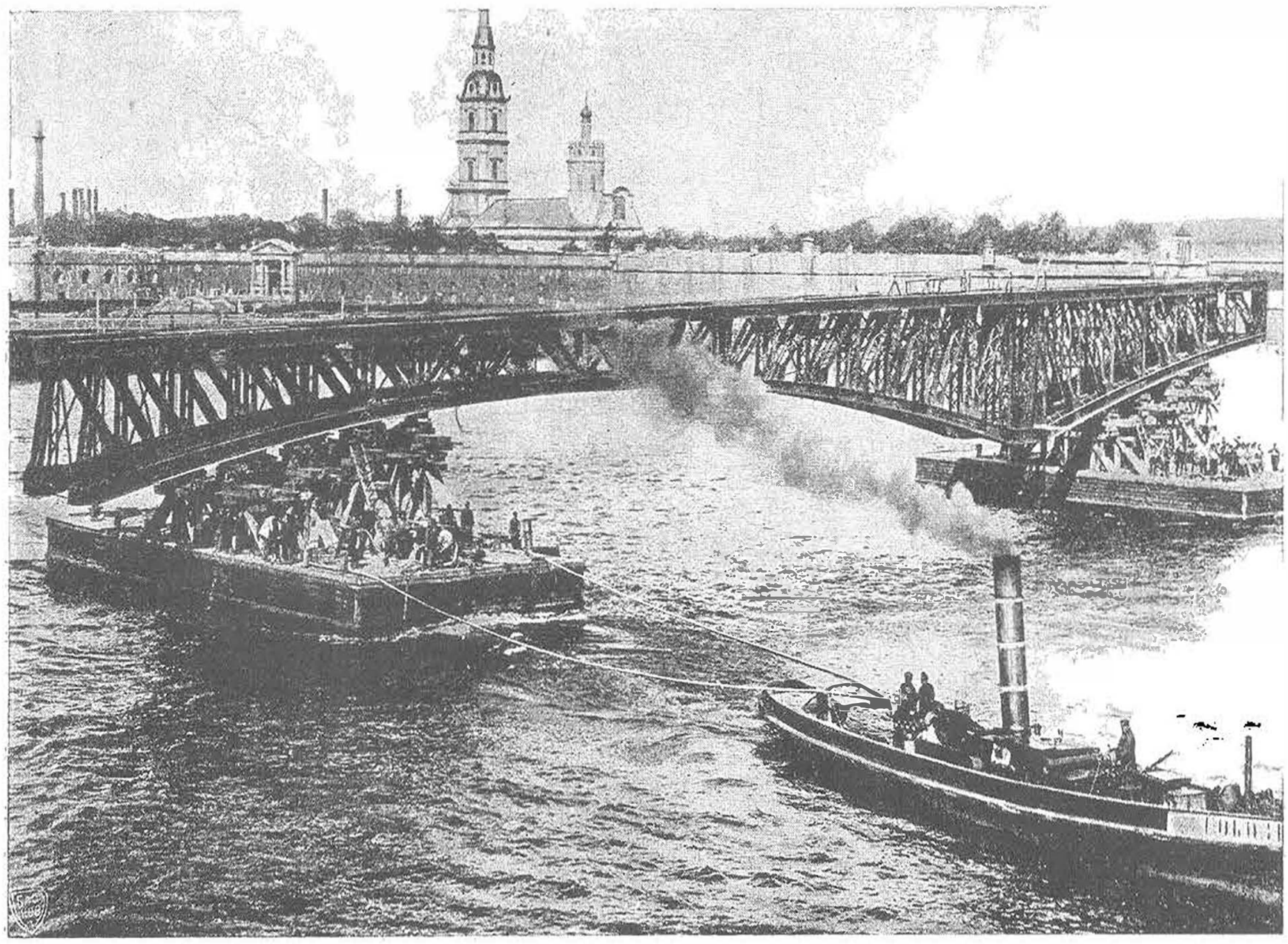


Рис. 318. Перевозка пролетных строений арочного моста через р. Неву.

в зависимости от конструкции арки и способа установки ее на место. Арки с небольшой стрелой подъема в ключе доставляются к месту установки в уровне своего положения на опорах, так что высота подмостей пловучих и временных опор изменяется по их положению под аркой соответственно ее очертанию (рис. 319). При сохранении этого условия в арках с большой стрелой подъема подмости пловучей опоры, поддерживающей ключевую часть, имели бы большую высоту и были бы мало остойчивы; в виду этого такие арки доставляются к месту установки на пловучих опорах с пониженными подмостями и уже на месте установки поднимаются до проектной высоты, для чего приспособляются временные подмости в отверстии моста (рис. 320 и 321).

Вопрос о подъемке подвезенных частей арок на требуемую высоту может быть разрешен двумя путями: или арки поднимаются сбоку от места установки и после подъемки передвигаются на место их установки, или баржи с арками заводятся

НБ УДУНТ (ДІІТ)

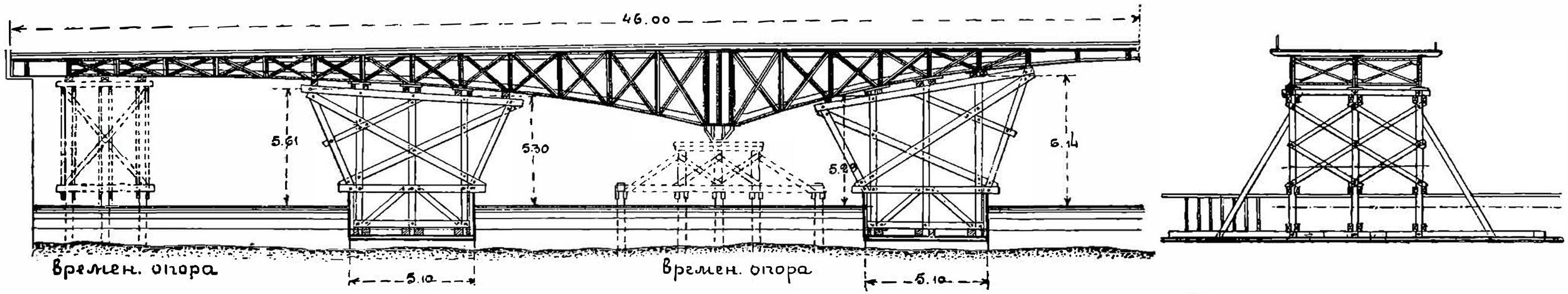


Рис. 319. Подмости для установки пролетных строений арочного моста через р Неву.

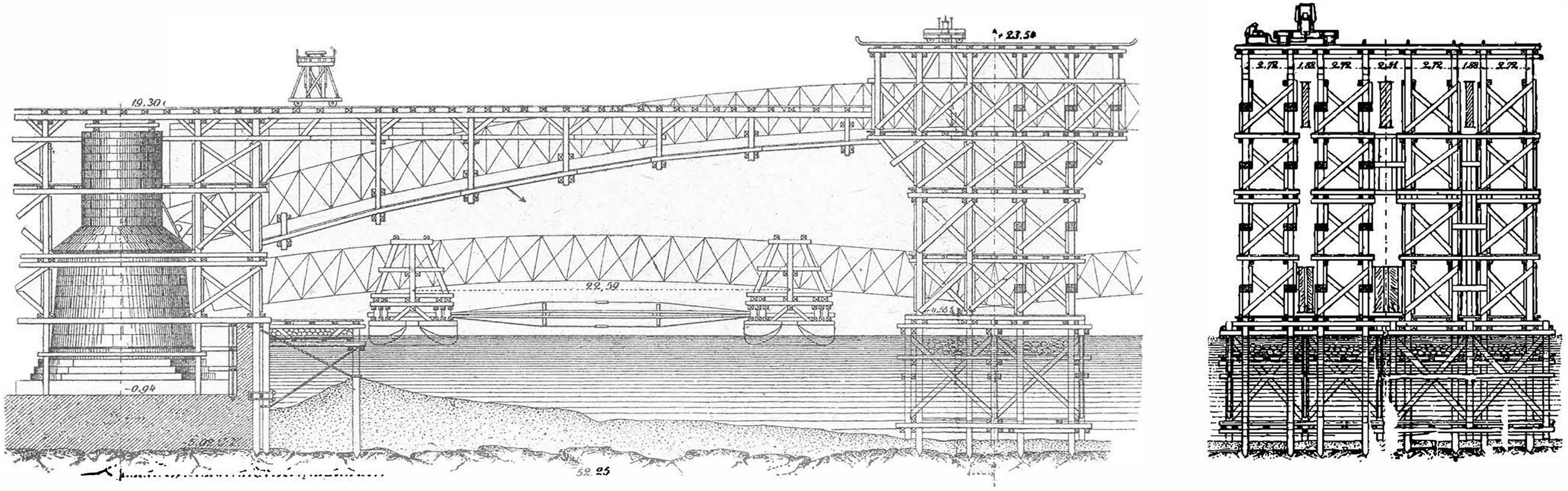


Рис. 320. Подмости для установки на место арочных ферм моста через р. Рейн около Кобленца.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

внутрь подмостей (рис. 321) и непосредственно путем подъемки устанавливаются на место.

При подъемке сбоку вопрос осложняется необходимостью уширения дорого стоящих подмостей и производством работ по поперечной передвижке.

При подъемке внутри подмостей работа осложняется необходимостью заводки частей арки в отверстие подмостей. Из плана рис. 321 можно видеть, что трудность вписывания габарита арки заставляет уширять отверстие подмостей для подъемки и этим увеличивать пролет балок, служащих для подъемки частей арки на требуемую высоту. Подъемка частей арок производится помощью домкратных винтов и гидравлических домкратов прессов, помещаемых обычно на верхней площадке подмостей, с каковою целью уровень последней делается несколько выше пролетного положения арочных ферм[1]), что необходимо для установки и работы подъемных механизмов и их перезарядки во время работы. Приемы производства такой подъемки и ее установки описаны ниже в § 39, там же показан более детальный чертеж устройства временной опоры, данной схематически на рис. 321, и приспособление самой арки к подъемке.

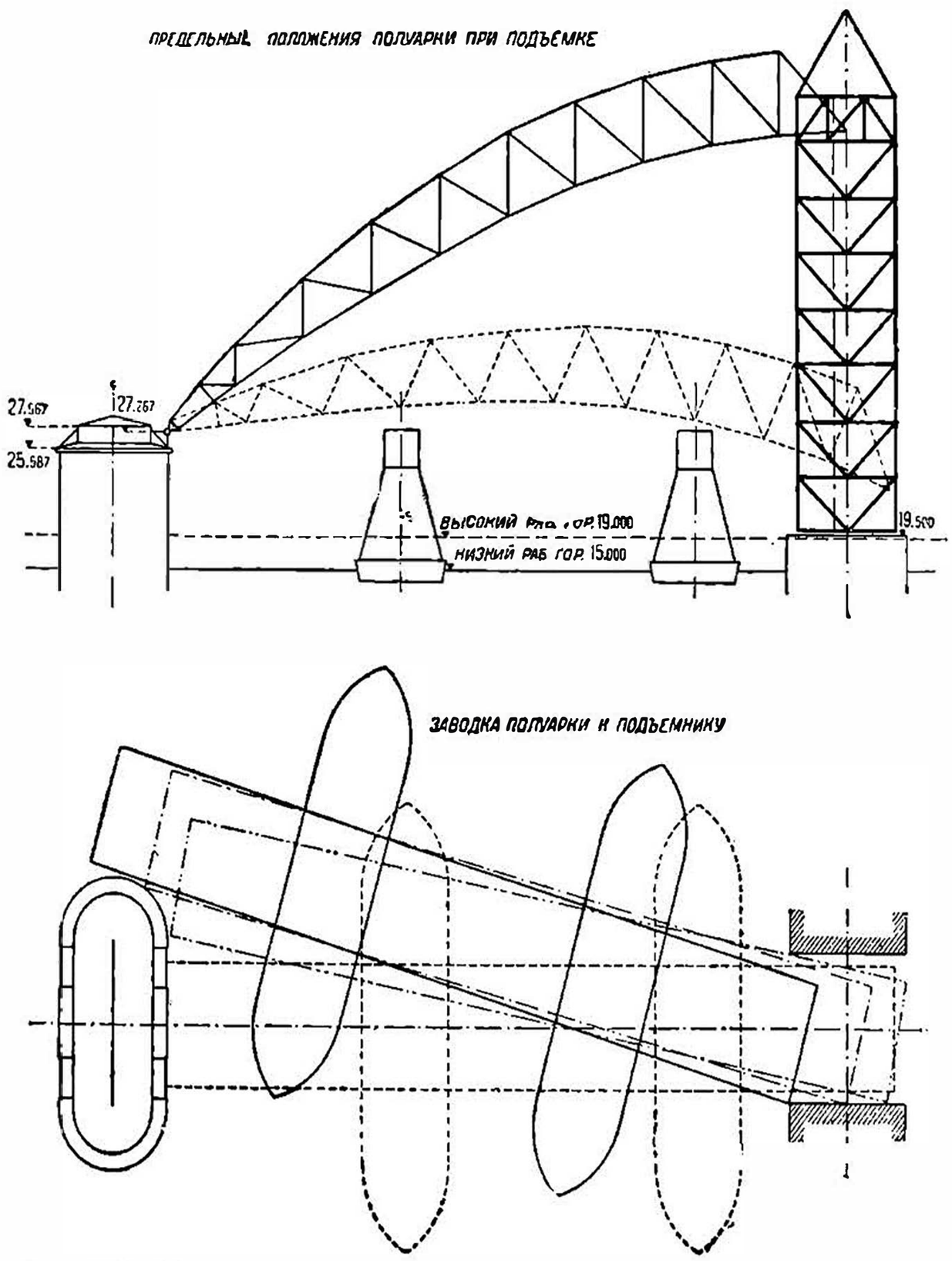


Рис. 321. Подмости для установки арочного пролетного строения на мосту через р. Днепр.

§ 37. Поворачивание пролетного строения вокруг вертикальной оси. Метод установки пролетных строений поворачиванием их вокруг вертикальной оси отличается от других видов надвижек тем, что в движении находится только один конец пролетного строения, тогда как другой конец его сохраняет свое положение над опорой моста (рис. 322).

В зависимости от расположения неподвижной точки, проекции оси вращения, различаются два случая вращения.

1. Когда ось вращения лежит на продольной оси пролетного строения.

2. Когда ось вращения лежит на продольной оси одной из ферм пролетного строения.

В первом случае (рис. 323) все пролетное строение поддерживается в трех

---

[1]) При установке арочных ферм моста через р. Рейн на опоры, по ним были сделаны легкие подвесные подмости, служившие для движения сборочных кранов и сборки проезжей части моста (рис. 308).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

точках A, B и C, одна из которых представляет собою ось вращения, две другие, расположенные на другом конце пролетного строения, лежат на дуге круга, описанной из первой точки опоры радиусом

$$r=\sqrt{l^2+\frac{1}{4}b^2}.$$

Во втором случае (рис. 323b) пролетное строение имеет также три точки опоры A, B и C, из которых одна неподвижная — проекция оси вращения, другая с того же конца пролетного строения находится под другой фермой и лежит на дуге круга, описанной радиусом $=b$ из точки C, третья находится под другим концом пролетного строения и лежит на дуге круга, описанной из точки вращения радиусом

$$r=\sqrt{l^2+\frac{1}{4}b^2}.$$

В первом случае движение происходит по одной дуге, и смещение пролетного строения вследствие неровности пути возможно только вдоль продольной оси его Так как эти смещения невелики по сравнению с радиусом дуги, то ось вращения устанавливается неподвижно, смещение же обеспечивается скольжением катков и колес поперек рельс и деформациями в подмостях, поддерживающих пролетное строение на подвижных приспособлениях.

На рис. 324 показана конструкция неподвижной оси вращения, примененной для поворачивания пролетного строения через р. Сев. Эльф (Швеция). Осью вращения служит стул со сферической вершиной, на которой помещается пята вращения. Устройством сферической пяты обеспечивается не только вращение, но и возможность колебаний пролетного строения в вертикальной плоскости на случай вертикальных смещений двигающегося конца. Стул пяты вращения укрепляется неподвижно в кладке устоя.

Размеры сферической поверхности пяты и стула определяются из условия сопротивления их смятию под действием вертикальной нагрузки — A, что удовлетворяется условием (рис. 325), что сумма вертикальных давлений — $n\cos\varphi$ на элементарные площадки — $d\omega$ сферы должна равняться давлению — A, т. е.

$$A=\iint n\cos\varphi\, d\omega, \tag{88}$$

где n — напряжение нормальное к сферической поверхности, очерченной радиусом — r.

Величины смятия пяты — δ_1 и стула — δ_2 по направлению, нормальному поверхности касания, пропорциональны величине нормального напряжения:

$$\delta_1=a_1 n;\quad \delta_2=a_2 n,$$

где a_1 и a_2 — коэфициенты, зависящие от упругости материала. Вертикальная слагающая этого смятия

$$\delta\cos\varphi=\delta_1+\delta_2$$

$$n=\frac{\delta\cdot\cos\varphi}{a_1+a_2} \tag{89}$$

Размеры бесконечно малого элемента $d\omega$ — поверхности касания определяются из условия, что высота его равна $r\,d\varphi$, и что основание его по параллельному кругу радиуса равно $r.\sin\varphi.d\vartheta$, откуда $d\omega=r^2\sin\varphi\,d\varphi\,d\vartheta$.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

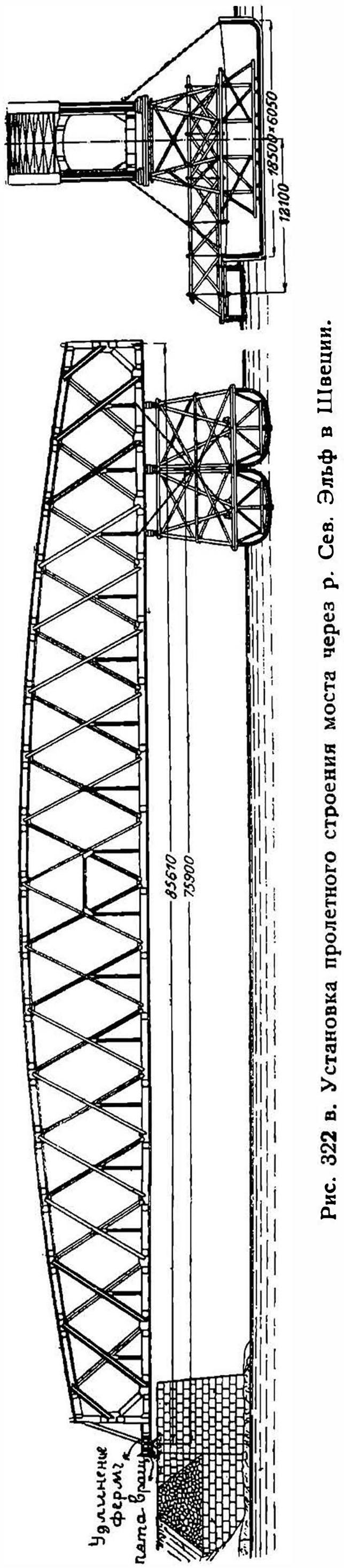


Рис. 322 в. Установка пролетного строения моста через р. Сев. Эльф в Швеции.

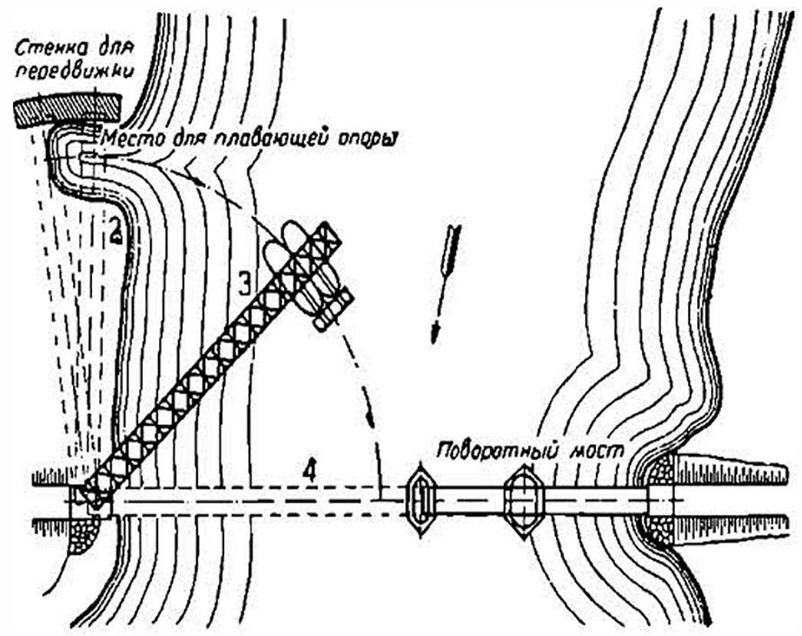


Рис. 322 а.

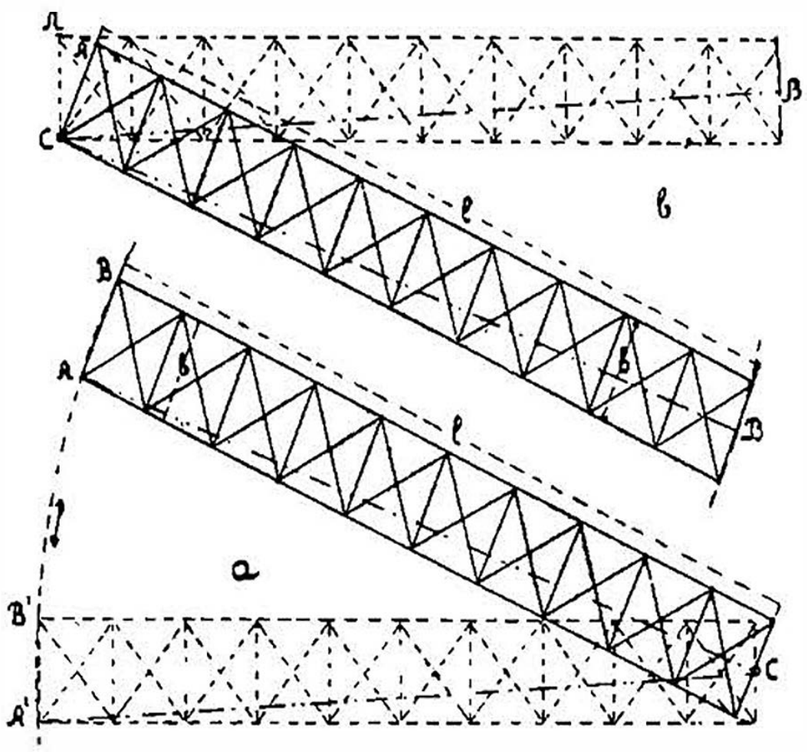


Рис. 323.

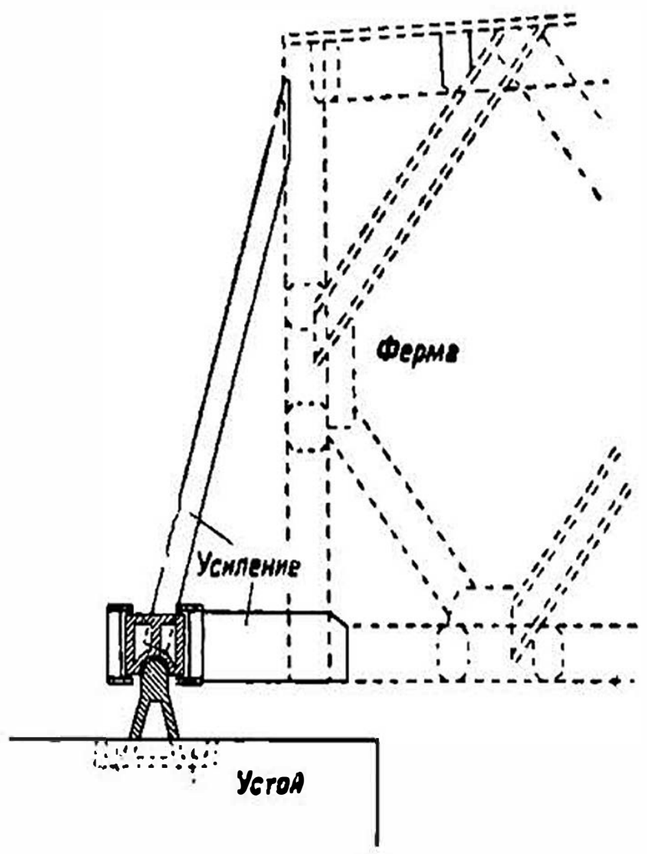


Рис. 324.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

По подстановке в уравнение (88) величин n и $d\omega$ оно примет вид:

$$A = \int_0^{2\pi}\int_0^{\varphi_0} n\, d\omega \cdot \cos\varphi = \frac{\delta r^2}{a_1 + a_2}\int_0^{2\pi} d\vartheta \int_0^{\varphi_0} \sin\varphi\cos^2\varphi d\varphi \qquad (90)$$

по интегрировании:

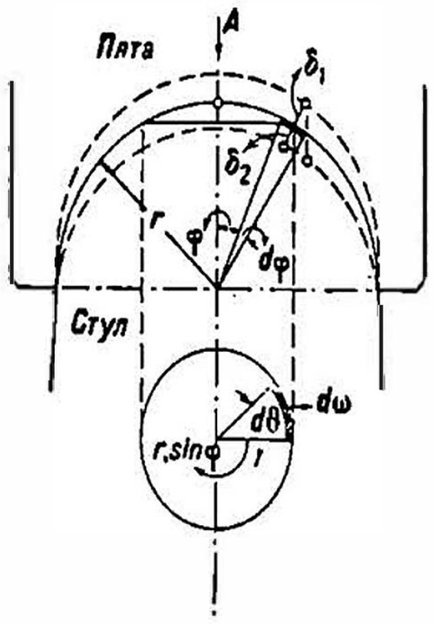


Рис. 325.

$$A = \frac{\delta r^2}{a_1 + a_2}\cdot 2\pi\left(-\frac{\cos^3\varphi}{3}\right)_0^{\varphi_0} \qquad (91)$$

Так как трудно предполагать, что пята будет хорошо приточена по сферической поверхности, то следует принимать, что касание в пяте распространяется в ту и другую сторону на угол $\varphi_0 = 45°$.

В этом случае

$$A = \frac{\delta r^2}{a_1 + a_2}\, 2\pi \cdot 0{,}215. \qquad (92)$$

Определив отсюда величину $\frac{\delta}{a_1 + a_2}$ и подставив ее в выражение напряжения (формула 89), получим:

$$n = \frac{A\cos\varphi}{0{,}430 \cdot \pi r^2} \qquad (93)$$

Наибольшая величина его будет в точке при вершине, для которой $\varphi_0 = 0$, а именно:

$$n_{max} = \frac{A}{0{,}430\,\pi r^2} \qquad (94)$$

При расположении оси вращения под фермой движение происходит по двум дугам разного радиуса. В этом случае все неровности в путях движения вызывают сдвиги пролетного строения как по долевой оси, так и поперек ее. При этом всякое смещение на одной из дуг вследствие постоянства фигуры пролетного строения должно вызвать соответствующее смещение в движении по другой дуге. Регулирование этих смещений возможно только при устройстве оси вращения со всесторонней подвижностью, чего можно достигнуть установкой пяты вращения на шары. Следует отметить, однако, что с применением шаров отпадает надобность в пяте вращения, так как всякая плита, положенная на несколько шаров, благодаря всесторонней подвижности их, может иметь вращательное движение.

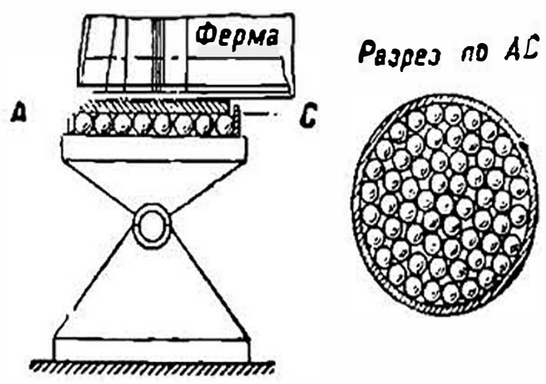


Рис. 326.

Шары закладываются между двумя планками внутри объемлющего кольца (рис. 326). На верхнюю планку непосредственно устанавливается поворачиваемое пролетное строение. При движении верхняя планка вращается на шарах и в случае надобности имеет поступательное движение. Недостаток этой конструкции заключается в отсутствии приспособления, обеспечивающего возможность колебаний пролетного строения в вертикальной плоскости, вызываемых неровностями пути. Для устранения этого недостатка помещают шары на балансирные подушки (рис. 326), направляя их поперек оси, вдоль которой можно ожидать больших колебаний, например при движении по двум дугам поперек радиуса ближайшей дуги.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При постановке пяты вращения на продольной оси пролетного строения возникает вопрос о передаче реакции пяты на главные фермы. В мостах с ездою понизу для этой цели можно было бы использовать поперечные балки проезжей части; однако в большинстве случаев они по своей прочности не удовлетворяют условиям передачи большого сосредоточенного давления и требуют особого усиления. При отсутствии проезжей части реакция пяты передается на фермы устройством специальных приспособлений.

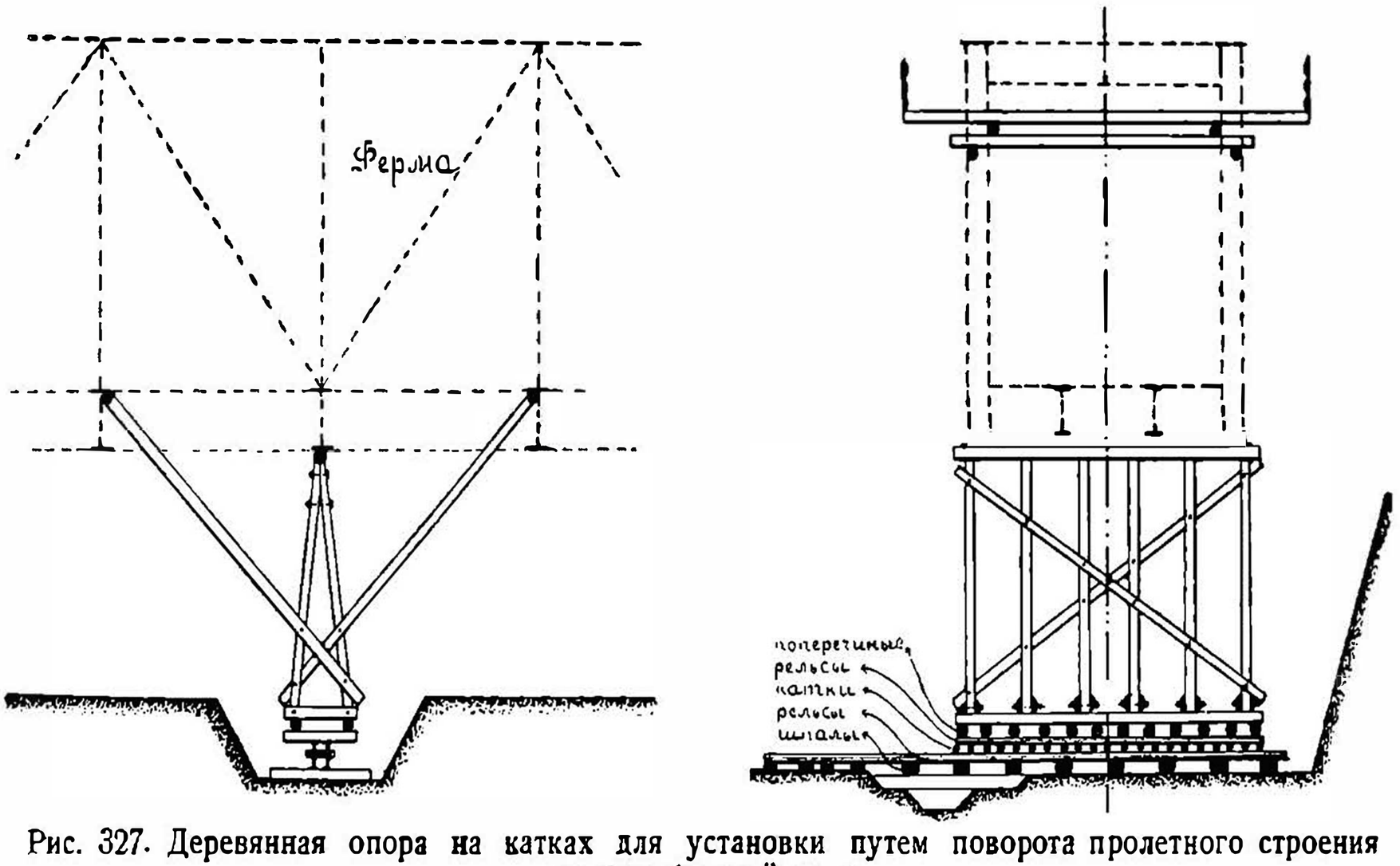


Рис. 327. Деревянная опора на катках для установки путем поворота пролетного строения на Октябрьской ж. д.

На рис. 324 показано такое приспособление в виде двух консолей, соединенных жесткой поперечиной из двух двутавровых балок, между которыми помещаются подушки пяты. Консоли прикреплены непосредственно к фермам пролетного строения. Понятно, что такая конструкция могла бы быть спроектирована и между фермами пролетного строения, однако вынос пяты вращения за пределы пролетного строения обеспечивает свободу надзора за ее работой, а также свободу установки пролетного строения на опоры. Эти преимущества специальных приспособлений заставляют отдавать предпочтение устройству их и в тех случаях, когда, при наличии проезжей части, можно было бы прибегнуть к усилению ее.

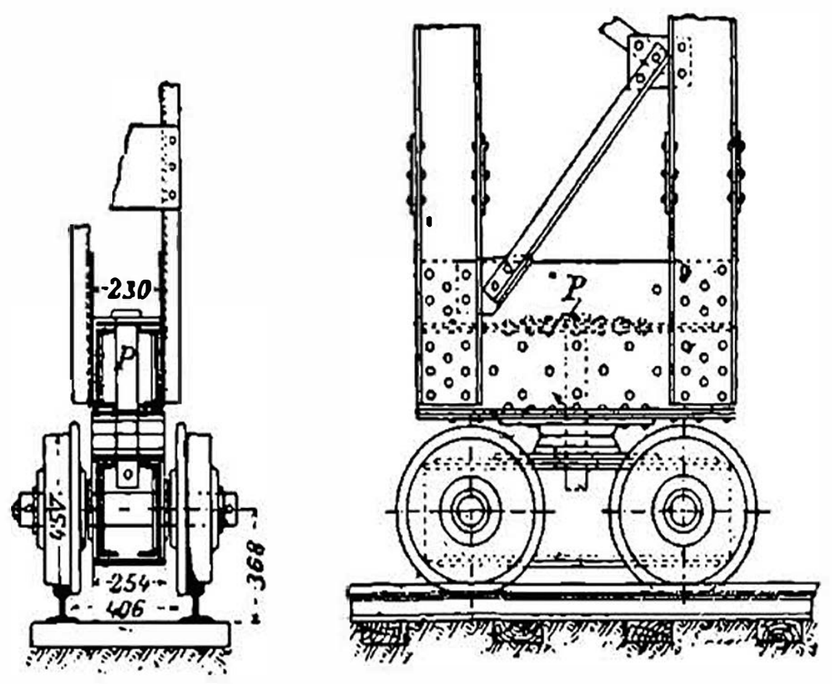


Рис. 328.

С установкой пяты вращения на оси одной из ферм пролетного строения отпадает вопрос о дополнительных усилениях пролетного строения, так как пята вращения помещается непосредственно под главными фермами и притом в наиболее жесткой части их, а именно под опорными углами.

Для движения пролетного строения во время его поворачивания применяются пловучие опоры (рис. 322) и подвижные приспособления в виде катков и тележек.

По своей конструкции пловучие опоры ничем не отличаются от описанных в § 34 и по своей прочности должны удовлетворять условиям, указанным в том же параграфе.

При движении по грунту применяются катки и тележки, перемещающиеся по рельсам (рис. 327). Как те, так и другие снабжаются ребордами, препятствующими

НБ УДУНТ (ДІІТ)

сходу их с рельс при движении по кривой. При малом радиусе кривой пути, заедание реборд катков представляет значительное сопротивление движению. В этих случаях следует отдавать предпочтение тележкам, приспособленным к поворачиванию вокруг вертикального штыря — P (рис. 328). В таких конструкциях рама, поддерживающая пролетное строение, опирается на кузов тележки помощью двух плит, скользящих одна по другой, благодаря чему кузов тележки, независимо от положения рамы, может следовать искривлениям пути.

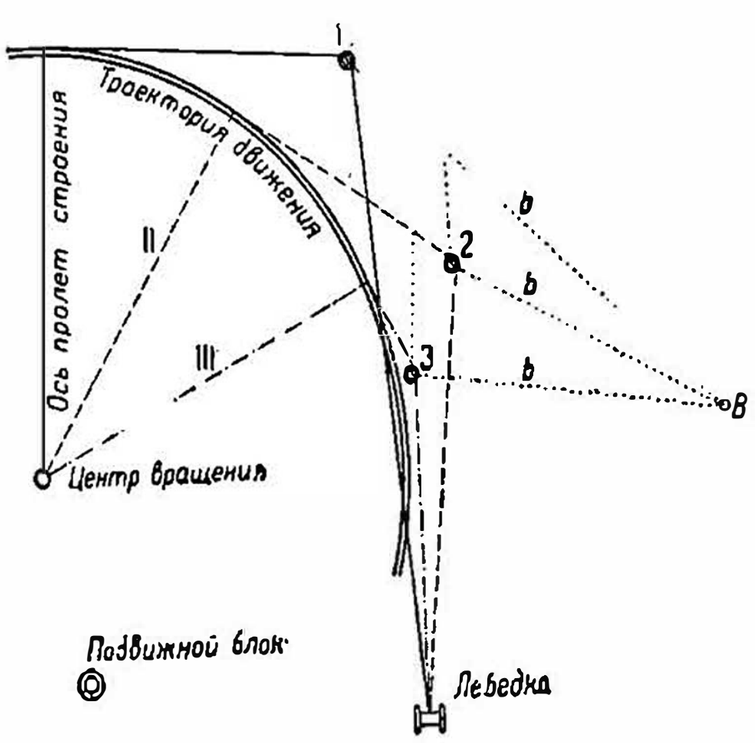


Рис. 329.

Так как движение пролетного строения происходит по кривой, то и направление тягового каната должно в течение всего движения изменяться и совпадать с направлением касательной к кривой пути; в противном случае, при разложении тягового усилия по направлениям нормальному и касательному к кривой, слагающая, нормальная кривой, будет вызывать заедание реборд, колес и катков об рельсы. Соблюдение этого требования может быть достигнуто постановкой подвижного передаточного блока от пролетного строения к лебедке (рис. 329). Блок закрепляется полиспастами a и b к двум неподвижным точкам A и B. По мере движения пролетного строения изменяется длина канатов a и b так, чтобы подвижной блок, перемещаясь, давал тяговому канату лебедки направление касательной к кривой пути.

Поднятие и опускание пролетных строений с установкой их на опоры.

§ 38. Приспособление для производства подъемок и опусканий. Средствами для производства подъемок и опусканий служат: клинья, песочные цилиндры или ящики, винтовые и гидравлические домкраты и пр.

Парные клинья. Парные клинья с соприкасающимися поверхностями — одно из старых приспособлений, не потерявших значения и в настоящее время для производства подъемок на высоту нескольких сантиметров. Клинья, обыкновенно дубовые, закладываются в клетки (рис. 330); путем забивки их или ослабления изменяется высота клеток, а соответственно последней — и высота положения пролетного строения над опорами или подмостями. Подбивка клеток клиньями, при условии постепенной загонки их в каждую из клеток, мало нарушает рабочее состояние соседних клеток и не перегружает их; выбивание клиньев, зажатых в рабочих клетках, часто вызывает полное ослабление клетки, что, в свою очередь, вызывает перегрузку соседних.

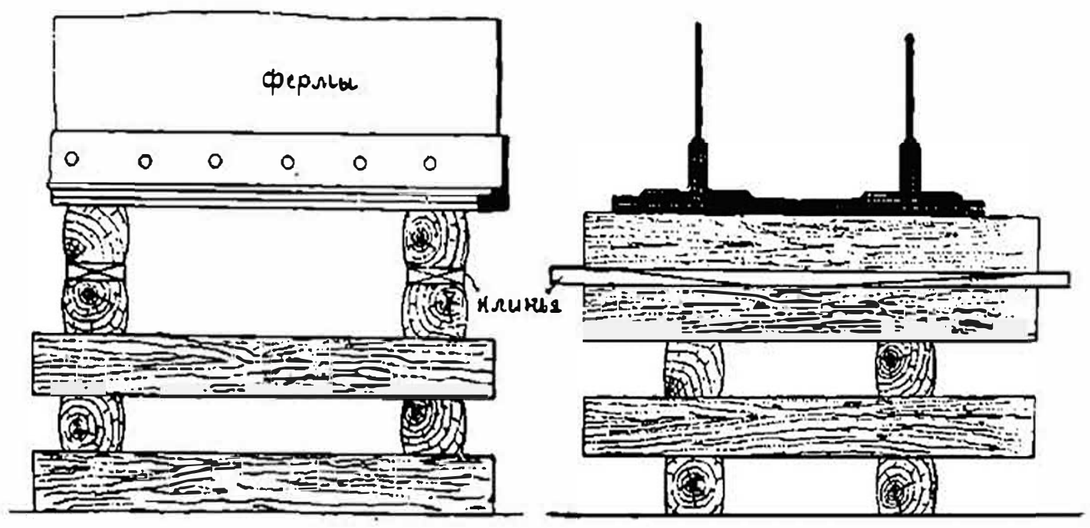


Рис. 330.

Преимущество опускания на клиньях заключается в том, что при постепенном ослаблении клеток нагрузка от пролетного строения продолжает распределяться по всем подмостям, и не требуется усилений конструкции их для передачи большого сосредоточенного давления, как это наблюдается в домкраточных подъемках и опусканиях.

Песчаные цилиндры. Песчаные цилиндры применяются исключительно для опускания пролетных строений. Они обычно состоят из нижней чугунной или

НБ УДУНТ (ДІІТ)

стальной подушки (рис. 331) и ряда металлических цилиндров, устанавливаемых на эту подушку один на другой. Нижняя подушка делается с двойным дном, в верхнем дне устраивается отверстие D размерами от 2 до 5 *см*, через которое вытекает песок, насыпанный в цилиндры; отверстие снабжается задвижками F и G, которыми можно закрыть отверстие и регулировать скорость вытекания; высыпавшийся песок убирается через боковые отверстия H в подушке. Цилиндры делаются высотой около 40 *см* и соединяются из двух половинок, скрепляемых болтами; такое устройство позволяет по мере высыпания песка и опускания пролетного строения разбирать верхние цилиндры, освободившиеся от песка. Внутри этих цилиндров может проходить поршень C, на который опирается при помощи особых стоек пролетное строение. Длина стойки поршня должна превосходить полную высоту цилиндров не менее как на 10 *см*, что позволяет, не задерживая опускания, разбирать цилиндры.

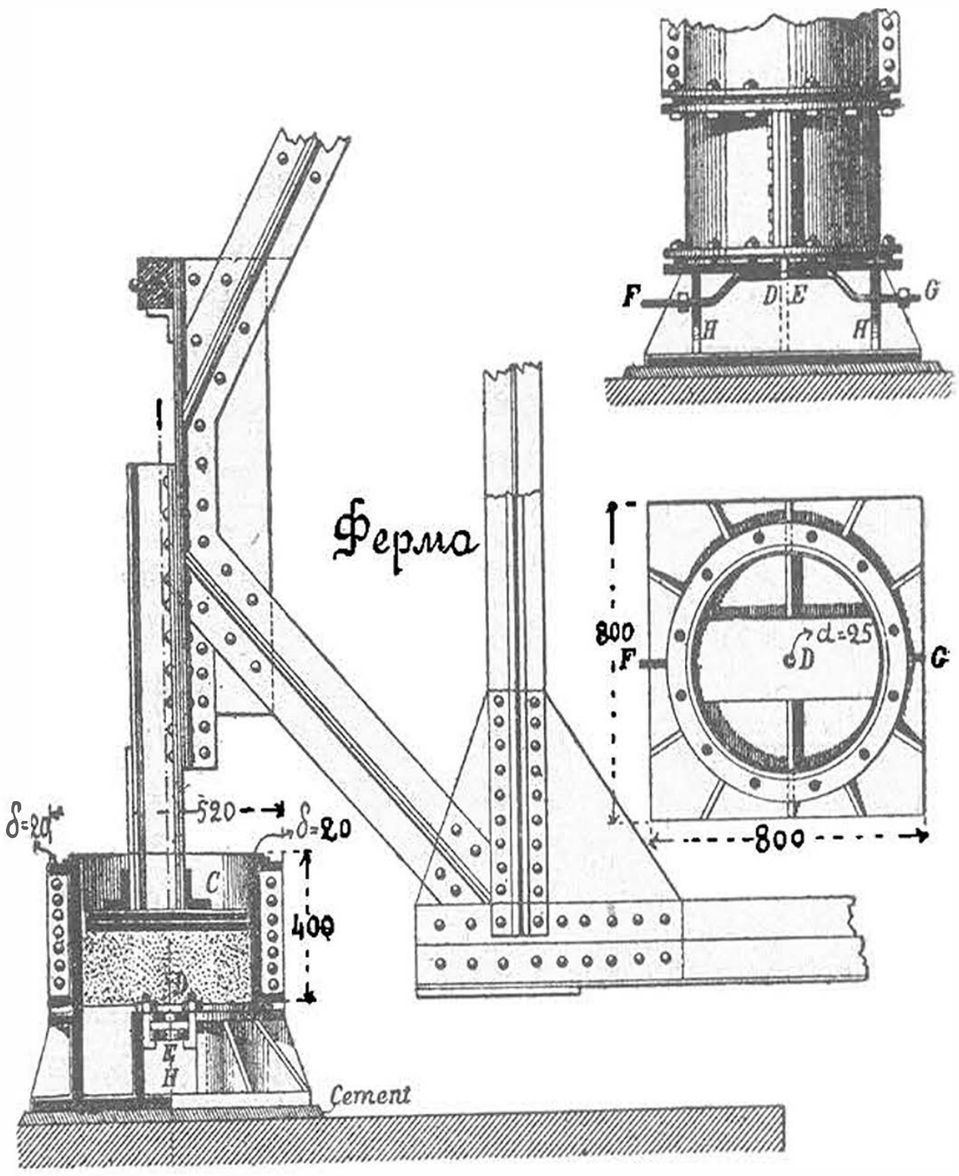


Рис. 331. Цилиндры для опускания пролетного строения на мосту близ Магдебурга.

Время, потребное на производство опускания помощью песчаных цилиндров, зависит от качества песка и отверстия для выпуска его и мало зависит от величины давления на него. Подтверждением этого служат опыты, производившиеся над вытеканием песка из отверстий цилиндра диаметром 400 *мм* [1]).

№	Диаметр отверстий *см*	Площадь отверстий *см*²	Продолжительность вытекания в минутах	Давление во время вытекания в *т*	Количество вытекавшего песка	
					Общее	На 1 *см*² отверстия
1	1,1	0,95	4	Около 5	4,0	1,05
2	2,1	3,463	1	5	6,3	1,819
3	1,1	0,95	4	Без давления	4,1	1,07
4	1,8	2,545	1		4,125	1,62
5	2,1	3,463	1		6,5	1,876

Песок в цилиндрах должен быть безусловно сухой, так как в противном случае под давлением он слеживается, и вытекание его затрудняется; крупность зерен его не должна превосходить 2 *мм*.

Число песчаных цилиндров, устанавливаемых под пролетное строение, сводится до минимума, обычно не более одного-двух под каждый конец фермы; поэтому ими передаются на опоры и пролетное строение большие сосредоточенные давления, что

[1]) Zeitschr. d. Oester. Ing. u. Archit. Ver. zu Hannover, 1878, стр. 464.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

связано с временными усилениями пролетных строений и даже со специальными устройствами, о чем см. ниже.

При опускании на небольшую высоту и при небольших давлениях, металлические цилиндры могут быть заменены деревянными ящиками, обшиваемыми обручным железом против выпучивания под давлением песка (рис. 332).

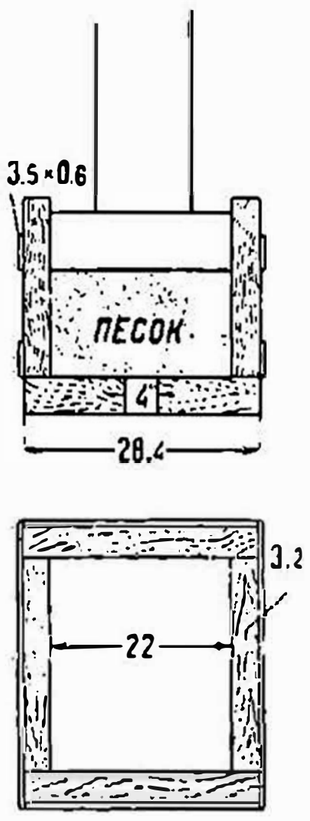


Рис. 332.

Домкраты. Применяющиеся для подъемки и опускания пролетных строений домкраты разделяются на винтовые и гидравлические. Конструкция винтовых домкратов несложна. Домкрат состоит из неподвижной гайки — станины, и вращающегося на нем винта — *S* (рис. 333). Винт приводится в движение рычагом *H*, снабженным трещоткой *Z*. Верхняя часть винта снабжается головкой *V*, которая упирается в поднимаемую часть. С поворачиванием рычага винт перемещается в гайке и этим вызывает приподнимание тяжести.

Имеются также винтовые домкраты, в которых станина установлена на особых салазках (рис. 334*b*) и передвигается в них при помощи специального горизонтального винта. При такой конструкции домкрата облегчается передвижка поднимаемых пролетных строений в горизонтальной плоскости.

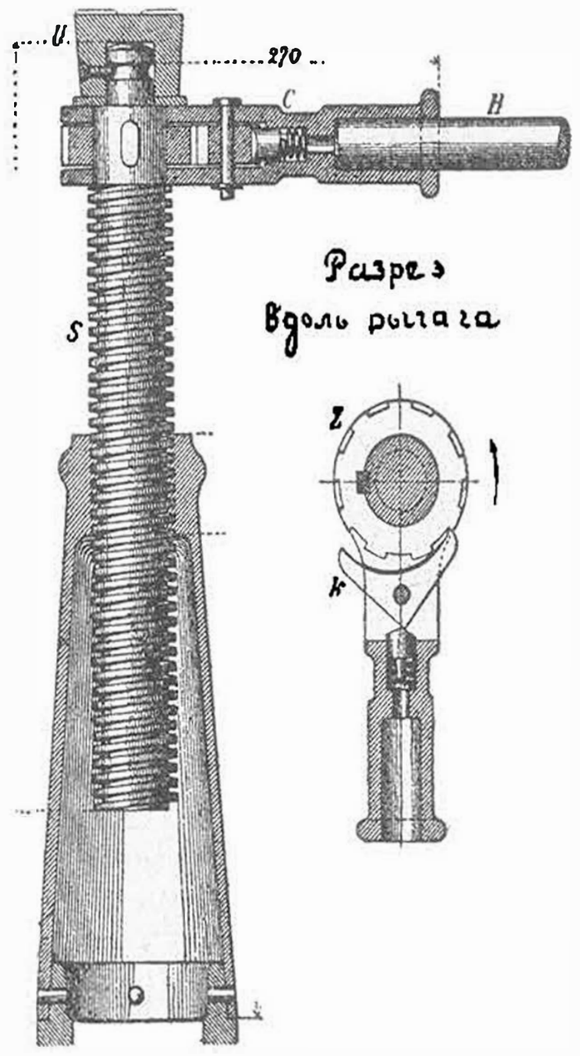


Рис. 333.

Обычные винтовые домкраты имеют подъемную силу до 20 *т*, но в особо сильных домкратах подъемная сила доводится до 35 *т*. Высота подъема в них не делается выше 0,3 *м*, поэтому они применяются для подъемок на небольшую высоту. При подъемках на большую высоту, винтовые домкраты часто приходится перестанавливать; в этих случаях они заменяются, где это возможно, домкратами Беккера или домкратными винтами. И в тех и других длина винтовой нарезки делается значительно большей, чем в винтовых домкратах, и доводится до 3 *м*; подъемная сила их также значительно больше и доводится до 100 *т*.

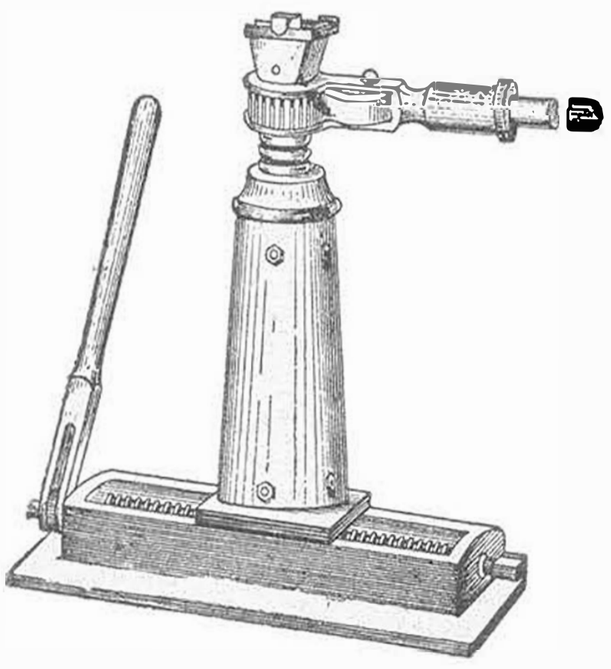


Рис. 334.

На рис. 335 показана конструкция одного из типовых домкратных винтов. Винт *B* свободно проходит сквозь неподвижный подгаечник *A*, на который опирается гайка, снабженная рычагом *H* с трещоткой *Z*; вращением гайки винт вытягивается кверху и тащит за собой цепи с подвешенным к нему пролетным строением. Существенным представляется, чтобы гайка и подгаечник имели соприкосновение по сферической поверхности, чем устраняется влияние перекоса подмостей. При соприкосновении подгаечника и гайки по плоскости, неравномерная просадка подмостей увлекает за собой подгаечник и гайку, вследствие чего происходит выгиб винта. Домкратные винты сохраняют свое положение в течение всего процесса работы, изменяется же длина цепи, для чего в последней выбрасываются или наращиваются лишние звенья. Для поддержания поднимаемых или опускаемых конструкций во время изменения длины цепи домкратные винты снабжаются дополнительными тягами *b*, укрепляемыми или в подушке винта, или в особых подушках. На эти тяги помощью клинообразных прокладок K_1 и K_2 подвешивается нижняя часть цепи с

НБ УДУНТ (ДІІТ)

поднимаемой конструкцией на время, пока верхнее звено цепи будет вынуто, и винт B будет вновь опущен до соприкасания с цепью.

Применение домкратных винтов связано с устройством специальных сильных подмостей, охватывающих пролетное строение и необходимых для установки домкратных подушек, что, конечно, относится к недостатку домкратных винтов по сравнению с винтовыми домкратами, устанавливаемыми на сборочных подмостях и подферменных площадках.

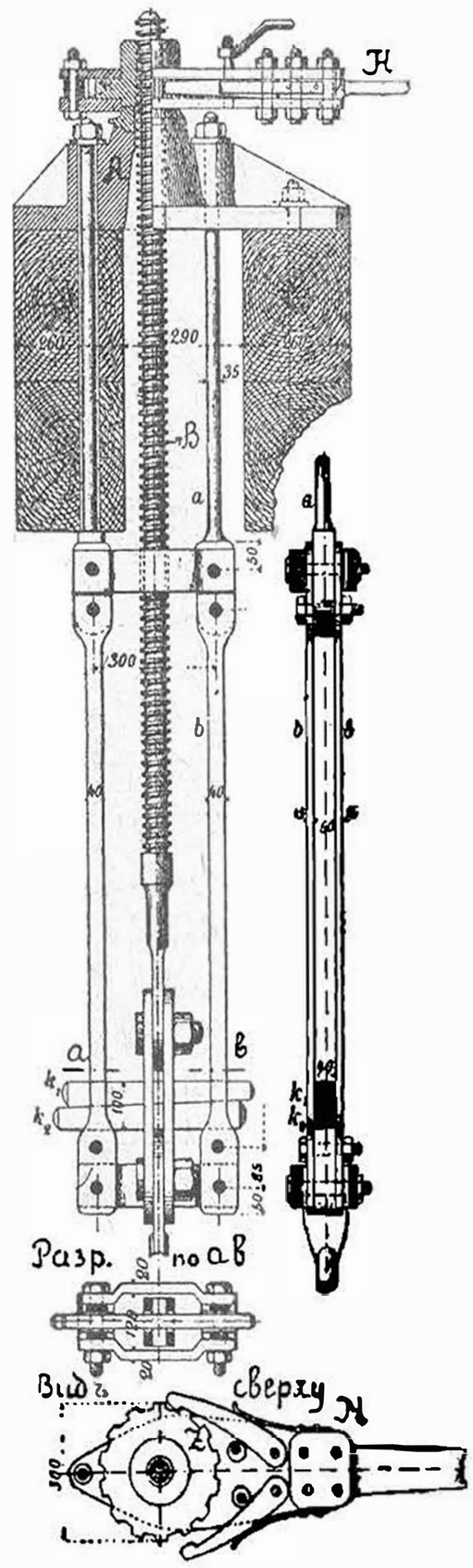


Рис. 335.

Расчет рабочей силы, необходимой для производства подъемки на винтовых домкратах, определяется из условия равенства работ по формуле:

$$\eta P\, 2\pi R = Qh \quad \text{или} \quad P = \frac{1}{\eta}\frac{r}{R} Q \operatorname{tg} \alpha \qquad (95)$$

где P — сила, приложенная к рукоятке трещотки, Q — величина давления на винт, R — длина рукоятки трещотки, h — высота подъема винта при одном полном обороте $= 2\pi R \operatorname{tg} \alpha$, r — радиус середины винтовой линии и α — угол наклона винтовой нарезки к горизонту, η — коэфициент полезного действия винта, зависящий от угла наклона нарезки и величины трения f между нарезкой и гайкой, определяемый по формуле:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha + f}.$$

В винтах, применяемых для подъема больших грузов, угол α — обычно около 3° и $f = 0{,}1$, что соответствует углу трения в 6°. При этих условиях величина коэфициента полезного действия η приблизительно равна от 0,3 до 0,35.

Гидравлические домкраты. На рис. 336 показана конструкция одного из ходовых типов гидравлических домкратов. Домкрат состоит из ящика с двумя камерами B и C, соединяющимися между собой насосом D. В камере C помещается стакан E, на который устанавливается поднимаемый груз. Вода наливается через отверстие a в камеру B и движением поршня b накачивается через клапаны

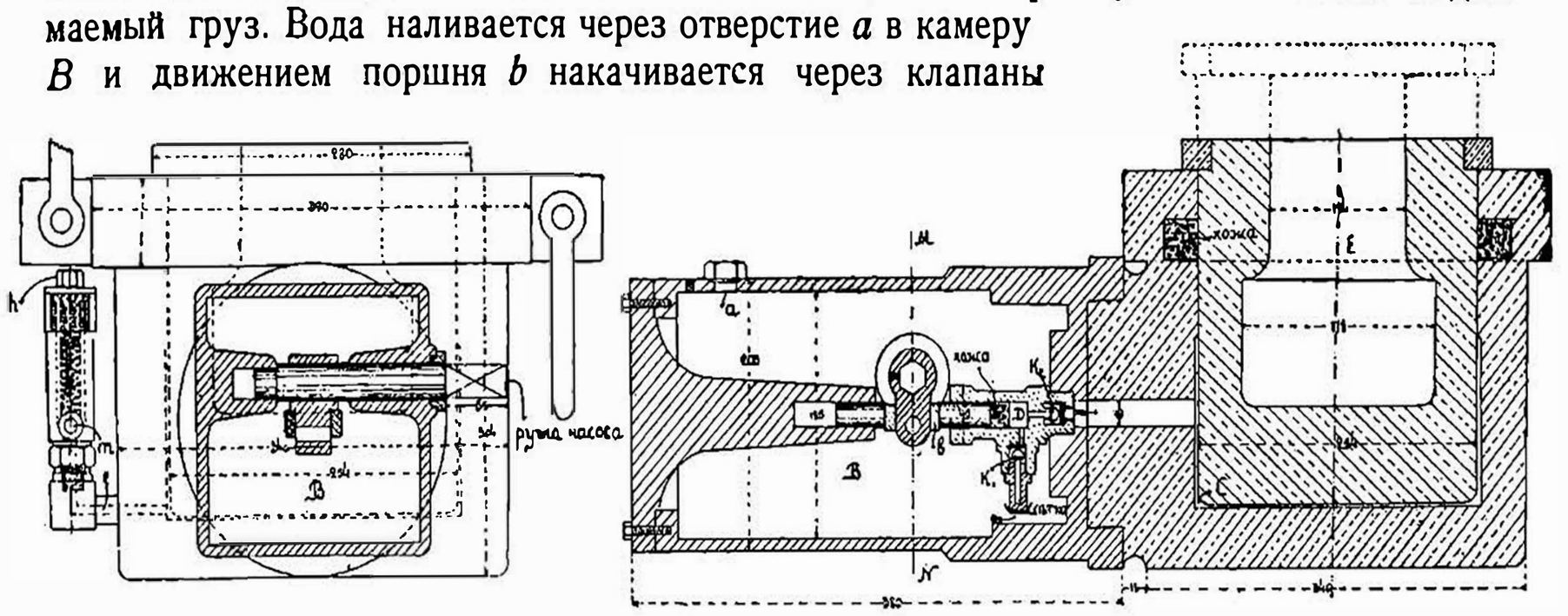


Рис. 336.

k_1 и k_2 в камеру C; стакан поднимается по мере увеличения давления в камере C и поднимает с собой груз. Для опускания груза вода из камеры выпускается, для чего служит клапан e; поворачиванием гайки h опускается пружина клапана, вода

НБ УДУНТ (ДІІТ)

вытекает через отверстие m; вследствие большой чувствительности пружин, регулирующих работу клапанов k_1 и k_2 и скорой изнашиваемости кожаной набивки, домкраты часто перестают исправно действовать, что нередко случается во время самого производства работы от засорений, чрезмерного давления и пр., точно так же ослабление выпускного клапана e под большим давлением груза может повлечь неожиданное опускание стакана E и вместе с ним и падение поддерживаемого им груза. В предупреждение этих случайностей и во избежание задержек в производстве работы, рекомендуется рассчитывать подъемную силу домкратов с запасом; во время же выхода поршня домкрата на большую высоту — закладывать между заплечиками поршня и бортами стакана домкрата временные кольца. С той же целью удержания пролетного строения в поднятом состоянии применяются специальные гидравлические домкраты (рис. 337), в которых сверх стакана помещается цилиндр с прямоугольной нарезкой, по которой имеет движение гайка. При подъеме поршня домкрата гайка навертывается на цилиндр, и, если вследствие каких-либо причин ослабнет, то все давление передается на гайку, и она будет удерживать пролетное строение в поднятом состоянии.

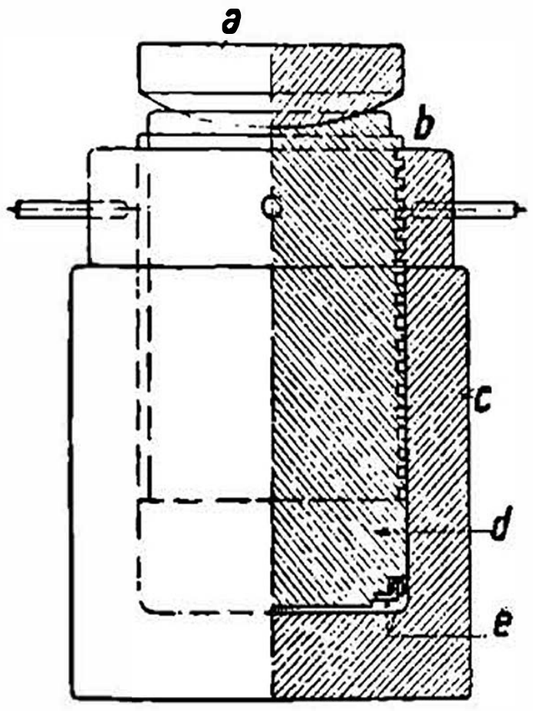


Рис. 337.

Гидравлические домкраты изготовляются с подъемной силой до 300 m. Большим недостатком обычных гидравлических домкратов служит малая высота подъема поршня в них, не превосходящая 0,2 $м$, что связано с частыми перестановками их по мере поднятия или опускания пролетного строения.

Так как каждая перестановка домкратов сопровождается обжатием как клеток под домкратами, так и клеток, выкладываемых взамен них, то потеря части хода поршня на это обжатие значительно снижает продуктивность всей работы.

Эта непродуктивная потеря, вызываемая необходимостью перестановок, в значительной степени устраняется в гидравлических домкратах «Petpe uum» (рис. 338). В этих домкратах поршень a остается неподвижным, а под давлением жидкости поднимается цилиндр b, с привернутыми к нему ребрами r и поддерживаемым им пролетным строением. Когда поршень займет

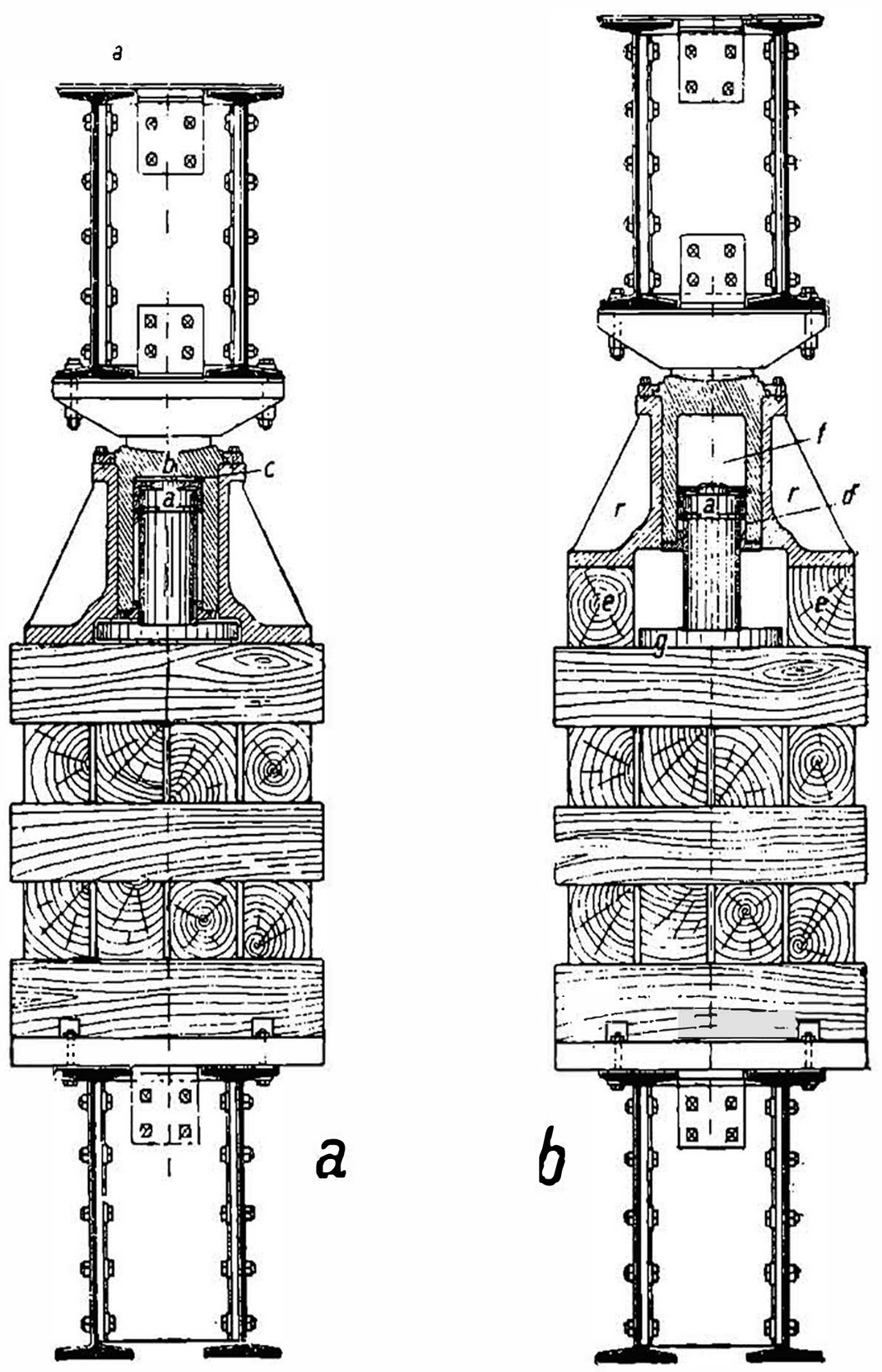


Рис. 338.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

конечное положение (рис. 338 *b*), то под ребра *r* подкладываются брусья *e*, на которые передается давление при ослаблении поршня домкрата. При такой конструкции клетка, на которой помещается домкрат, будучи обжата, не дает упругого отхода, и рабочий подъем поршня используется почти полностью, за исключением обжатия брусьев *e*.

Величина силы *P*, необходимой для подъемки груза *Q* и приложенной к рукоятке насоса, определяется из уравнения:

$$P = \frac{\omega}{\eta\Omega}\frac{l}{L}Q \qquad (96)$$

где $\frac{\omega}{\Omega}$ — соотношение площади насосного поршня и площади поршня домкрата

$\frac{l}{L}$ — соотношение длины рычага насоса к длине рукоятки;

η — коэфициент полезного действия, принимаемый в домкратах от 0,73—0,75.

Гидравлические домкраты требуют тщательного ухода за ними. Во время работы они нередко перестают работать вследствие засорения или пропуска жидкости между стенками поршня и цилиндра. Засорение всасывающей трубы, характеризующееся отказом в подаче воды в насос, устраняется продуванием ее. Прекращение подачи воды из насоса в цилиндр свидетельствует о засорении или порче в клапанах; устранение этого явления может быть сделано только путем разборки всей насосной части домкрата с тщательной прочисткой ее до полного соприкасания клапанов с их отверстиями. Пропуск жидкости между стенками поршня и цилиндра свидетельствует об усыхании кожаных манжет в поршне; часто это явление можно устранить смачиванием их маслом.

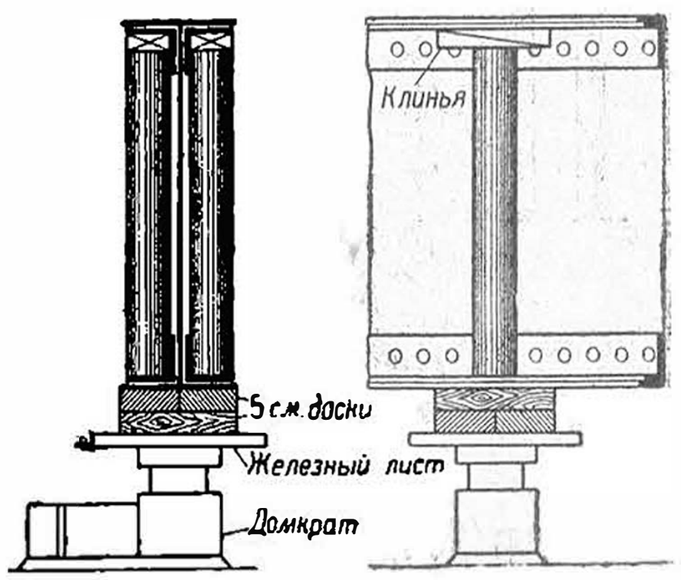


Рис. 339.

Гидравлические домкраты очень чувствительны также к внецентренному действию нагрузки на них, вызывающему заедание поршня о стенки цилиндра, поэтому рекомендуется стакан их или поршень снабжать подушкой со сферическим основанием (рис. 337).

Работа гидравлических домкратов стесняется влиянием мороза на жидкость, заключенную в них. Вода в домкратах уже при небольших морозах быстро замерзает и вызывает порчу домкратов. Поэтому во время морозов заменяют воду спиртом или керосином. Опыт замены воды глицерином показал, что уже при температуре — 16° глицерин настолько густеет, что принимает вид вазелина и перестает проходить в поршни насоса. Можно также устанавливать домкраты во время больших морозов в железные ванны, наполненные горячей водой, и, сменяя воду в ваннах по мере охлаждения ее новым кипятком, поддерживать домкраты в теплом состоянии, благодаря чему вода в них не замерзает, и работа идет безостановочно

Установка домкратов. Обладая большой подъемной силой и небольшой площадью основания, домкраты действуют как на пролетное строение, так и на подмости в виде больших сосредоточенных грузов. Передача этого давления на подмости обусловливает специальное усиление их конструкции, во избежание чего прибегают к установке домкратов на каменную кладку устоев и быков. Передача большого сосредоточенного давления на мостовые фермы может производиться беспрепятственно только в опорных узлах. Однако установке домкратов в опорных узлах препятствуют помещающиеся здесь опорные подушки; поэтому для упора домкратов используются части пролетных строений, прилегающие к опорным подушкам

Не следует допускать непосредственное упирание стакана домкрата в части пролетных строений, так как оно может сопровождаться соскальзыванием домкрата

НБ УДУНТ (ДІІТ)

по металлу пролетного строения и может вызывать смятие железа, выгиб листов и пр. Для устранения этих явлений между стаканом домкрата и пролетным строением помещаются прокладки из ряда чередующихся поперечных и продольных досок (рис. 343). Подкладка деревянных брусьев нецелесообразна, так как они быстро раздробляются и уже не содействуют распределению давления.

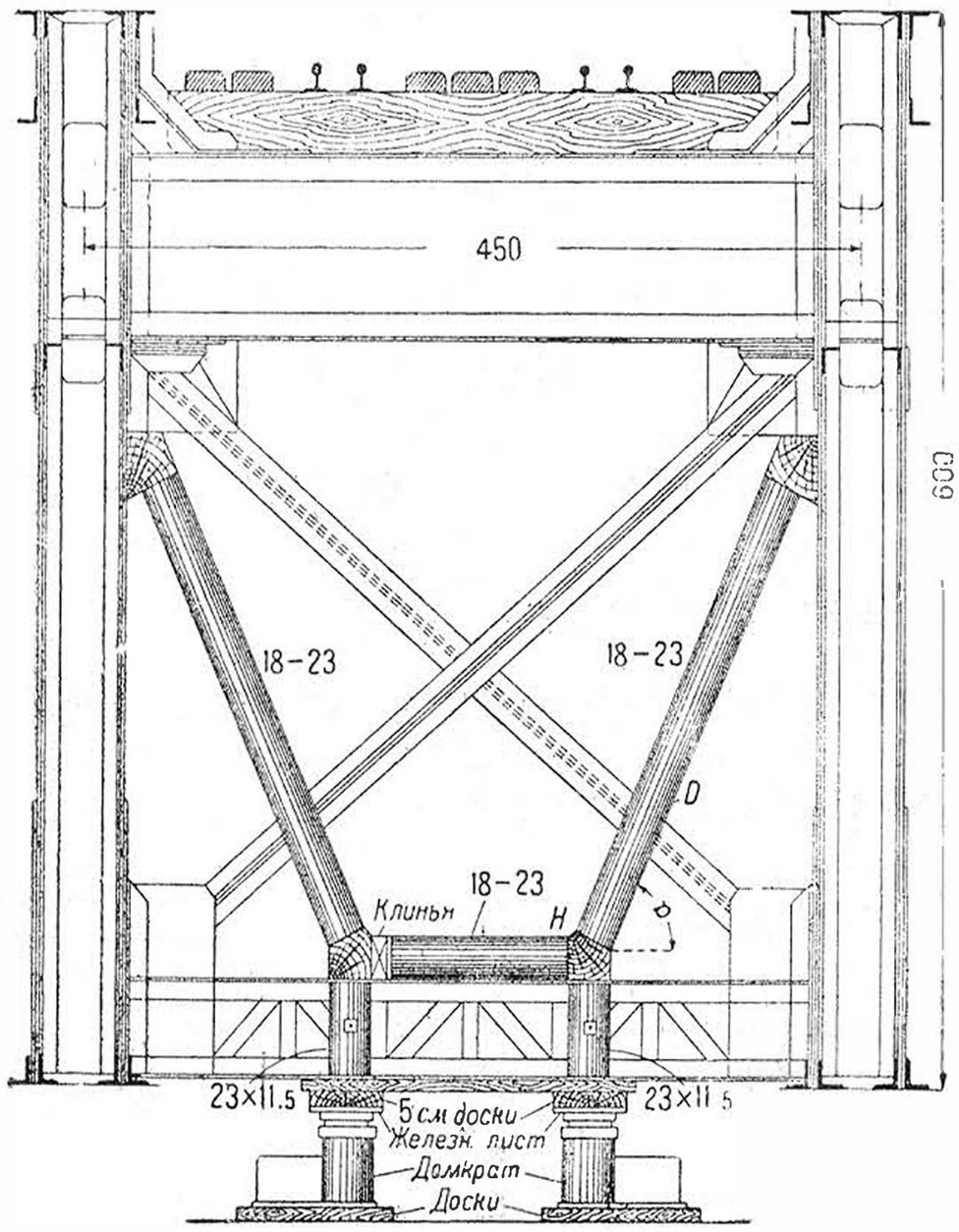


Рис. 340.

Поперечные балки проезжей части в редких случаях по своей конструкции достаточно прочны для воспринятия и передачи давления домкратов на главные фермы. Удовлетворяя иногда условиям прочности на изгиб, поперечные балки оказываются часто недостаточно жесткими для воспринятия срезывающих сил от давления домкратов, что характеризуется выпучиванием вертикальных листов балок.

Недостаточная жесткость поперечных балок парализуется загонкой между поясными уголками балок деревянных стоек жесткости, под которыми непосредственно устанавливаются домкраты (р. 339).

В лучших условиях для передачи изгибающего действия домкратов находятся балки, соединенные со стойками ферм жесткими консолями, под которые подводятся домкраты. При отсутствии этих консольных соединений, приходится прибегать к дополнительным усилениям в виде деревянных распорок, консольных листов и пр.

В мостах с ездою поверху поперечные балки в опорных узлах заменяются ветровыми распорками со сравнительно слабыми сечениями, почему упор в них домкратов без надлежащего усиления невозможен. В небольших мостах с малым весом такое усиление может быть достигнуто подстановкой деревянных распорок, подкосов и т. п. (рис. 340). Прочность подкосного усиления распорки рассчитывается в предположении, что все усилие домкратов воспринимается исключительно подкосами.

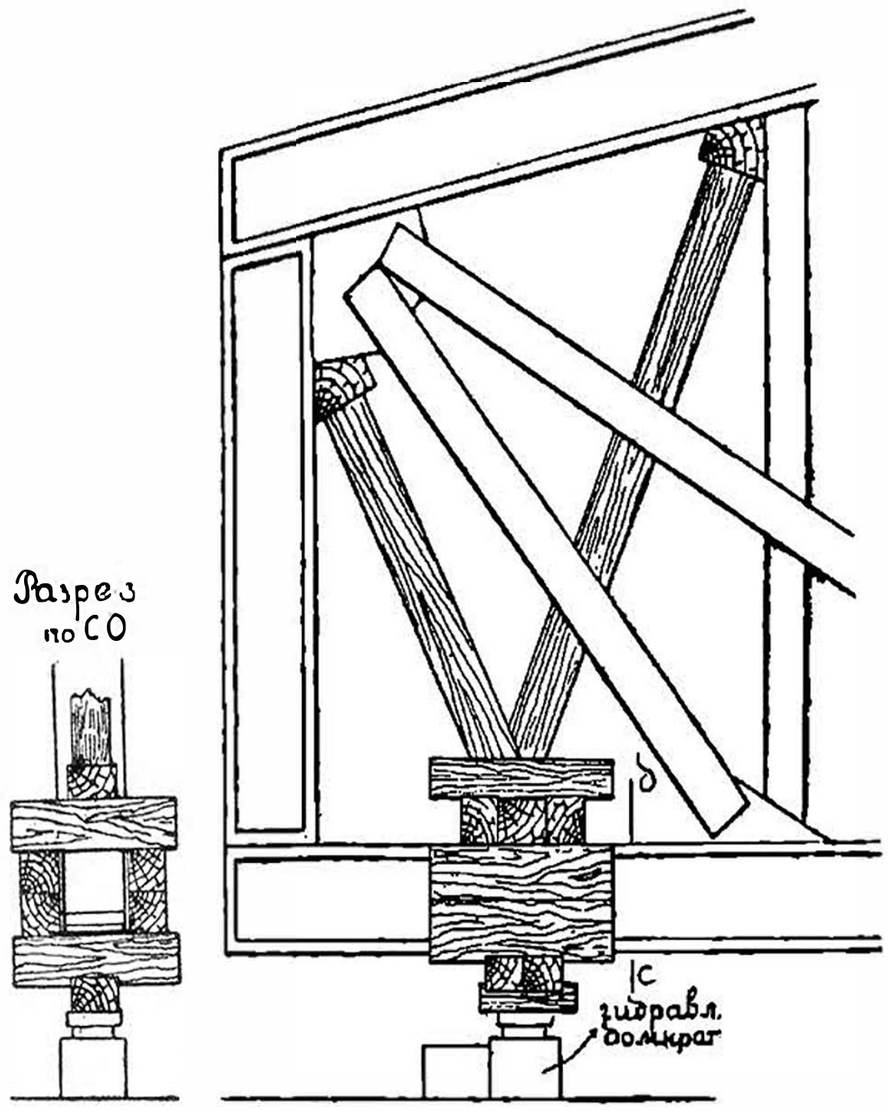


Рис. 341. Укрепление ферм для установки домкратов на мосту в Квинсленде.

При большом весе пролетных строений эти усилия становятся слишком большими.

Еще в более худших условиях находятся пролетные строения с ездою понизу, с наклонными опорными рамами и острыми опорными узлами, так как за отсутствием

НБ УДУНТ (ДІІТ)

опорных стоек усиление поперечных балок в проезжей части представляется крайне сложным. Для производства подъемки и опускания таких пролетных строений приходится домкраты устанавливать или непосредственно под главные фермы, или с боков их и упирать в фермы при помощи специальных балок и консолей.

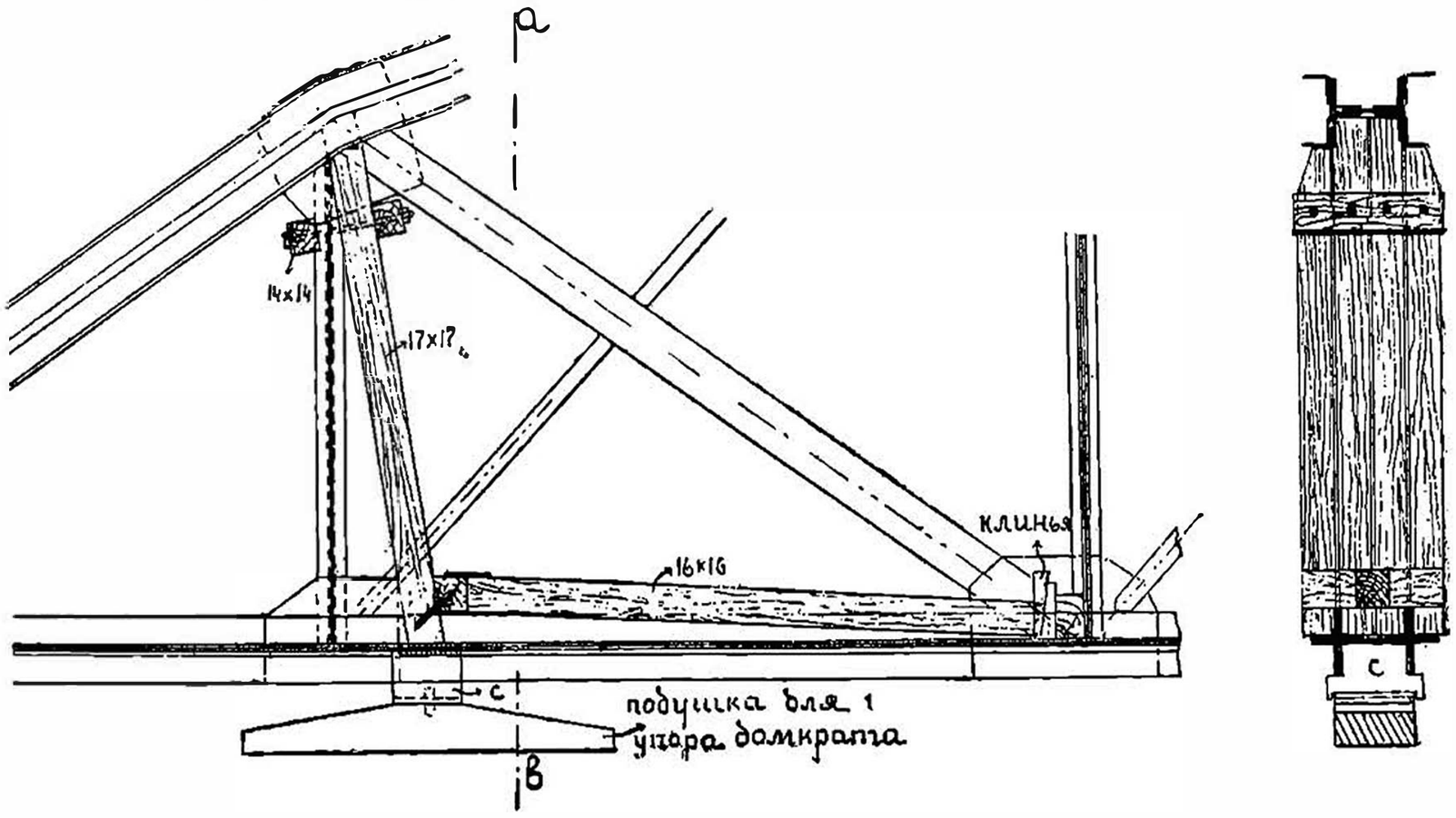


Рис. 342. Укрепление ферм для установки домкратов на мосту через р. Эльбу около Магдебурга.

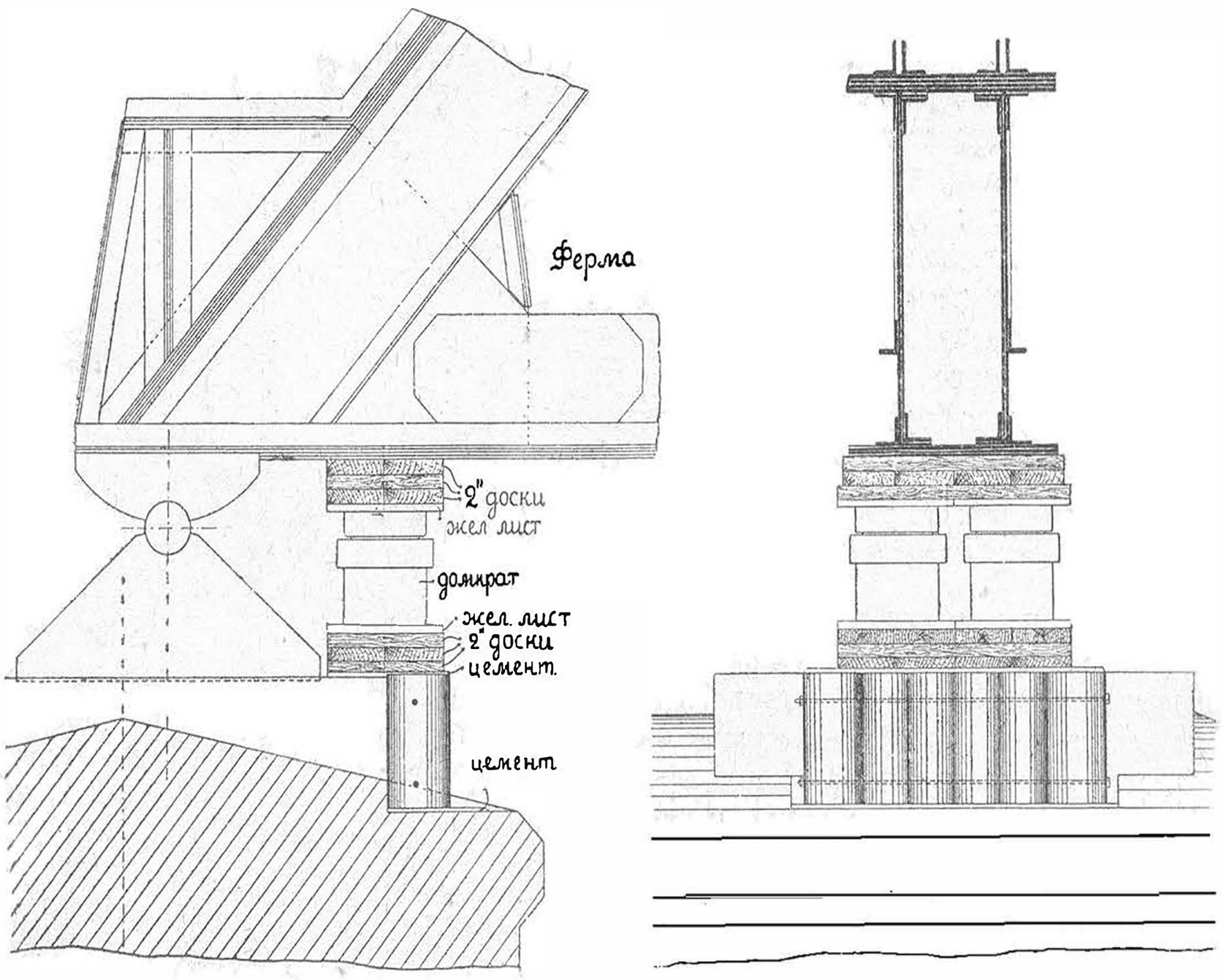


Рис. 343. Установка домкрата под ферму вблизи опорного узла.

При постановке домкратов вне опорных узлов, большое сосредоточенное давление их вызывает или дополнительный изгиб поясов ферм, или дополнительное усилие в частях ферм; как то, так и другое устраняется путем дополнительных усилений. Характер усиления изменяется в зависимости от места постановки домкратов. При постановке их между узлами ферм (рис. 341), усиление делается дополнительными

НБ УДУНТ (ДІІТ)

подкосами с упором последних в противоположные узлы ферм. При постановке домкратов под узлами ферм, сечения перенапряженных частей ферм усиливаются постановкой дополнительных деревянных стоек и раскосов (рис. 342). В обоих случаях прочность усилений поверяется по общим законам строительной механики в предположении, что все давление домкратов должно быть воспринято усилением независимо от ферм.

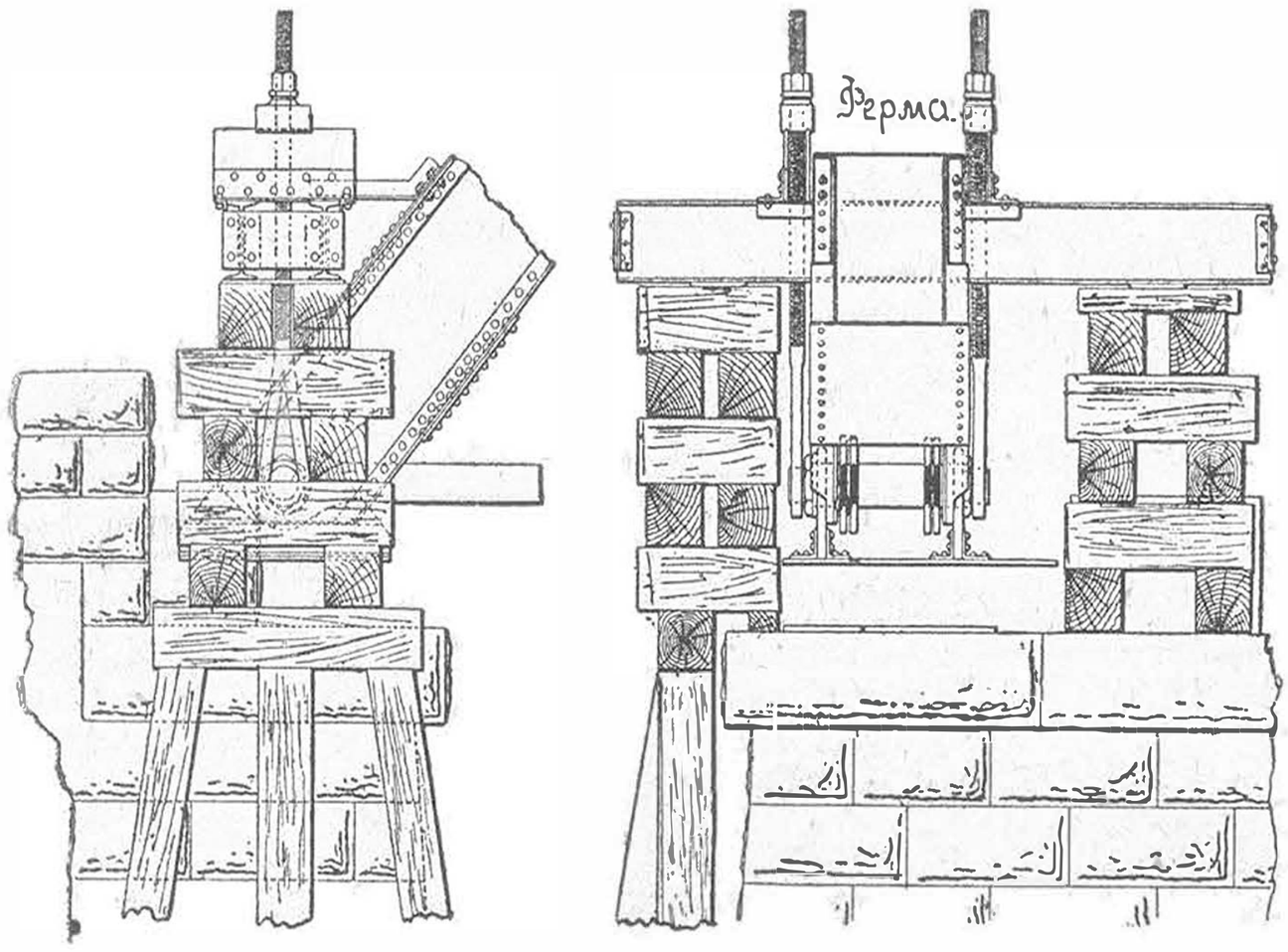


Рис. 344.

В больших пролетных строениях с большим весом усиления ферм могут получиться чрезмерно большими, ввиду чего прибегают к установке домкратов по возможности в пределах опорных узлов, используя для этого края подферменных камней и обрезы кладки. Обыкновенно размеры этих обрезов бывают далеко недостаточны для установки на них домкратов. Увеличение площади подферменного камня делается непосредственным уширением его за счет обреза кладки постановкой на него вертикальных деревянных стоек (рис. 343). Верхняя поверхность подферменника и торцов стоек покрывается слоем цементного раствора 1 : 1, чем достигается равномерность в передаче давления домкратов. Уширение площади подферменника может быть сделано также кладкой из притесанного камня поверх обреза кладки опор, причем как на кладку, так и на подферменные камни, смотря по качеству их, допускается повышенное напряжение [1]).

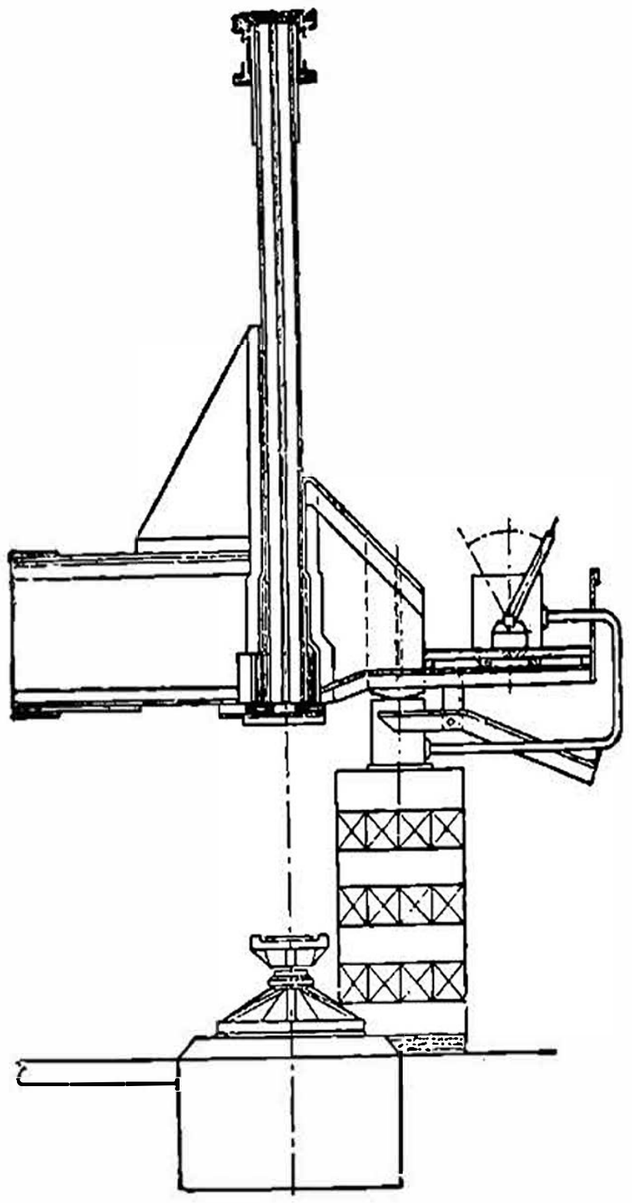


Рис. 345.

В случае помещения домкратов с боков пролетного строения, они поддерживают его помощью специальных балок, которые или подводятся под фермы непосредственно вблизи опорных узлов, или помещаются над ними (рис. 344); в последнем случае фермы подвешиваются к балкам цепями. Балки могут помещаться также и по бокам пролетного строения, поддерживая его своим упором в специальные консоли (рис. 345).

Показанный на рис. 347 случай установки вспомогательных балок был применен для подъемки пролетного строения весом в 1 350 *т*. Под каждый упорный узел фермы было подведено по две продольных балки высотой 60 *см*, усиленные уголками жесткости и связанные по концам поперечными балками. Продольные балки

---

1) При подъемке консольных пролетных строений моста через р. Западную Двину весом до 1 100 *т* было допущено давление на подферменники около 50 *кг/см*^{2}.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

были раздвинуты лишь настолько, чтобы между ними помещались опорные подушки. Опорные узлы были усилены деревянными дубовыми консолями, которые служили для упора в них вспомогательных балок. Плотное прилегание балок к консолям было обеспечено загонкой клиньев.

На рис. 346 показан случай установки домкратов, в котором вспомогательные балки *B* были заложены в опорные стойки и упирались в балки *A*, приклепанные к уголкам стоек. Балки *B* служили для упора домкратных колонн *C*; нижний

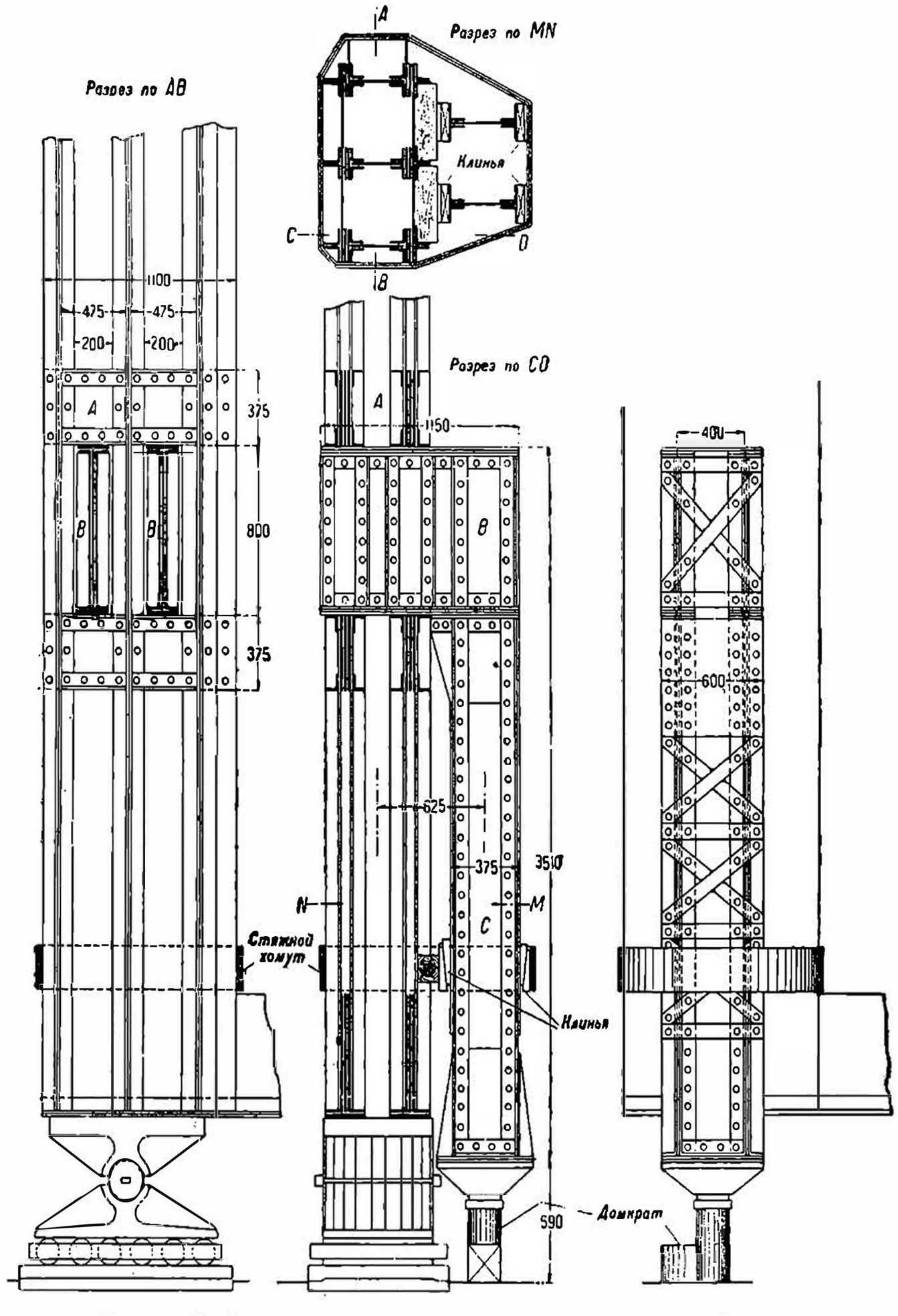


Рис. 346. Установка домкратов на мосту через р. Тверцу.

конец колонны закреплялся против сдвига в стороны хомутом и клиньями. Весь комплект балок для упора одного домкрата весил около одной тонны. Недостатком такого способа установки домкрата является внецентренное действие его на опорную стойку, вызывающее дополнительный изгиб в ней.

Не трудно видеть, что все описанные выше приемы установки домкратов являются вынужденными условиями конструкции моста и сопровождаются перенапряжениями в частях или пролетного строения или опор. Избегнуть этого можно, только предусматривая возможность постановки домкратов при проектировании моста. Наиболее рациональное решение этого вопроса достигается в мостах с ездою по-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

низу путем соответственной проектировки опорных поперечных балок, а в мостах с ездою поверху путем нижних опорных ветровых распорок, допуская при расчете на давление домкрата повышенное напряжение, например до 1 800 *кг/см*^{2}.

§ 39. Подъемка и опускание пролетных строений на большую высоту. Процесс подъемки и опускания пролетных строений свойственен всякого рода установкам их на опоры, независимо от того, будет ли производиться сборка на подмостях над местом установки, или пролетное строение будет доставлено к месту установки путем какого-либо надвигания. При таких установках пролетного строения на опоры подъемка и опускание их в редких случаях превосходит высоту 1,5 *м*; но бывают случаи, когда пролетные строения опускаются и поднимаются на большую высоту.

1) Подъемка пролетных строений. Приемы подъемки отдельных ферм мачтами, кранами и т. п. были уже указаны в § 18. Но эти приемы не применимы для подъемки тяжелых пролетных строений в целом виде.

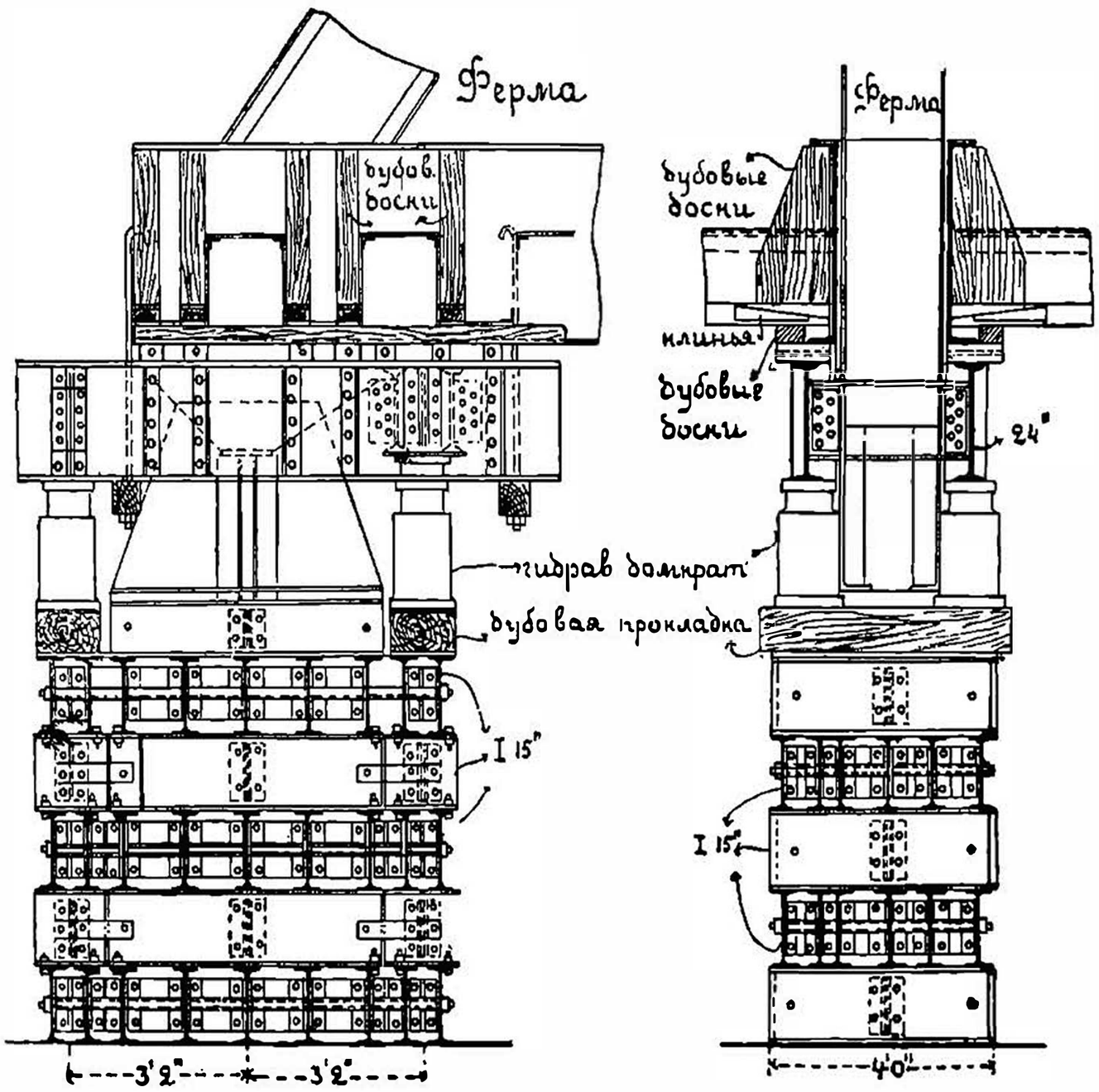


Рис. 347. Подъемка пролетного строения при помощи металлических клеток на мосту через канал Эри.

А. Подъемка домкратами. Проще всего подъемка пролетных строений производится домкратами, с постепенным наращиванием клеток, но этот прием подъемки отличается большой медленностью, что является результатом необходимости частой перестановки домкратов и связанной с этим упругой деформации клеток.

Как указывалось уже выше (см. § 18, формула 10), величина упругой деформации клеток является функцией высоты клеток; поэтому полезное действие домкратов снижается с увеличением высоты клеток.

По опыту восстановительных работ после войны, коэфициент полезной работы домкратов при подъеме на клетках можно считать:

При высоте клеток до 10 *м*	0,5
» » » » 15 »	0,3
» » » » 20 »	0,18

Так как каждая перестановка (перерядка) домкратов занимает в среднем от 1,75 до 2 часов времени, то по этим данным можно сделать предварительный расчет времени потребного для поднятия пролетного строения на заданную высоту. Так, например, подъемка пролетного строения на высоту 7,5 *м* домкратами, с ходом поршня равным 15 *см*, должна сопровождаться $\frac{750}{0{,}5.15} = 10$ перестановками домкрата и, следовательно, потребует от 16 до 20 часов рабочего времени.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Насколько замедляется работа под влиянием упругой деформации клеток, можно судить по тому, что подъемка на ту же высоту домкратами «Perpetuum», снижающими влияние упругости клеток, выполняется в течение 9 часов, т. е. вдвое скорее.

К недостаткам подъемки на деревянных клетках надо отнести вредное влияние перегрузки на них, являющейся в результате неравномерного действия домкратов, за чем очень трудно проследить без установки на них манометров.

Продуктивность работы домкратов увеличивается с заменой деревянных клеток менее упругим материалом, как например железом, когда вся работа домкратов, не считая работы, затрачиваемой на обжатие прозоров между рядами клеток, затрачивается на производство подъемки.

Рис. 348.

На рис. 347 показан тип такой клетки, составленной из 38-*см* двутавровых балок, связанных между собою диафрагмами. По направлению вдоль моста каждый ряд клетки состоит из трех частей: средней, из 5 поперечных балок, служащих для поддержания пролетного строения во время перестановки домкратов, и 2 крайних—из 2 поперечных балок каждая, служащих для установки домкратов. При таком устройстве клеток подъемка на высоту 20 *см* производилась в течение 15 минут.

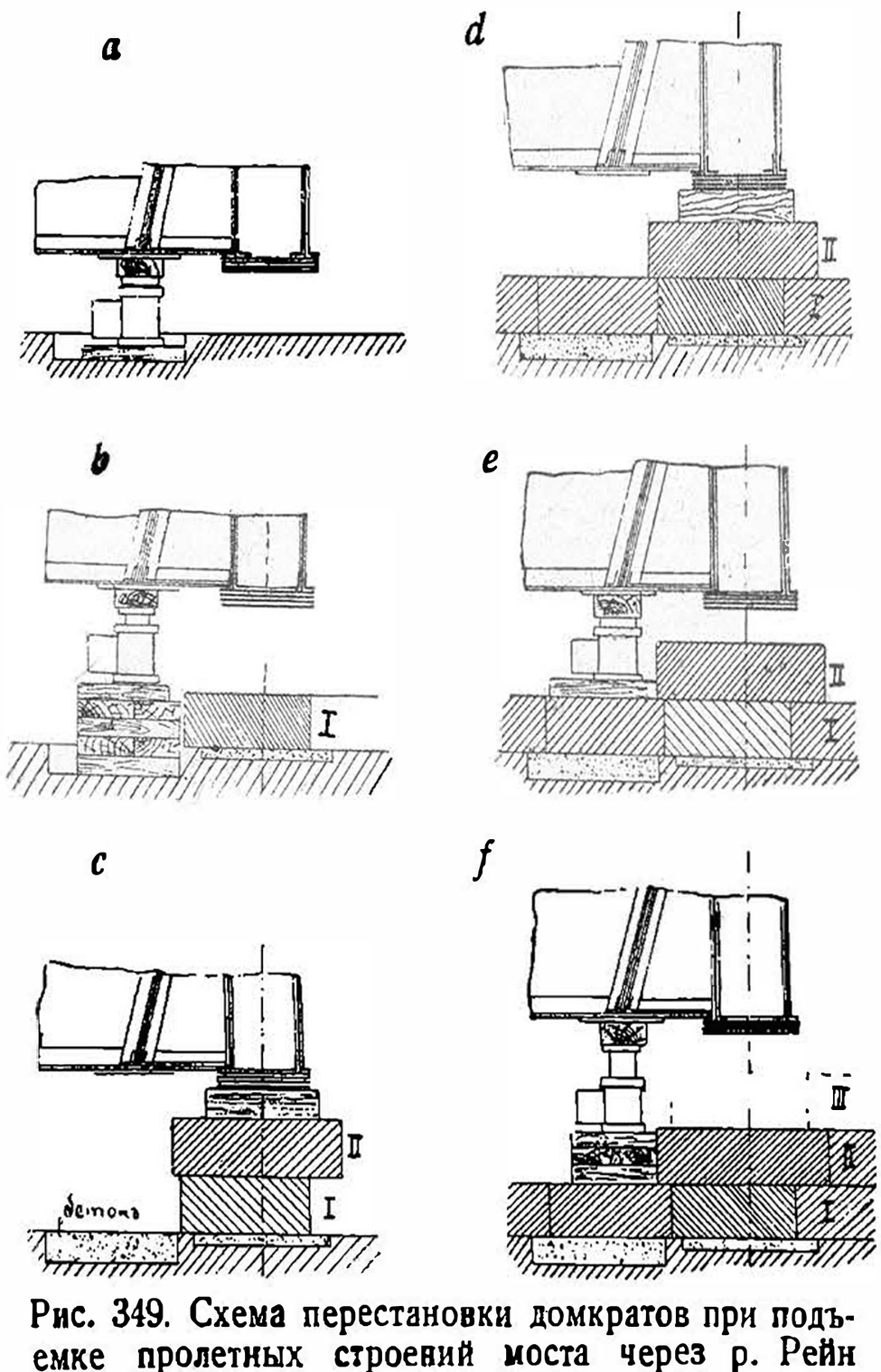


Рис. 349. Схема перестановки домкратов при подъемке пролетных строений моста через р. Рейн близ Бухса.

Выкладка из клеток для поддержания пролетного строения может быть заменена одновременным возведением каменных опор. В этом случае собранное пролетное строение, поднятое на домкраты, опирается на уже сделанную часть опор, и поддерживается в таком виде, пока выкладывается другая часть опор, после чего все пролетное строение переставляется на новую кладку, и кладка возводится на том месте, где стояло пролетное строение, и т. д.

В этих случаях для упора домкратов приспособляются или опорные поперечные балки, или под опорные узлы во всю ширину пролетного строения подводятся металлические балки, достаточно прочные для поддержания пролетного строения, при условии расположения опорных точек в различных местах по длине балки (рис. 348). С подведением балок является возможность, изменяя положения опорных точек ее, постепенно возводить кладку. По мере подъемки домкратами пролетных строений, под фермы или балки подводятся или деревянные клетки, или плиты из камня; во всяком случае не следует полагаться на домкраты и поддерживать ими пролетное строение в течение производства кладки. Кладка опор делается слоями толщиной от 0,4 *м* до 1,0 *м*, в зависимости от чего изменяются периоды подъемки пролетного строения. Последовательность перестановки домкратов и возведения кладки характеризуется схемами рис. 349: черт. *a* — установка домкратов под пролетное строение, черт. *b* — подъемка пролетных строений для выкладки двух рядов камня, черт. *c* — перестановка пролетного строения на вылаженную кладку, черт. *d* —

НБ УДУНТ (ДІІТ)

выкладка кладки на место установки домкратов, черт. *е* — новая постановка домкратов под пролетное строение, черт. *ƒ* — подъемка пролетного строения для выкладки двух рядов кладки и т. п.

При таком производстве работ необходимо считаться с тем, что пролетное строение не может быть опущено на свежевыложенную кладку, так как для затвер-

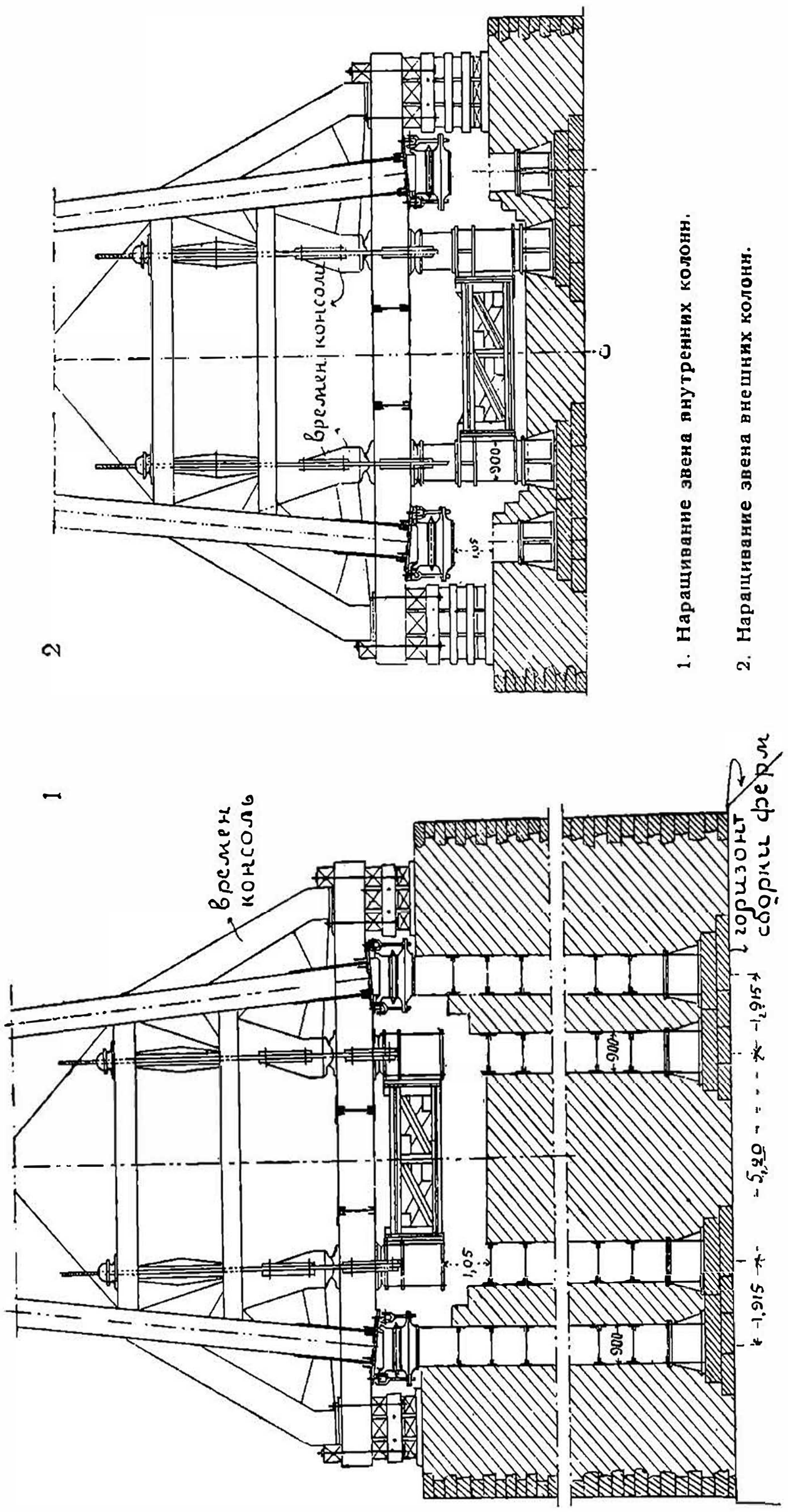


Рис. 350. Подъемка пролетного строения Черноводского моста через р. Дунай.

1. Наращивание звена внутренних колонн.
2. Наращивание звена внешних колонн.

дения ее требуется известный срок. В лучшем случае для кладки из притесанных камней таким сроком можно считать 48 часов, как это было принято на Фортском мосту. Так как выкладка каждого ряда кладки производится в два периода, то на одно только затвердение кладки при каждом периоде подъемки затрачивается не менее четырех суток, что, конечно, отзывается на времени производства работы.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Так, например, при подъемках пролетных строений береговых виадуков Фортского моста:

отметка 7,01 *м* над высокими водами был пройдена в мае 1886 г.
» 14,33 » » » » » » » августе 1886 »
» 27,74 » » » » » » » феврале 1887 »
» 39,62 » » » » » » » августе 1887 »

Чтобы избежать установки пролетных строений на свежую кладку при подъемке пролетных строений Чернаводского моста, в кладку опор закладывались чугунные колонны $d = 0{,}9$ *м*, с толщиною стенок $b = 47$ *мм*. Размеры колонн были рассчитаны из условия, чтобы выступающая из кладки часть их могла сопротивляться сжимающему действию веса пролетного строения. Предельное напряжение на сжатие было допущено в 550 $кг/см^2$; такой низкий коэфициент принят в виду возможной большой перегрузки от ветра [1]). В каждой опоре закладывалось по 4 колонны: две из них служили для установки домкратов, две другие — для поддержания ферм (рис. 350). В помощь колоннам с боков опорных стоек ферм были сделаны консоли, под которые на всякий случай закладывались клетки с клиньями. Концы ферм опирались на поршни гидравлических домкратов посредством катков, чем предусматривалась возможность изменения длины ферм от действия изменения температуры, пока фермы помещались на домкратах. Процесс подъемки на 1 *м* требовал 50 минут времени. По окончании подъемки, чугунные колонны в некоторых местах разбивались, дабы своим расширением от влияния температуры не могли вызвать разрушения кладки; пустое пространство в них заполнялось бетоном.

Одновременное производство подъемки пролетных строений и кладки устоев требует большой площади, обеспечивающей свободу производства работы. Недостаточная для этого ширина мостовых опор восполняется подмостями, которые подвешиваются к пролетному строению и таким образом поднимаются вместе с ним по мере возведения кладки (рис. 351).

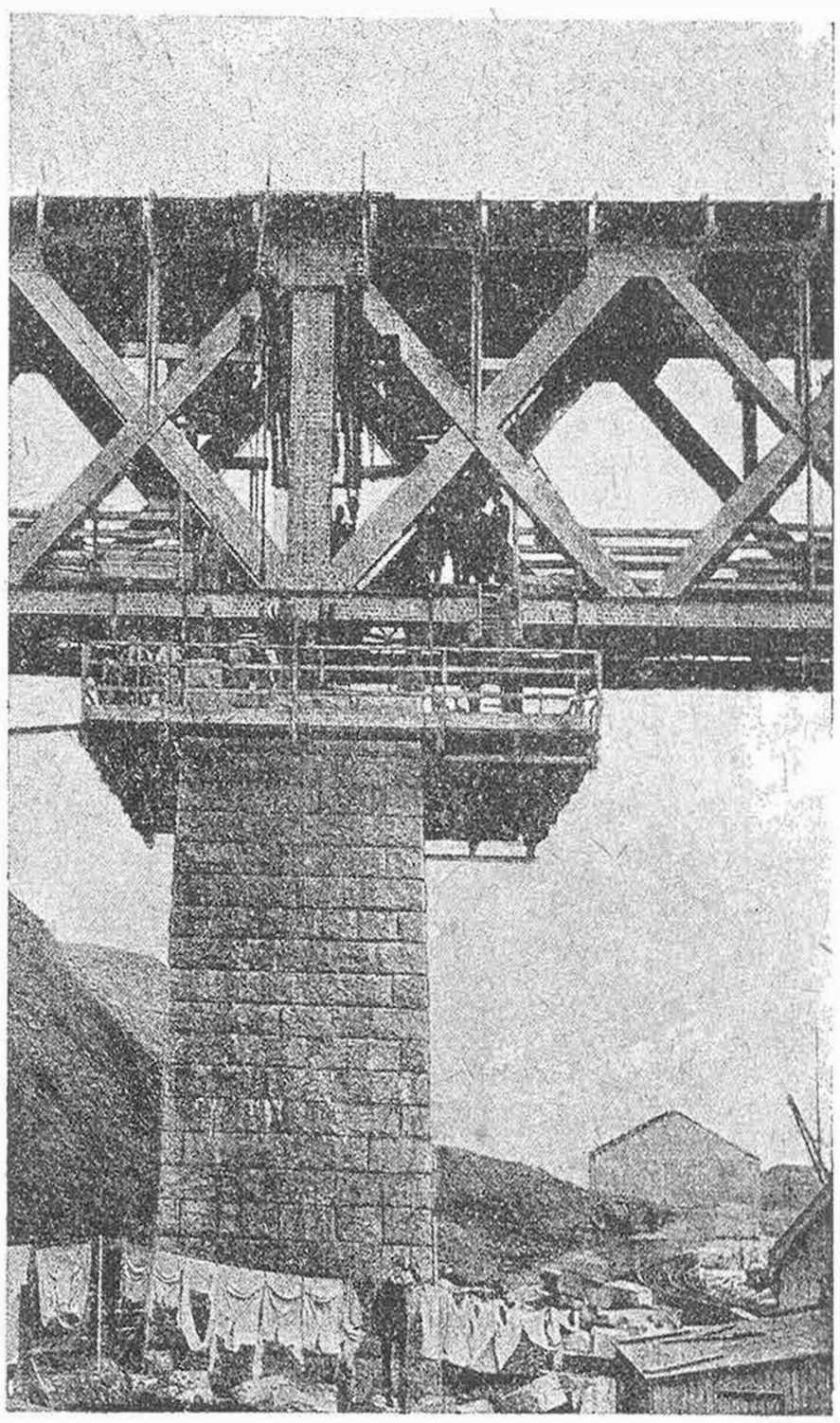


Рис. 351. Подвесные подмости при подъемке пролетных строений на Фортском мосту.

Б. Подъемка цепями. Этот вид подъемки пролетных строений был широко использован при восстановлении мостов, разрушенных в течение последних войн. При сооружении новых пролетных строений, этот вид подъемки с удобством может быть использован только для установки на место подвесных пролетных строений консольных мостов (рис. 352), так как подъемка их в этих случаях не стесняется опорами. В обычных балочных мостах пролетное строение своей длиной всегда превосходит длину отверстия между гранями опор, а поэтому подъемка в этом слу-

---

[1]) Высота ферм Чернаводского моста над опорами — 32 *м*. Длина средней части пролета — 140 *м*; длина консолей — 50 *м*, длина подвесных пролетных строений — 88,2 *м*.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

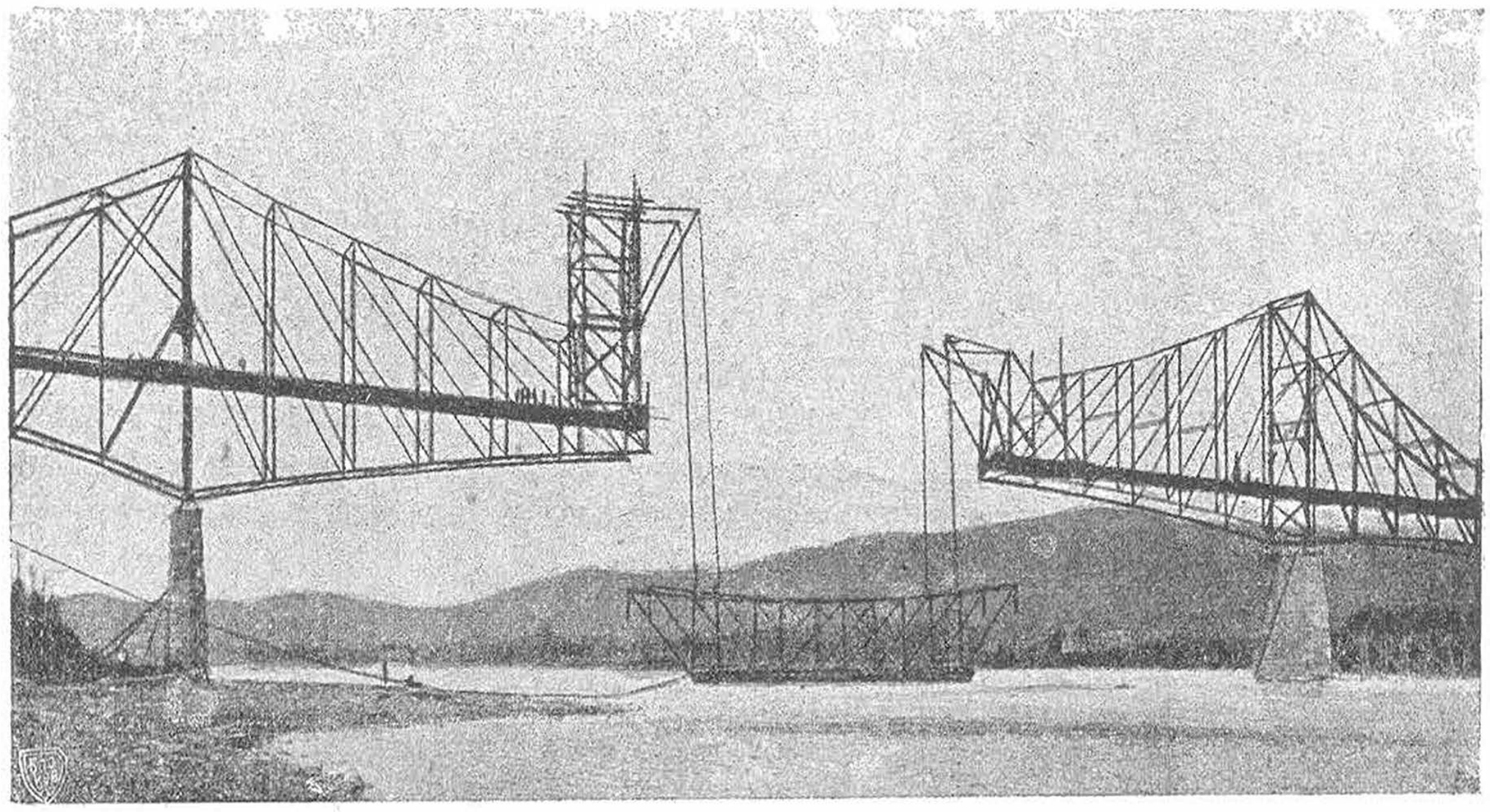


Рис. 352. Подъемка пролетных строений на мосту через р. Эллегени при помощи канатов и блоков.

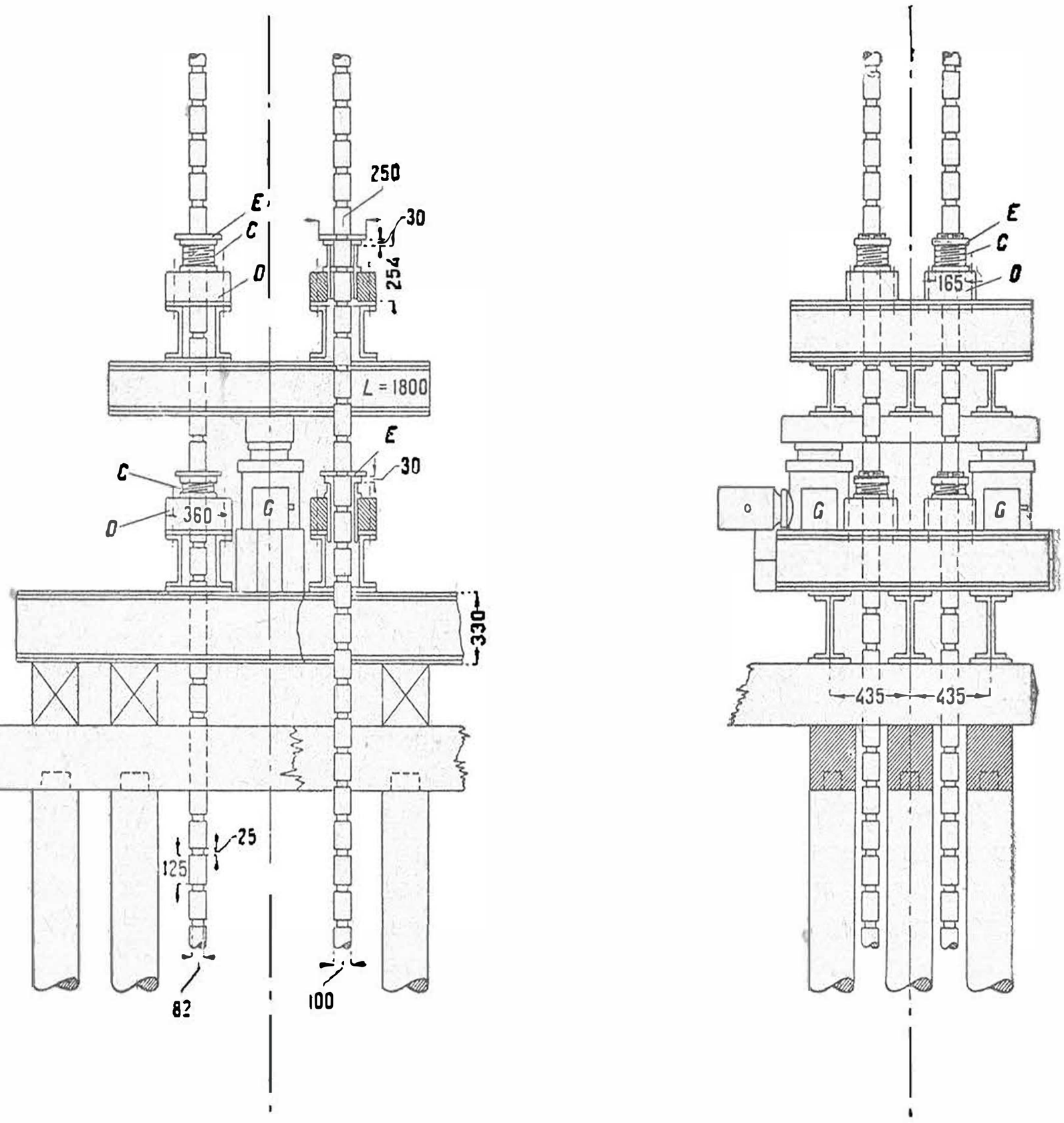


Рис. 353. Подъемка пролетных строений при помощи гидравлических домкратов и штанг.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

чае возможна или при наличии штробы, оставляемой в опорах для прохода ферм, или она может осуществляться с боку опор и должна заканчиваться поперечной надвижкой.

Подъемка цепями осуществляется при помощи гидравлических домкратов и прессов или домкратных винтов, устанавливаемых на особых подмостях, возвышающихся над местом установки пролетного строения, или для этого используются консоли основных пролетов.

На рис. 353 показана схема установки для производства подъемки цепями при помощи гидравлических домкратов. Верхний конец цепи заканчивается штангой с кольцевыми выточками толщиной 25 *мм*, расположенными на взаимном расстоянии 125 *мм*. Эти выточки служат для закладки в них стальных полуколец *E*, которыми штанга поддерживается во время перерядки домкратов. Каждая штанга пропущена через верхнюю и нижнюю коробчатые балки и может быть подвешена к каждой из них при помощи упора, состоящего из полого стакана *C*, ввинченного в массивную гайку *D*. Штанга проходит сквозь полый стакан и подвешивается к нему при помощи стальных полуколец *E*.

Во время подъемки штанги висят на верхних стаканах, опирающихся на двутавровые балки, поднимаемые гидравлическими домкратами *G*. Когда домкраты поднимутся на полную высоту ($\sim$ 150 *мм*), штанги перевешиваются на нижние стаканы, которые подвинчиваются вплотную к кольцам, вложенным в ближайший прорез, после чего домкраты ослабляются и штанга остается висеть на нижних стаканах и балках, подведенных под них. Освободившиеся верхние кольца вынимаются и переставляются в ближайшие нижние выточки, а верхние стаканы подвинчиваются вплотную к ним, после чего начинается новое покачивание домкратов, и весь процесс работы повторяется вновь.

Опыт подъемок, производившихся при таком устройстве, показал, что подъемка на высоту 13—14 *см* с перерядкой домкратов занимает 25—30 минут.

Недостатком такой установки является отсутствие в ней приспособления для укорачивания цепи и опускания штанги, которая по мере хода подъемки поднимается все выше и выше. При описанном устройстве эту перестройку можно произвести, лишь допуская перегрузку части штанг за счет сменяемых. Работа эта производится следующим способом: когда оставляемые штанги будут подвешены на кольцах к нижним стаканам, снимаемые штанги как свободные могут быть освобождены от цепей; последние могут быть укорочены; штанги — опущены и вновь соединены с цепью, после чего они могут быть вновь введены в работу. Если в установке имеются четыре штанги, как показано на рис. 353, то рекомендуется производить смену штанг попарно, так как этим устраняется перекос штанг, опирающихся на один и тот же домкрат. Соответственно этому должен производиться расчет прочности самих штанг.

Опыт производившихся работ показал, что смена одной штанги длиною 3 *м* (или одновременно двух штанг той же длины) занимает от 25 до 30 минут. В среднем можно считать, что при вышеописанном устройстве, благодаря целому ряду задержек, средняя скорость подъемки в течение суток в редких случаях превосходит 2—2,5 *м*.

Работа по подъемке могла бы быть более продуктивной, а размеры штанг могли бы быть лучше использованы, если бы в установке было предусмотрено приспособление для перестановки штанг наподобие показанного на рис. 335, или конструкция была бы спроектирована по типу, выполненному при подъемке подвесного пролетного строения Квебекского моста в Америке (рис. 354).

Цепи *d*, служившие для подъемки пролетного строения этого моста [1]), состояли

---

[1]) Поднимавшееся пролетное строение имело длину 195 *м* и весило около 5 000 *т*. Le Géme Civil 1917 г., Т. 71., № 20.

Показанные на рис. 354 фермочки *f* имели служебное назначение для первоначальной установки пролетного строения на подвески.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

из плоских звеньев, соединявшихся между собой болтами, закладывавшимися в проушины; таких цепей было по две под концом каждой фермы (8 — на пролет). По всей длине цепи были расположены через каждые 0,6 *м* дыры, через которые пропускались болты, которыми цепь по мере подъемки подвешивалась к поперечным балкам *b* и *c* коробчатого типа, сквозь которые проходила цепь. Балка *b* помещалась на двух гидравлических домкратах с подъемной силой 1 000 *т* каждый и с длиной хода поршня, обеспечивающей подъемку сразу на длину 0,6 *м*. Домкраты *v* помещались на поперечных балках *c*, неподвижно установленных на консольной части главных ферм моста. При накачивании домкратов, поршни поднимают балку *b* вместе с цепью прикрепленной к ней; когда поршень достигнет высшей точки, цепь прикрепляется к балкам *c* путем закладывания в отверстие балки и соответствующую дыру цепи болта, что позволяет освободить балку *b* от цепи и опустить ее вместе с поршнями домкратов до самого низкого положения; после чего цепь

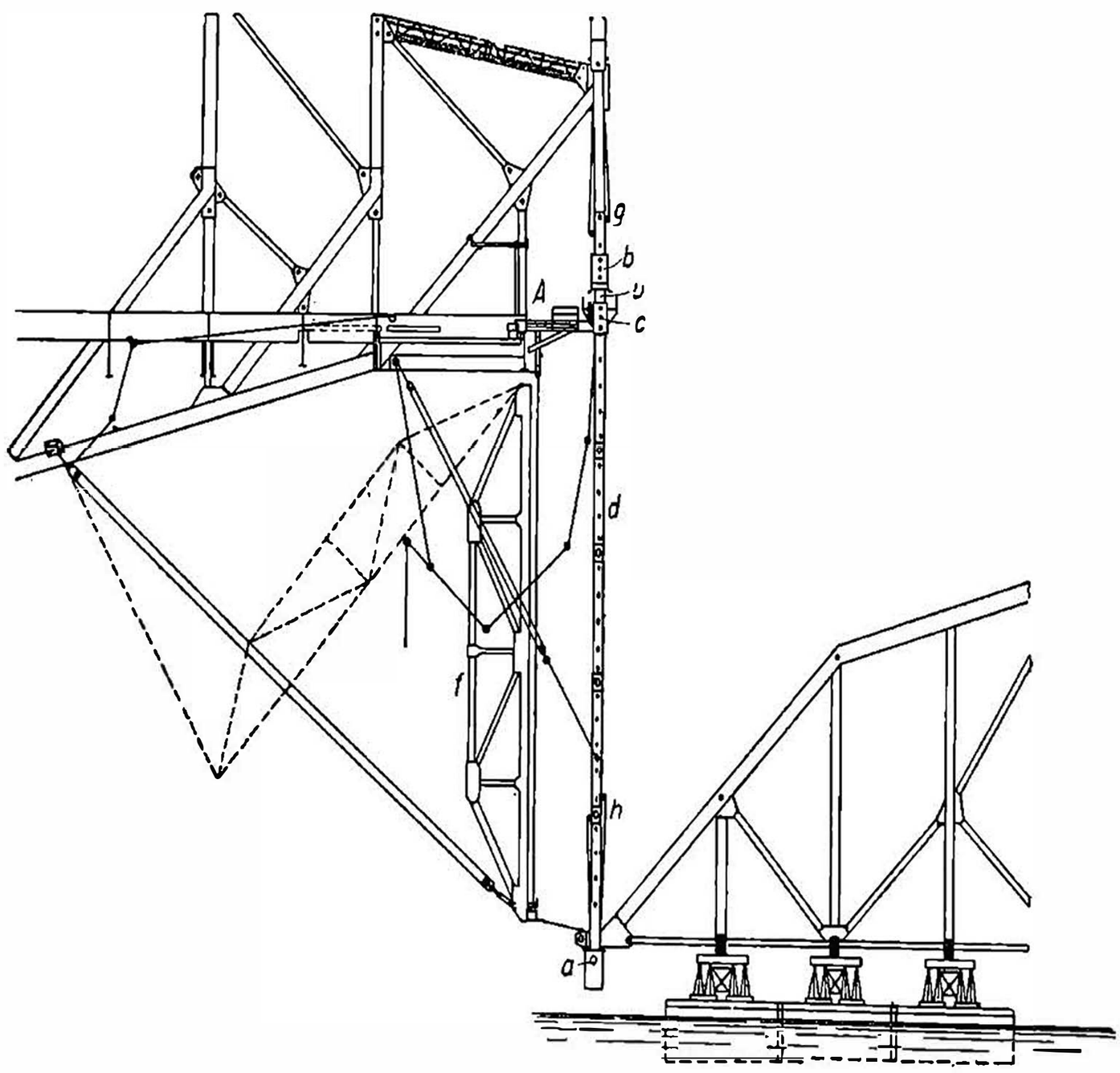


Рис. 354. Подъемка пролетных строений при помощи гидравлических домкратов и цепей на мосту через р. Лаврентия в Квебеке.

вновь соединяется с балкой *b* путем закладки в соответствующие дыры болта, балка *c* освобождается от цепи, и подъемка может производиться вновь и т. д. В таком виде подъемка продолжалась до тех пор, пока отверстие *h* цепи не совпало с отверстием *G* элемента моста.

По мере поднятия отдельные звенья цепи выходят через балку *b* кверху, где легко без остановки работы могут быть разъединены от ниже лежащей цепи.

Весь процесс каждого периода подъемки занимал от 15 до 19 минут, из этого времени собственно подъемка продолжалась 6 — 8 минут. В течение рабочего дня выполнялось 20 — 26 процессов подъемки.

Аналогичное устройство цепной подъемки при помощи гидравлических домкратов запроектировано для установки арочных пролетных строений на мосту через р. Днепр на Днепрострое.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

По этому проекту арочные пролетные строения должны быть доставлены к месту установки на баржах, расчлененными на две половинки (рис. 321). Баржи с погруженными на них частями арок должны быть введены в отверстие подмостей, запроектированных в виде двух металлических башен (рис. 355), служащих опорами для балок D, на которых помещаются гидравлические домкраты, обслужива-

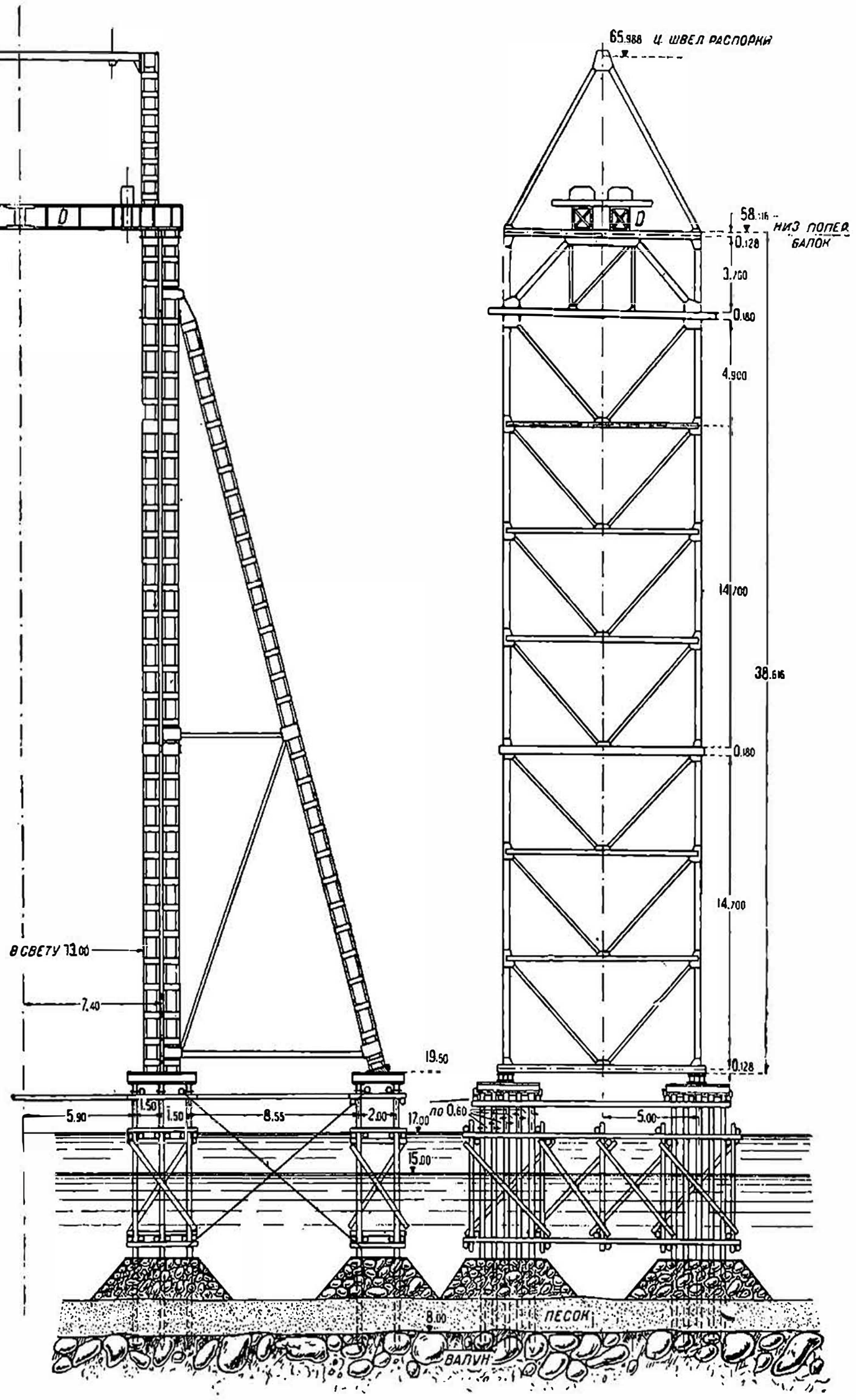


Рис. 355. Опора для производства подъемки пролетного строения при помощи цепей.

ющие подъемку. Для производства подъемки срединный конец половинок арки помещается при посредстве роликов C (рис. 356) на балку B, концы которой укреплены на балансирах ($d = 130\,мм$) к цепям из листов $480 \cdot 14\,мм^2$, при помощи которых эти концы половинок арок поднимаются на проектную высоту, в то

НБ УДУНТ (ДІІТ)

время, как опорный конец той же половинки остается на опорном балансире и сама арка в процессе подъемки вращается вокруг него (рис. 321). Цепи снабжены отверстиями $d = 131$ *мм*, расположенными на взаимном расстоянии 300 *мм*; эти дыры должны служить для закладки балансиров, поддерживающих цепи во время подъемов и перезарядки домкратов.

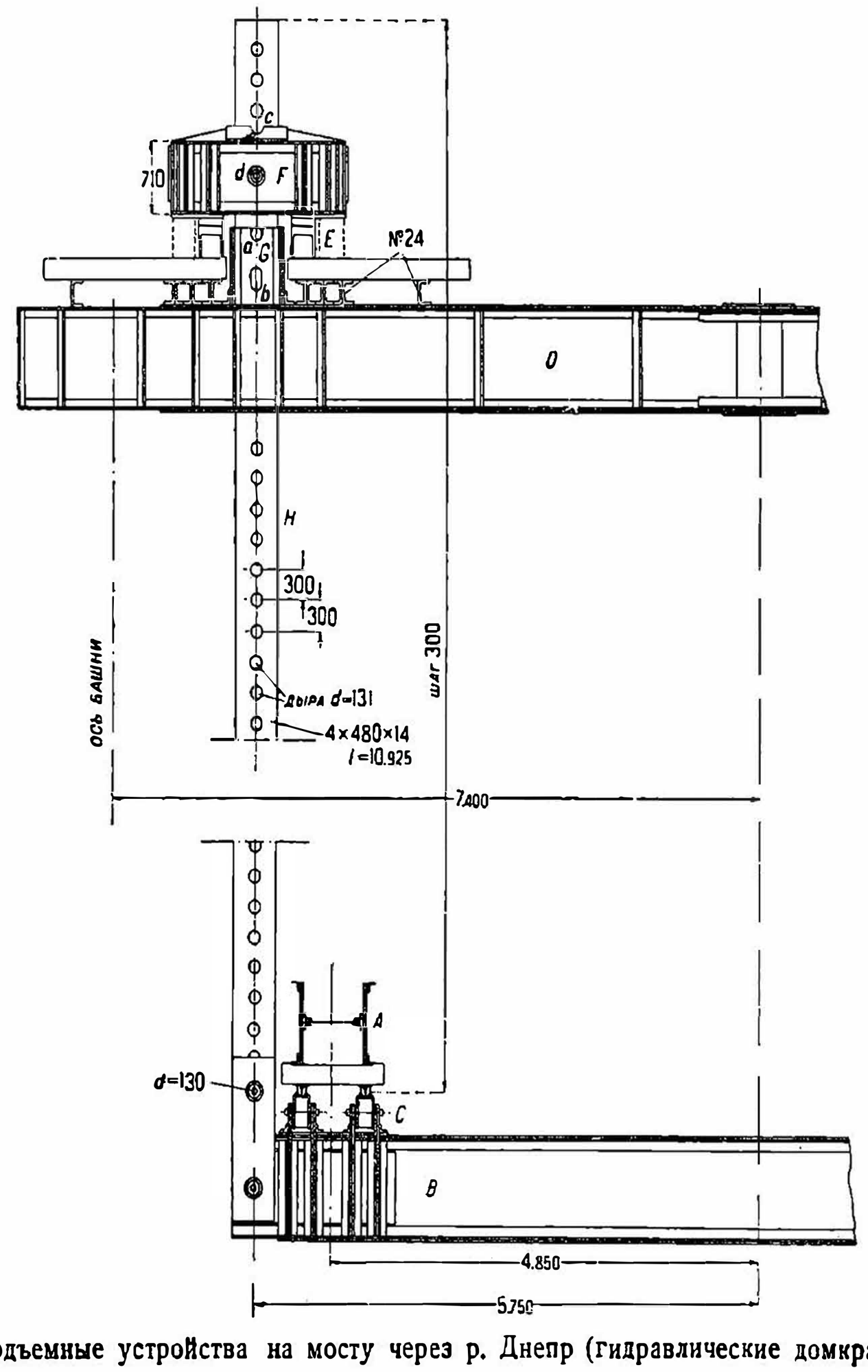


Рис. 356. Подъемные устройства на мосту через р. Днепр (гидравлические домкраты и цепи).

Подъемные приспособления запроектированы из подушки F (рис. 356), опирающейся на домкраты E, помещающиеся на выстилке из балок № 24. В подушке F имеется отверстие d для закладки балансира и малая подушка C также для кладки балансира. Такие же отверстия a и b имеются на неподвижной подушке G, служащей для поддерживания цепи во время перезарядки домкратов. Указанные отверстия в обеих подушках расположены на взаимном расстоянии в 450 *мм*, что позволяет делать перезарядку домкратов при высоте хода их в 150 *мм*. Процесс подъемки заключается в следующем: в исходном положении цепи подвешены на балансире, заложенном в отверстие a подушки G (рис. 356 a); после закладки балансира в отверстие d подушки F, производится подъемка на высоту 150 *мм*,

НБ УДУНТ (ДІІТ)

что позволяет заложить балансир в отверстие в подушки G (рис. 356b) и освободить подушку F для опускания ее на 150 *мм* вместе с домкратами; это опускание позволяет уложить балансир в отверстие C подушки F и произвести новую подъемку на высоту 150 *мм*, после чего становится возможным заложить балансир в отверстие a подушки G, освободить подушку T и таким путем вернуться в исходное положение.

Можно отметить, что недостатком описанной установки является необходимость частой перестановки домкратов, обусловливаемой малой высотой их хода.

В процессе всей описанной, подъемки, каждая из половинок арки должна вращаться вокруг пятового шарнира, что связано с описыванием ею дуги круга и изменением длины хорды между пятовым шарниром и балкой B, поддерживающей срединный конец. Чтобы устранить перекосы, связанные с этим постепенным удлинением хорды, установка арки на подушку B запроектирована на роликах C (рис. 357), которые могут катиться по рельсовой выстилке под аркой. Такое устройство позволяет балке B и цепям оставаться в процессе подъемки в вертикальном положении, арке же изменять длину своей хорды.

Во время производства подъемки гидравлическими домкратами особое внимание надо обращать на равномерность хода их, или, вернее, на равномерность загружения цепей. Рекомендуется соединять домкраты общей нагнетательной трубкой и производить накачку их одним насосом. Если этого выполнить нельзя, то следует снабжать домкраты манометрами и по ним следить за величиной нагрузки цепей.

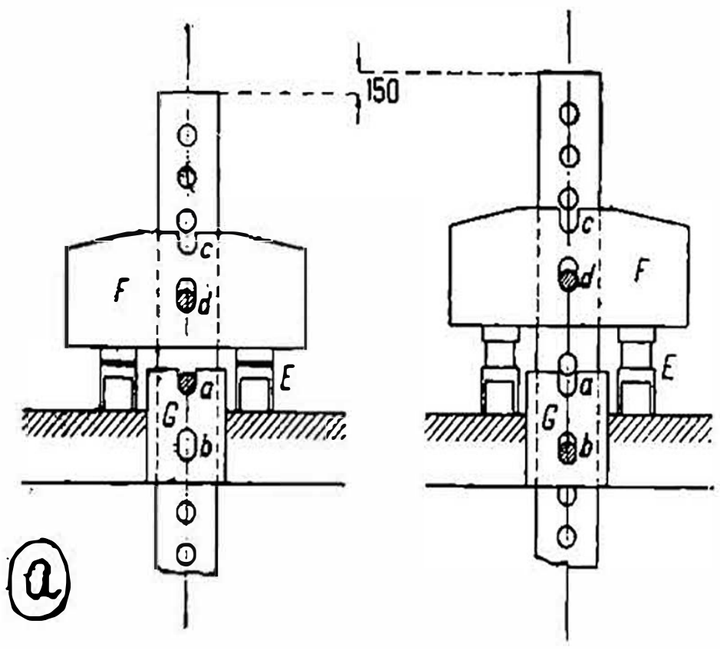


Рис. 356a и 356b.

Гидравлические домкраты могут быть заменены домкратными винтами по типу указанных на рис. 335, что упрощает всю установку, но, ввиду того, что винты имеют небольшой коэфициент полезного действия (около 0,35, т. е. почти вдвое меньший, чем гидравлические домкраты), общее число их в установке должно быть больше, вследствие чего очень трудно достигнуть равномерного загружения их, что нередко ведет к обрывам их.

При небольшом весе пролетных строений, домкраты с успехом могут быть заменены полиспастами с лебедками (рис. 352); коэфициент полезного действия лебедок с полиспастами изменяется от 0,5 до 0,7, но работа на них идет непрерывно, а потому продуктивность их значительно выше. Так, например,

а) пролетное строение моста через реку Эллегени (рис. 352), пролетом 45,7 *м* и весом около 50 *т*, было поднято на высоту 28 *м* в течение 3 часов;

б) фермы подмостей моста через реку Вуппер (рис. 209), пролетом 28 *м*, весом около 24 *т*, были подняты на высоту 50 *м* в течение 3 часов.

При производстве подъемок цепями надо обращать особое внимание на соединение цепи с поднимаемыми фермами. Проще всего это можно было бы делать путем подвески ферм к цепям при посредстве проушины, с пропуском через нее болта, чем обеспечивалась бы возможность как колебаний фермы, так и вращения ее вокруг болта. Но такое устройство не всегда возможно в фермах с клепаными узлами, а также в фермах с большим весом, под которые приходится подводить особо сильные балки, которые поддерживаются цепями.

На рис. 358 показана коробчатая балка, служившая для поддержания каждого конца ферм пролетного строения на Квебекском мосту во время их подъемки. Эта балка коробчатого сечения имела две проушины, служившие для укрепления цепей; расстояние между проушинами равнялось 4,87 *м*, а высота балки — 2,12 *м*.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

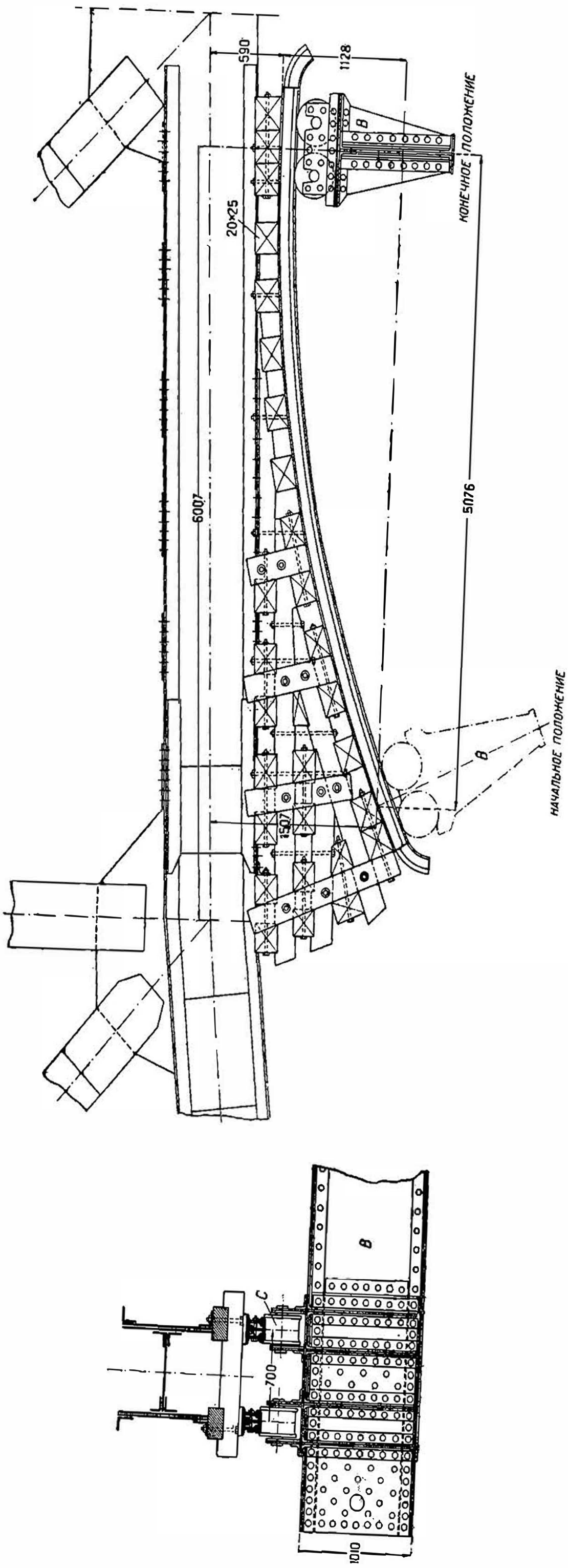


Рис. 357.

Фермы опирались на эти балки при помощи специальных опорных подушек. При подъемке в 1916 г. эти подушки были запроектированы из углеродистой стали и состояли из двух шарниров, положенных накрест (рис. 359a), чем обеспечивалась возможность колебания пролетного строения в обоих направлениях; в начале подъемки одна из подушек лопнула и вызвала падение всего пролетного строения. При новой подъемке в 1917 г., опорные части были с большой осторожностью сделаны в виде двух плоских подушек: верхней — толщиной 5,9 *см* из никелевой стали, и нижней — толщиной 8,4 *см* из углеродистой стали (рис. 359 b); между этими подушками помещался вкладыш *C* из никелевой стали, толщиной около 9 *см*, имевшей верхнюю поверхность обработанной по пологой кривой. Кроме этих центральных опорных подушек *A*, с каждого боку их имелось по подушке *B*, на которые ферма опиралась во время перевозки, и которые оставались запасными во время подъемки, на случай, если бы центральная подушка села и на случай чрезмерных колебаний пролетного строения.

При производстве подъемок цепями следует вообще обращать внимание на возможность балансирного закрепления ферм, так как жесткое закрепление всегда вызывает перекос цепей

НБ УДУНТ (ДІІТ)

и штанг, что сопровождается заеданием в них и, следовательно, перенапряжениями.

2) Опускание пролетных строений. Опускание пролетных строений на небольшую высоту, в сущности говоря, сводится к работе домкратов или расклиниванию сборочных клеток (см. § 18).

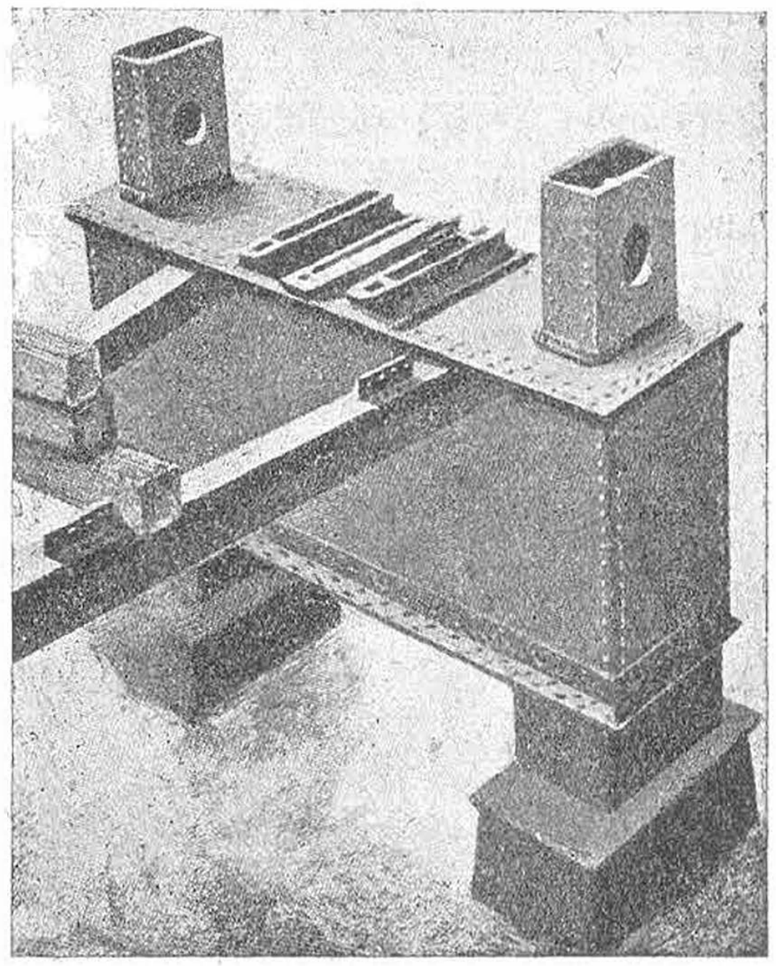


Рис. 358.

Процесс опускания пролетного строения с высоких клеток аналогичен процессу поднимания их при помощи выстилки из клеток, но обратен только по ходу работы и обладает всеми недостатками, свойственными работе с клетками, т. е. медленностью работы и малой продуктивностью.

Более высокая продуктивность имеет место при опускании помощью песчаных цилиндров по типу, показанному на рис. 331.

На рис. 360 показана установка, примененная для опускания 86-*м* пролетных строений моста через р. Одер около Тширна [1]). Цилиндры были установлены в первой панели и поддерживали его при помощи специально устроенного шпренгеля *C*. Перед опусканием пролетные строения были установлены на малые песчаные цилиндры *D*, устройство которых хорошо известно по применению их для раскружаливания арочных мостов. Такая установка позволила не держать продолжительное время пролетное строение на малоустойчивом столбе из отдельных песчаных цилиндров, служащих для опускания. Перестановка пролетного строения на эти последние делается перед началом опускания, путем выпуска песка из цилиндров *D*. Весь процесс опускания этого моста прошел непрерывно и вполне гладко.

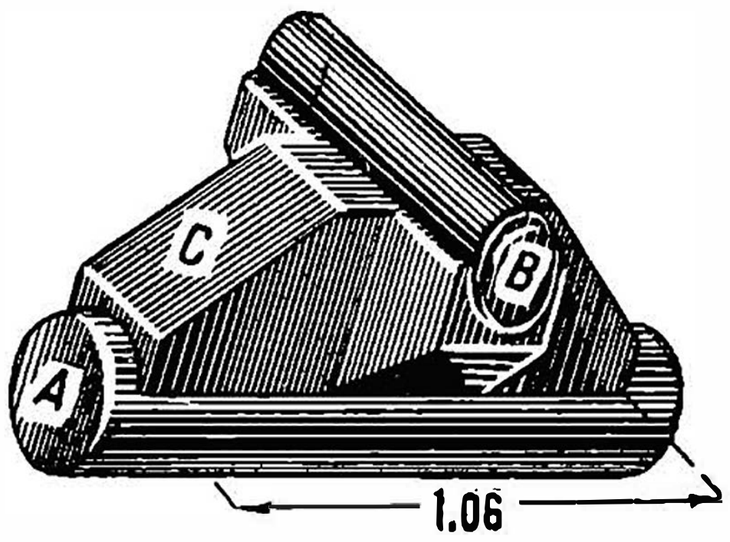


Рис. 359a.

Опускание пролетного строения моста близ Магдебурга [2]) (рис. 331) было сделано на высоту 3,45 *м*. Для установки песчаных цилиндров были сделаны специальные консольные устройства по концам пролетного строения. Выпускное отверстие цилиндров имело диаметр 2,5 *см*. Опускание на высоту каждого цилиндра, т. е. на высоту 40 *см* при полном открытии отверстия, продолжалось 6,5 минут.

Преимущество опускания на песчаных цилиндрах заключается в непрерывности их работы, начавшееся опускание не прерывается перестановкой их, как это имеет место при опускании на домкратах.

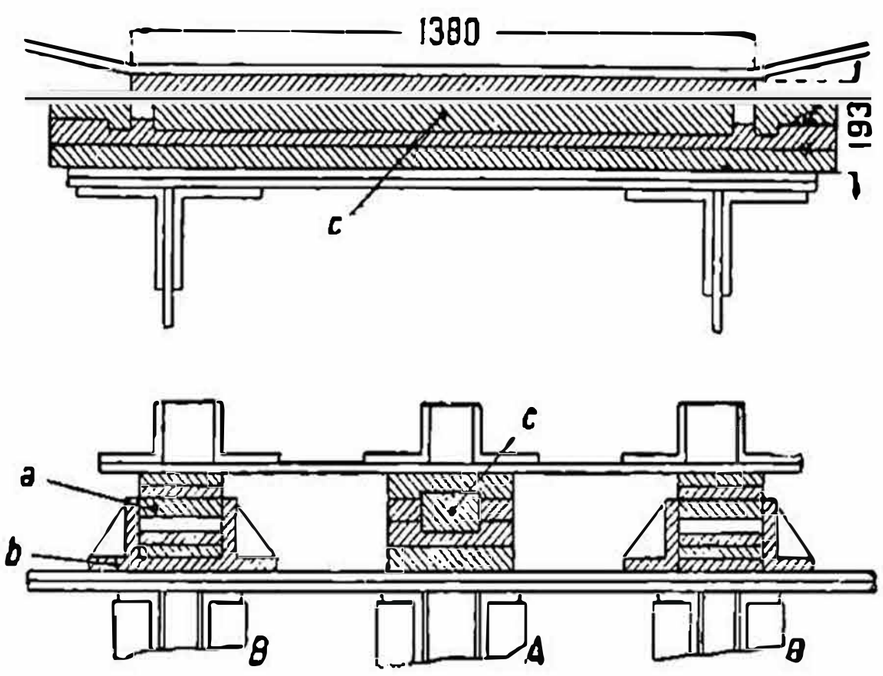


Рис. 359b.

[1]) Der Eisenbau, 1916, № 3, стр. 62.
[2]) Zeitschr. d. Arch. u. Jng. Ver. zu Hannover, 1878.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При опускании на большую высоту, что связано с устройством высоких столбов из цилиндров (рис. 360), надо считаться с изменением длины пролетного строения под влиянием колебания температуры, что может вызвать перекос столба. Так как самое опускание продолжается недолго, то для устранения указанного влияния лучше производить опускание в ранние утренние часы, когда нельзя ожидать сильных колебаний температуры, поддерживая пролетное строение до начала опускания или на клетках или на особых невысоких песчаных цилиндрах.

§ 40. Установка пролетных строений на опоры. Независимо от того, будет ли пролетное строение собираться на подмостях, или оно будет доставлено к месту установки в целом виде и надвинуто тем или иным способом, каждая из этих работ заканчивается установкой пролетного строения на опорные подушки. В свою очередь установка на подушки связана с вопросом снятия пролетного стро-

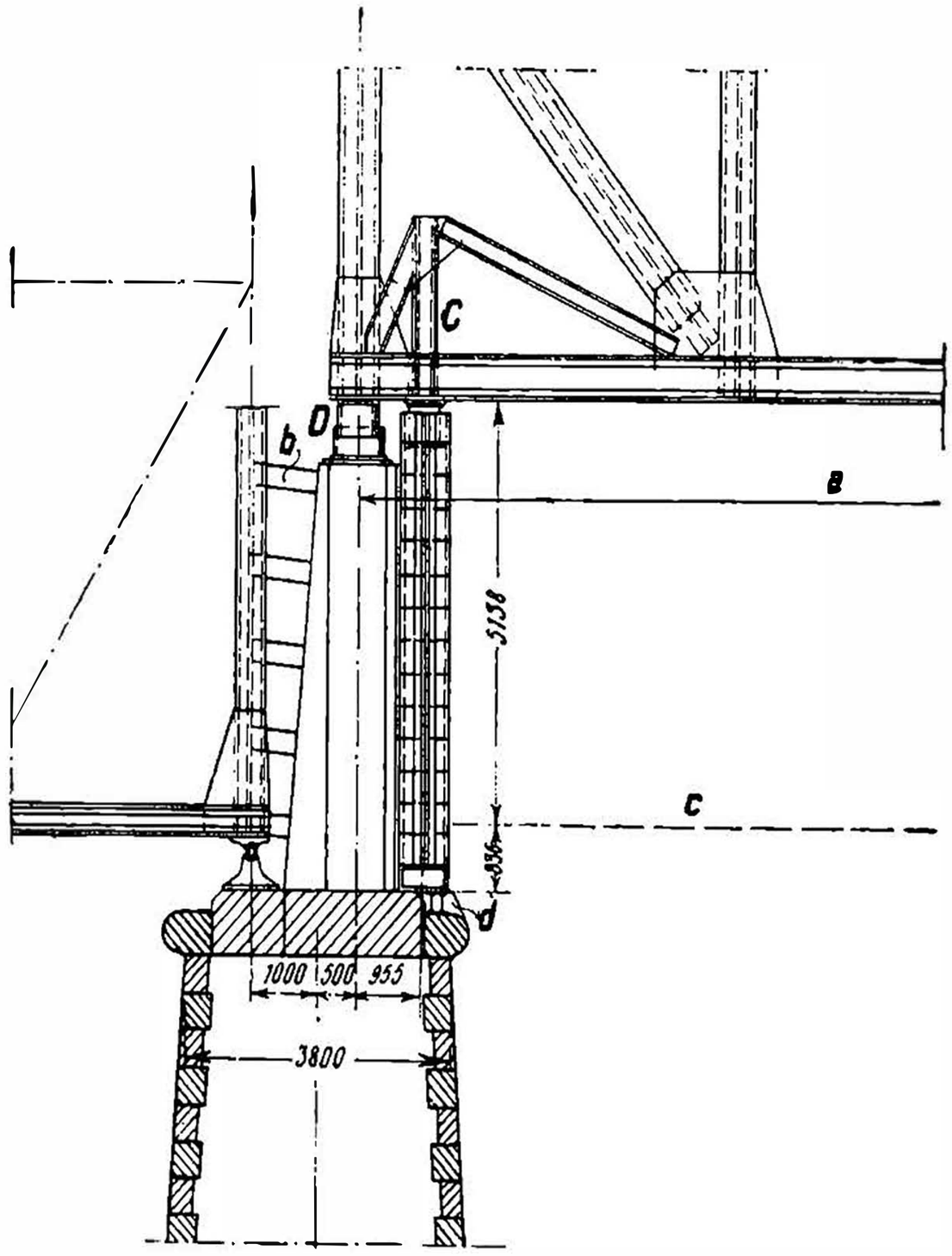


Рис. 360. Приспособление для отыскания пролетного строения при помощи разборных металлических цилиндров с песком.

ения или со сборочных клеток или с подвижных приспособлений; так как для обоих видов снятия требуется подъемка и опускание на небольшую высоту, не превосходящую 0,5 *м*, то для производства их приспособляются клинья и домкраты.

Предварительно до опускания пролетного строения на опоры производится установка нижних опорных плит или подушек и катков подвижных опор. Плиты и подушки устанавливаются точно по оси моста и мостовых опор; путем тщательной нивелировки они приводятся к одному уровню, для чего временно по своим углам подбиваются деревянными или металлическими клиньями; после выверки положения, они или подливаются портландским цементом, или между ними и камнем прокладываются свинцовые листы; как цемент, так и свинцовые листы служат для равномерного распределения давления на камень.

Цемент для подливки подушек смешивается в пропорции 1 1 и разводится

НБ УДУНТ (ДІІТ)

жидко водой настолько, чтобы он свободно растекался по горизонтальной поверхности. Подливка производится постепенным, беспрерывным приливанием цемента с одной или с двух противоположных сторон подушки так, чтобы цемент, заполняя пространство под подушкой, выгонял имеющийся там воздух в прозоры двух других сторон подушки. При подливке наклонных подушек цемент приливается с верхней стороны подушки, причем прозоры со стороны остальных трех сторон временно забиваются паклей или бумагой. Подлитые опорные подушки должны оставаться в ненагруженном состоянии до окончания схватывания цемента, которое заканчивается примерно через 8—10 часов после его затворения; вообще же рекомендуется делать подливку не менее как за сутки до опускания на подушки пролетного строения.

Если установка пролетного строения производится в морозное время, то подливка вне тепляков невозможна; и цемент в таких случаях заменяется свинцовыми листами соответствующей толщины. Последняя должна быть не менее 5 *мм*, так как при меньшей толщине свинец мало раздавливается и не выполняет своего назначения—заполнять все неровности в поверхности камня.

Положение катков подвижных опор балочных мостов определяется с таким расчетом, чтобы центральное положение катков относительно оси опорного балансира соответствовало средней температуре местности и прогибу ферм от полной вертикальной нагрузки. Особенно важно соблюдение этого условия при установке срезанных катков, так как излишнее смещение катков может вызвать их завалку.

Смещение подвижной опоры под влиянием прогиба от полной вертикальной нагрузки определяется по общеизвестной формуле:

$$\Delta l_p = \sum \frac{\bar{N} N}{E\omega} s, \tag{97}$$

в которой $\bar{N}$ — продольные усилия в элементах фермы от единичной силы, приложенной по направлению рассматриваемого перемещения, N — продольные усилия от действительной нагрузки, ω и s — площадь поперечного сечения и длина каждого элемента, E — модуль продольной упругости.

Если опорные части расположены на уровне прямолинейного пояса, как это обычно бывает в балочных мостах, и сам пояс распределяется на равные панели длиной — d, то предыдущая формула упрощается и приводится к виду:

$$\Delta l_p = \frac{d}{E} \sum \frac{N}{\omega} = \frac{d}{E} \sum n_p, \tag{98}$$

где n_p — расчетные напряжения в каждом элементе от полной вертикальной нагрузки.

Смещение подвижной опоры от изменения температуры определяется величиной:

$$\Delta l_t = (T^\circ - t^\circ)\, \alpha L, \tag{99}$$

где T — температура в день установки, t — средняя температура местности, α — коэфициент линейного удлинения погонного метра при изменении температуры на 1°, L — длина пролета.

Таким образом полное смещение подвижной опоры определяется суммой:

$$\Delta l = \Delta l_p + \Delta l_t$$

и направлено внутрь или наружу, в зависимости от знака величин Δl_p и Δl_t.

Смещение же центра катков будет вдвое меньше, т. е. равно 0,5 Δl.

Если катки срезные, то им дается наклон, проекция которого измеряется величиной Δl, а угол наклона α — вертикальной оси катка определяется величиной (рис. 361)

$$\operatorname{tg} \alpha = \Delta l : h, \tag{100}$$

где h — высота срезных катков.

Установка на опоры неразрезных пролетных строений усложняется тем, что все их опоры должны быть расположены строго на проектных отметках. Нельзя быть

НБ УДУНТ (ДІІТ)

уверенным, что такое положение будет достигнуто путем простого нивелирования, — поэтому прибегают к другим видам контролирования установки.

Более точных результатов можно достигнуть одновременным контролированием давления на всех опорах, для чего под всеми опорами пролетного строения устанавливаются гидравлические домкраты, в цилиндры которых вводятся манометры. Если поршни домкратов все одного диаметра и одинаковые, то показания манометров будут строго пропорциональны реакциям опор пролетного строения.

Изменяя давление в домкратах, установленных на промежуточных опорах, т. е. повышая или понижая пролетное строение, можно достигнуть требуемого соотношения показаний манометров на всех опорах. Для большей успешности в регулировании давления домкраты, устанавливаемые на каждой из мостовых опор, соединяются между собой трубками и снабжаются общим манометром.

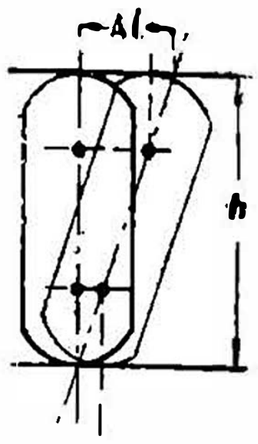


Рис. 361.

Установка на место трехшарнирных арочных пролетных строений должна начинаться с установки их на пятовые шарниры, а затем уже обе половины арки должны постепенно опускаться путем вращения в пятовых шарнирах до соприкасания в ключевом шарнире.

Может случиться, что вследствие неравномерного нагрева обеих половинок арки ключевой шарнир сместится при установке в сторону, но это не имеет значения, так как, при последующем выравнивании температуры, это смещение должно само по себе выправиться.

Установка на место двухшарнирных и бесшарнирных арок связана с введением в них, как в статически неопределенные системы, расчетных напряжений, соответствующих моменту установки, что требует особых приемов и приспособлений, о чем см. ниже § 45.

D. Сборка без подмостей.

§ 41. Характер навесной сборки. По сравнению со сборкой на настиле, навесная сборка отличается более сложным производством работ и более сложными сборочными приспособлениями, ввиду чего она применяется в исключительных случаях, когда применение сборки на настиле невозможно или слишком невыгодно, как это бывает, например, на реках с высокими берегами, глубоким скалистым руслом, очень быстрым течением и т. п. В основе метода навесной сборки лежит использование свойства систем с заделанными концами поддерживать самих себя и даже известную часть нагрузки.

Навесная сборка всегда начинается от опорных узлов пролетного строения, откуда и ведется постепенным наращиванием или к средине, или к противоположному концу. Наращивание ведется в таком порядке, чтобы последовательно присоединяемые части ферм по возможности сейчас же образовывали неизменяемую систему.

На рис. 362 показана схема сборки балочного моста. По установке вспомогательных подмостей для движения крана, первоначально укладывается часть B нижнего пояса, которая одним концом кладется на опорную подушку, а другим временно подвешивается к тяге C, снабженной стяжной муфтой для регулирования положения стержня B. Далее ставится наклонный стержень D, нижний конец которого соединяется болтом L_0 со стержнем B, верхний конец укрепляется тягой G. Далее кладется стержень A, навешиваются вертикаль E, раскосный стержень F и ставятся болты U_1 и L_1 после чего тяга C освобождается. На приведенную таким образом в жесткую систему часть фермы продвигается сборочный кран, и сборка ферм продолжается в том же порядке, т. е. к концу первой части B нижнего пояса и раскосу F навешивается вторая часть нижнего пояса, затем вторая часть верхнего пояса и т. д.

В том же порядке собираются арочные фермы (рис. 363). К уже собранной части арки 0—0′—4′ навешивается часть 4—5 нижнего пояса с укрепленной на ней подвесной рамой для подмостков; ставится элемент решетки 4—5′ На подвесную

НБ УДУНТ (ДІІТ)

раму нижнего пояса и в стойку 4—5′ закладываются долевые прогоны для подмостей, обслуживающих узел 5, и делаются консольные подмостки для узла 5′ верхнего пояса. Помощью этих подмостков ставятся и закрепляются в узлах 5 и 5′ элемент 5—5′ и часть 4—5′ верхнего пояса. Одновременно с этим делаются подмостки для сборки горизонтальных и вертикальных связей. По окончании наводки узлов 5 и 5′ собирается последующая часть ферм $A-B$ проезжей части моста, сборочный кран продвигается вперед, и производится сборка следующей части арки.

В условиях навесной сборки затруднения имеют место при сведении стыковых соединений в узлах, когда приходится навесу регулировать положение отдельных элементов фермы, сходящихся в узле, давая им иногда незначительные перемещения и не имея при этом достаточного числа неподвижных точек для упора сборочных

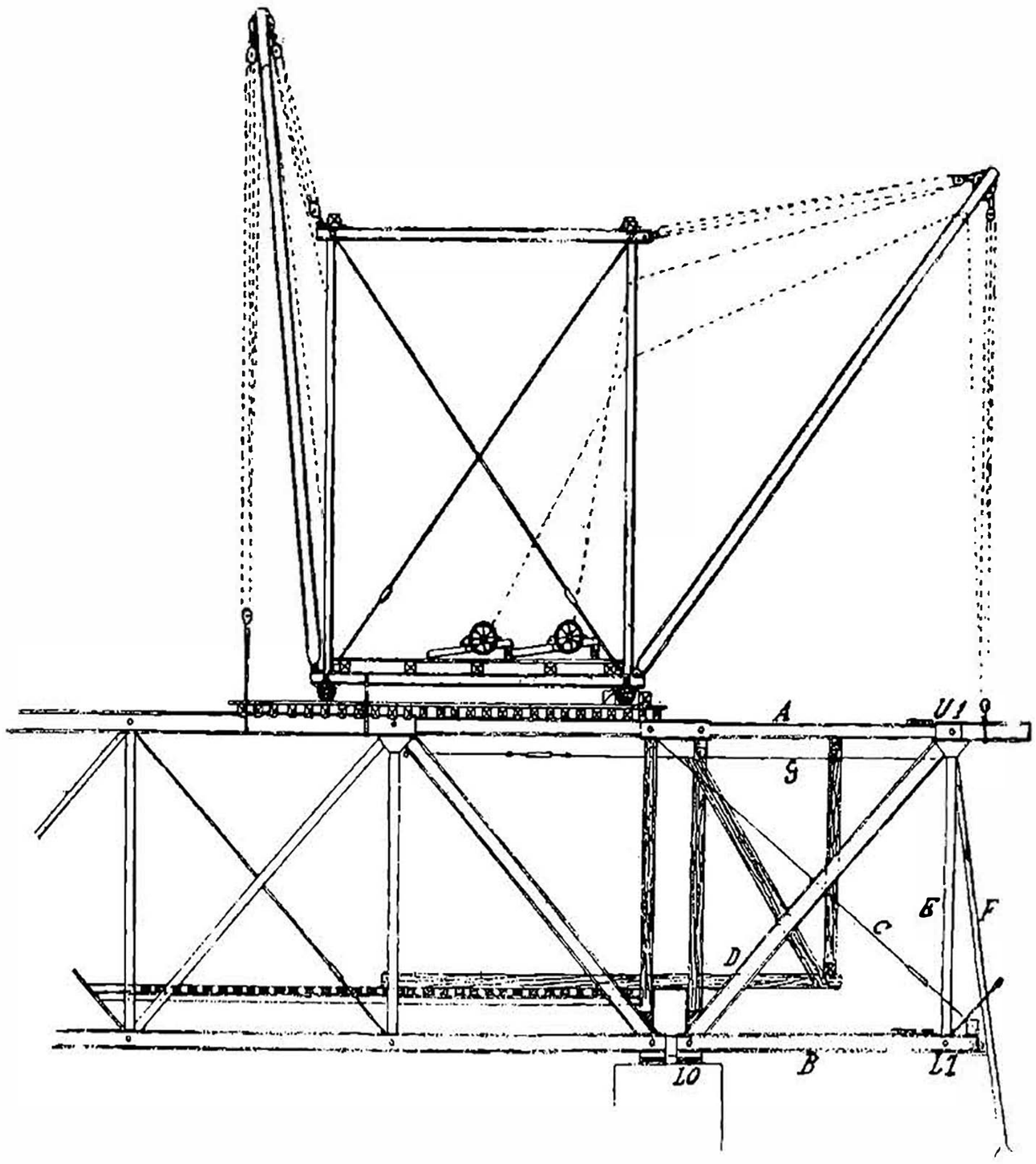


Рис. 362. Навесная сборка балочного пролетного строения.

приспособлений. Лучшие результаты в этом перемещении достигаются путем применения тяжей с муфтами или талей, укрепляемых к неподвижным точкам собранной части пролетного строения или к мало упругим частям сборочного крана. При большем весе отдельных элементов приходится применять домкратные установки, с устройством для них упорных площадок.

На рис. 364 показана схема домкратной установки для сведения раскосов с поясами, примененная при сборке Фортского моста. К нижнему концу раскоса, неподвижно закрепленного в верхнем узле, прикреплялись временные уголки, служившие для поддержания балок, на которые устанавливались домкраты; упором домкратов в пояса последние поднимались и постепенно притягивались к раскосам, что давало возможность сделать узловое соединение.

Правильность навесной сборки существенным образом зависит от точности наводки узлов и стыковых соединений. Отдельные стержни ферм, пригнанные в мастерских, своим пересечением дают проектное положение узла. В фермах с болтовыми

НБ УДУНТ (ДІІТ)

узлами точность сведения отдельных стержней вполне обеспечивается постановкой узлового болта; в фермах же с жесткими узловыми соединениями получение той же точности наводки труднее благодаря всегда имеющейся разбежке в заклепочных отверстиях. Болтовые узлы имеют еще то преимущество перед жесткими, что стержни, соединенные одним болтом, сохраняют некоторую неподвижность, чем облегчается сведение последующих стержней. Это преимущество болтовых узлов для навесной сборки побудило сделать, при постройке моста через р. Замбези, в фермах, спроектированных для этого моста с жесткими узлами, еще добавочные болтовые соединения раскосов с поясами (рис. 365). Болты эти служили только для скрепления стержней ферм во время всей сборки, по окончании которой раскосы были прикреплены к поясам, и узловые болты не играли уже никакой роли в соединении раскосов с поясами.

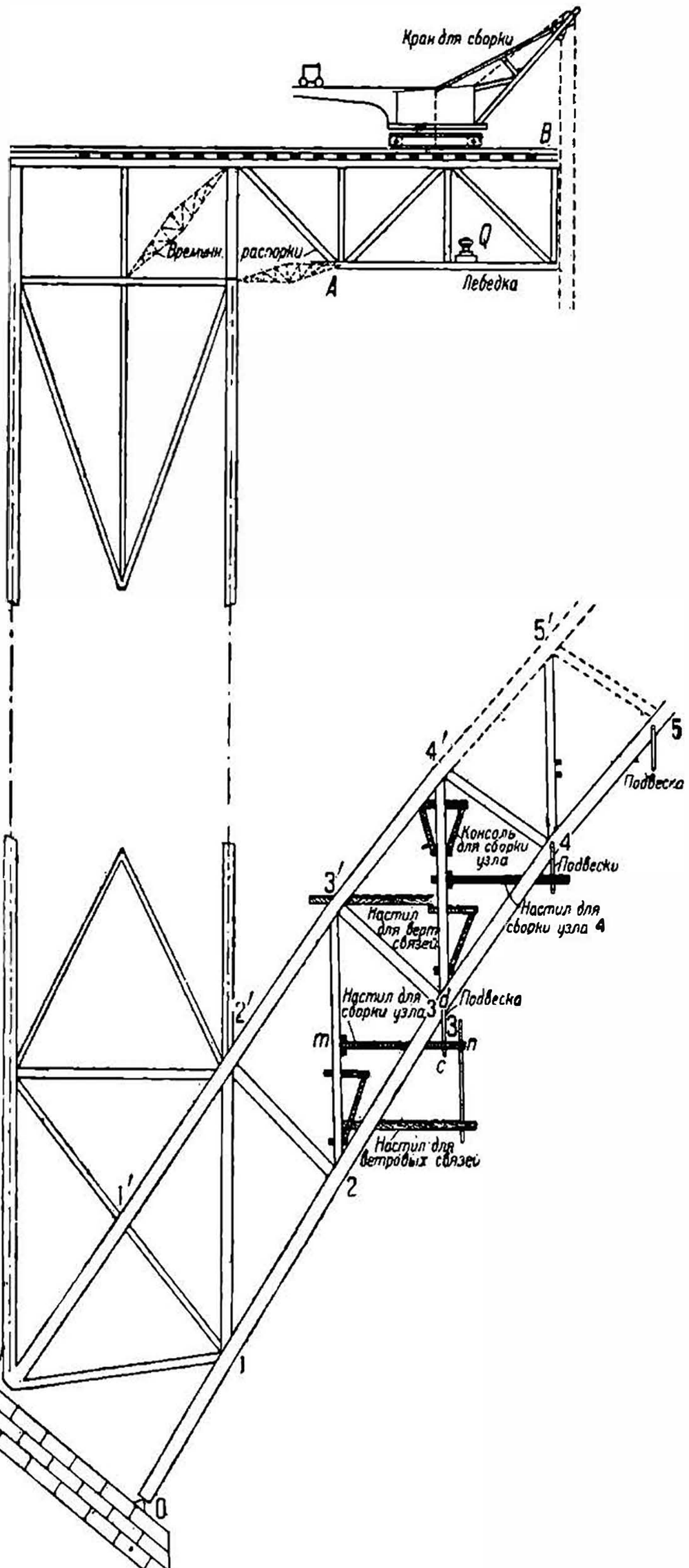


Рис. 363. Навесная сборка арочного пролетного строения (мост через р. Вуппер).

Если в сборках на подмостях легко нарушается правильность положения пролетного строения относительно оси моста, то тем легче это может случиться при сборке навесу, где не представляется возможным заранее разбить и наметить положение осей ферм. Между тем перекос в плане часто является причиной несходимости в узлах устанавливаемых элементов. Поэтому следует вести сборку горизонтальных связей параллельно со сборкой главных ферм и не делать окончательного закрепления в узлах последних, не поставив горизонтальных связей с одновременной проверкой правильности положения пролетного строения относительно оси моста.

Поверка правильности положения пролетного строения относительно оси моста контролируется теодолитами. Во время постановки связей в уже выверенной части пролетного строения (чаще на опорах) по оси моста устанавливается теодолит, вертикальная плоскость оси трубы которого совмещается с осью моста; установленный таким образом теодолит наводится на поперечную распорку или балку пролетного строения, на которых еще во время разметки их в мастерских наносится метка, ука-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

зывающая положение балки или распорки, при котором они совпадают с осью моста. Путем изменения длины временных диагоналей и тяжей поперечная балка или распорка приводится в проектное положение на ось моста, чем уничтожается перекос собираемой панели, после чего окончательно пригоняются и закрепляются диагонали горизонтальных связей.

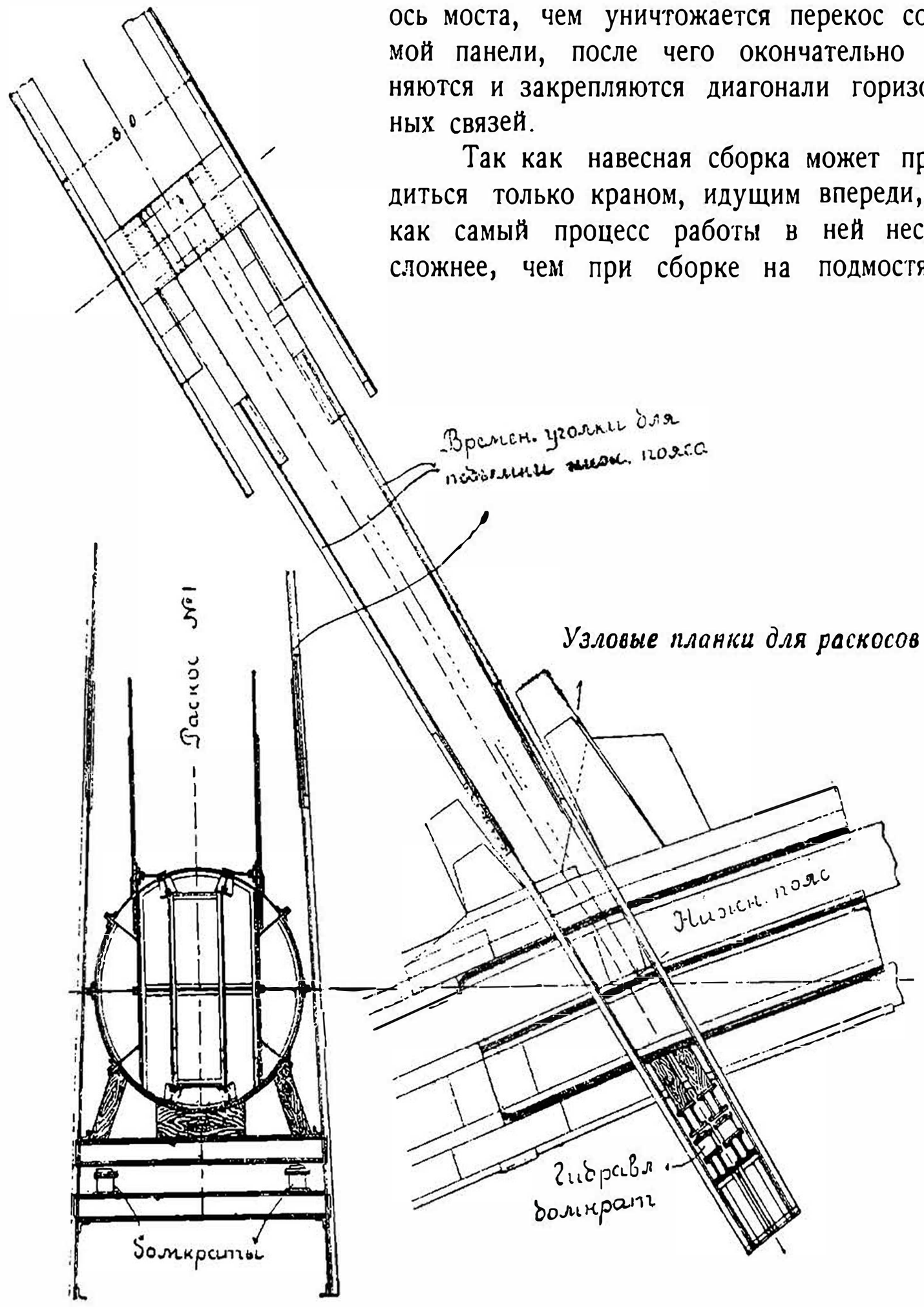


Рис. 364. Схема наведения раскосов при навесной сборке ферм Фортского моста.

Так как навесная сборка может производиться только краном, идущим впереди, и так как самый процесс работы в ней несколько сложнее, чем при сборке на подмостях, то, естественно, она характеризуется меньшей производительностью. Опыт производившихся работ показывает, что продуктивность навесной сборки следует оценивать в 12—14 *m* в рабочий день.

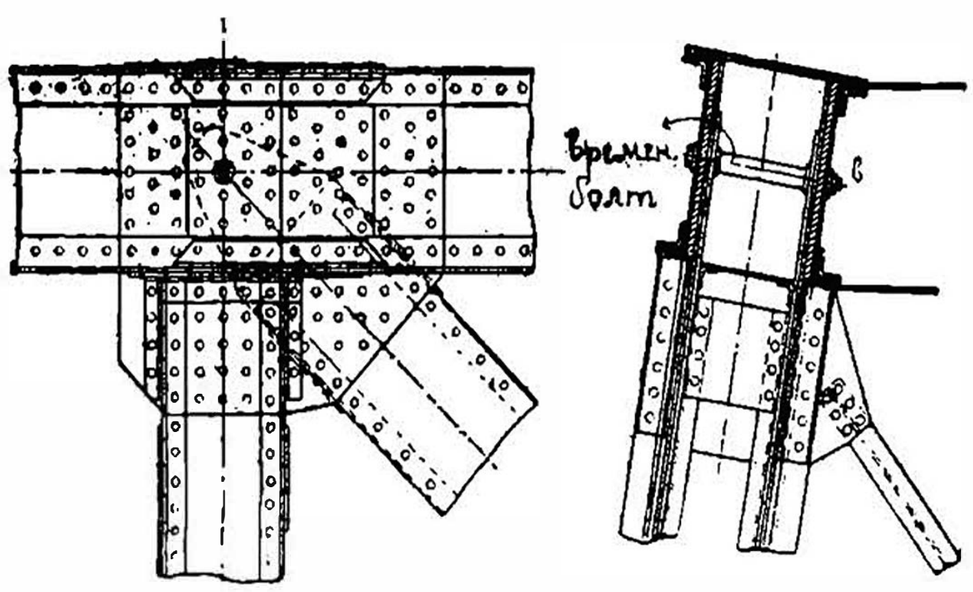


Рис. 365.

Существенное отличие навесной сборки от сборки на площадках заключается в том, что при сборке на площадках части пролетного строения в течение всей сборки поддерживаются на клетках, благодаря чему они не

НБ УДУНТ (ДІІТ)

испытывают напряжения, при сборке же навесу каждая из поставленных частей служит для поддержания вновь устанавливаемых частей, кранов, сборочных приспособлений и т. п., вследствие чего все части пролетного строения испытывают часто довольно большие напряжения, возрастающие по мере хода сборки. Под действием этих усилий части ферм уже во время сборки деформируются, и фермы получают прогиб, не соответствующий проектному. Излишек прогиба ферм уничтожается специальными закрепительными приспособлениями, конструкция которых изменяется в зависимости от общего плана сборки и конструкции пролетного строения (см. § 44).

Склепывание стыков и частей пролетного строения между собой производится параллельно со сборкой. Наиболее рациональным представляется склепывание одновременное со сборкой, пока поставленные части не несут большого напряжения, которое в случае надобности может быть ослаблено путем постановки временных подвесок. Склепывание же частей, уже несущих напряжение, как показывают опыты, ведет часто к вредному ослаблению всего стыка или соединения.

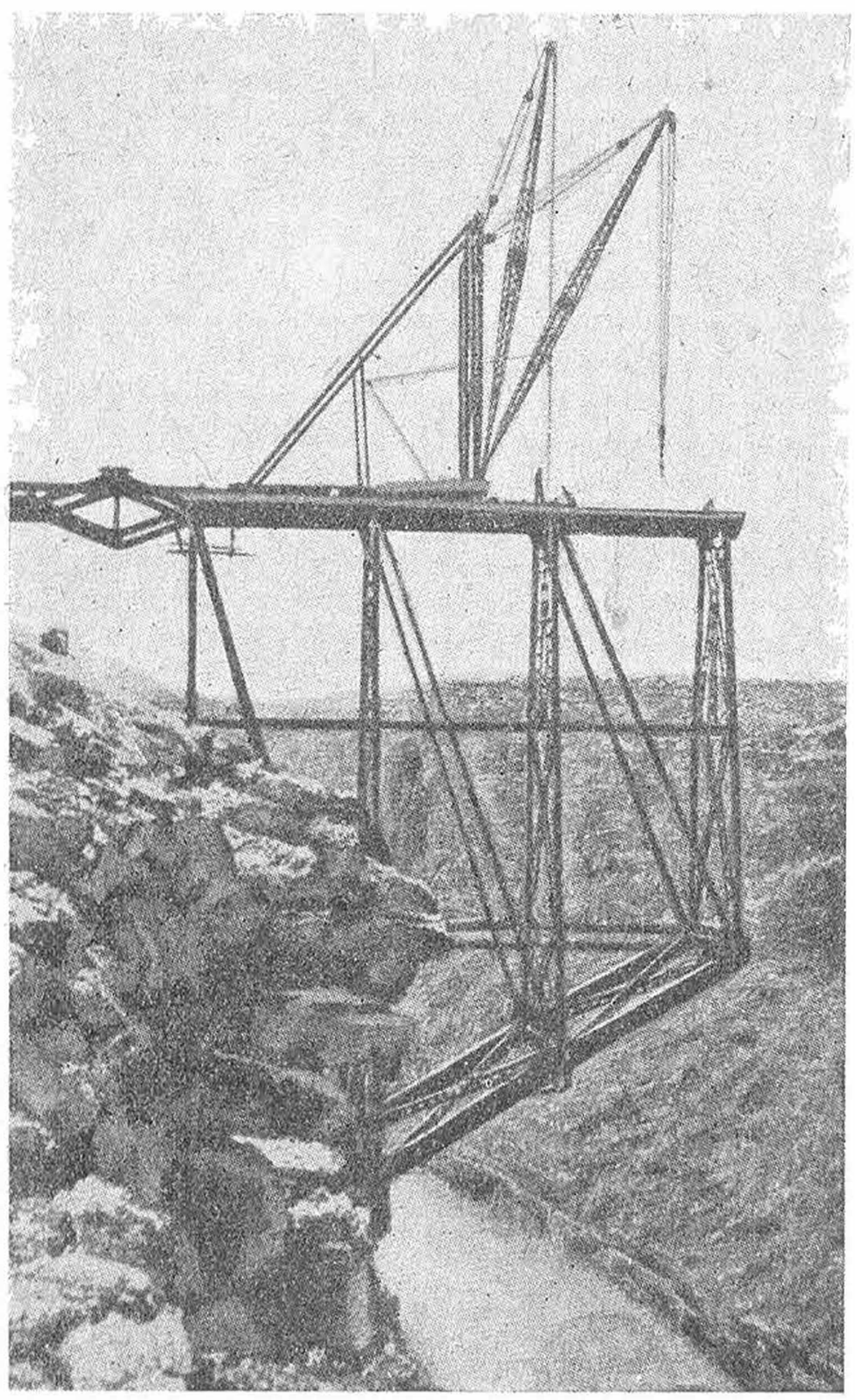


Рис. 366. Навесная сборка арочного моста журавлевым краном.

Все вышеизложенное указывает, что при разработке вопроса о навесной сборке последовательно должны быть разработаны и выяснены:

1) схема и последовательность хода сборки;

2) приспособления для производства сборки;

3) надлежащие укрепления для приведения ферм к консольному виду;

4) достаточная прочность отдельных частей пролетного строения.

§ 42. Краны для сборки навесу. Характерная особенность кранов, применяемых для навесной сборки, заключается в том, что они должны производить сборку впереди себя; этому условию могут удовлетворять журавлевые и консольные краны.

Журавлевые краны. Применяемые для навесной сборки журавлевые краны в своей основе ничем не отличаются от журавлевых кранов, применяемых для сборок на подмостях (см. § 21). Та же вращающаяся стойка, укрепленная в той или иной станине, журавль и стрела, шарнирно соединенные со стойкой, и тяга. Эти краны обыкновенно имеют движение по верхней плоскости собираемой конструкции, так что вся сборка производится под ними (рис. 366).

Такие краны имеют свободное вращение на 180° только впереди себя, так что подача материала под них может производиться или снизу, как это часто делается по пути, уложенному по нижней части пролетного строения, а также непосредственной подвозкой на баржах под место установки, или по плоскости движения крана с боку кранового пути, если кран не занимает своей конструкцией всей ширины пролетного

НБ УДУНТ (ДІІТ)

строения. Менее стесняются подачей материала уравновешенные журавлевые краны, могущие делать полный оборот, а следовательно, допускающие подачу материала сзади себя по тому пути, по которому движется сам кран.

На рис. 367 показан кран такого типа со стрелой вылетом 10,00 *м* и подъемной силой 8 *т*. Кран уравновешивается во всех положениях задней консольной частью длиной 10 *м*, с передвигающимся по ней противовесом в 8 *т*. Весь кран с баластом весит 34 *т* и в течение одной минуты поворачивается на 180°.

При большой ширине собираемой конструкции, ради успешности работ, краны снабжаются двумя и даже тремя стрелами, из которых одна помещается по оси крана, а две — по бокам [1]).

Преимущество журавлевых кранов заключается в том, что они имеют небольшую поверхность, подвергающуюся действию ветра, и сравнительно большой вес, благодаря чему являются достаточно устойчивыми в поперечном направлении.

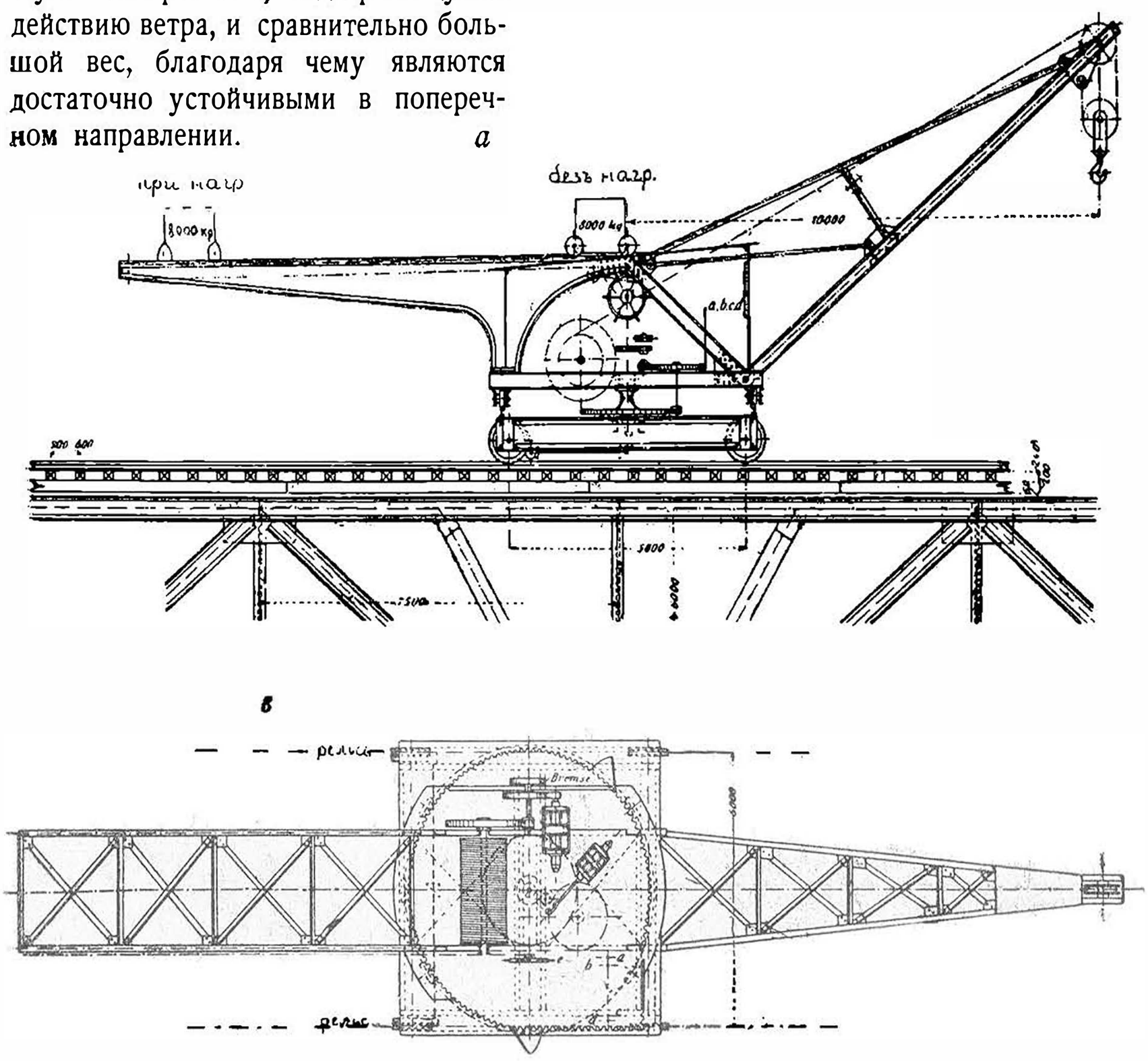


Рис. 367. Журавлевый кран для навесной сборки. Вынос стрелы 10 *м*, подъемная сила 8 *т*, вес крана с баластом 34 *т*, время поворота на 180° одна минута.

Как указывалось выше, при навесной сборке часто представляется необходимым во время установки нового стержня фермы поддерживать или выправлять положение уже поставленного стержня. Конструкция журавлевых кранов, в которых подвешивание может быть сделано только в определенном пункте стрелы, этому требованию не удовлетворяет, ввиду чего в них делаются дополнительные приспособления в виде жестких балок или ферм.

Показанный на рис. 368 кран помещается на тележке, с боков которой проходят две раскосные фермы, выходящие за пределы тележки. Нижний пояс этих ферм во время работы стрелы крана может быть использован для временного подвешивания к нему уже поставленных, но не укрепленных частей ферм, а также

---

[1]) Zeitschr. d. Ver. d. Ingen. 1908, № 14.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

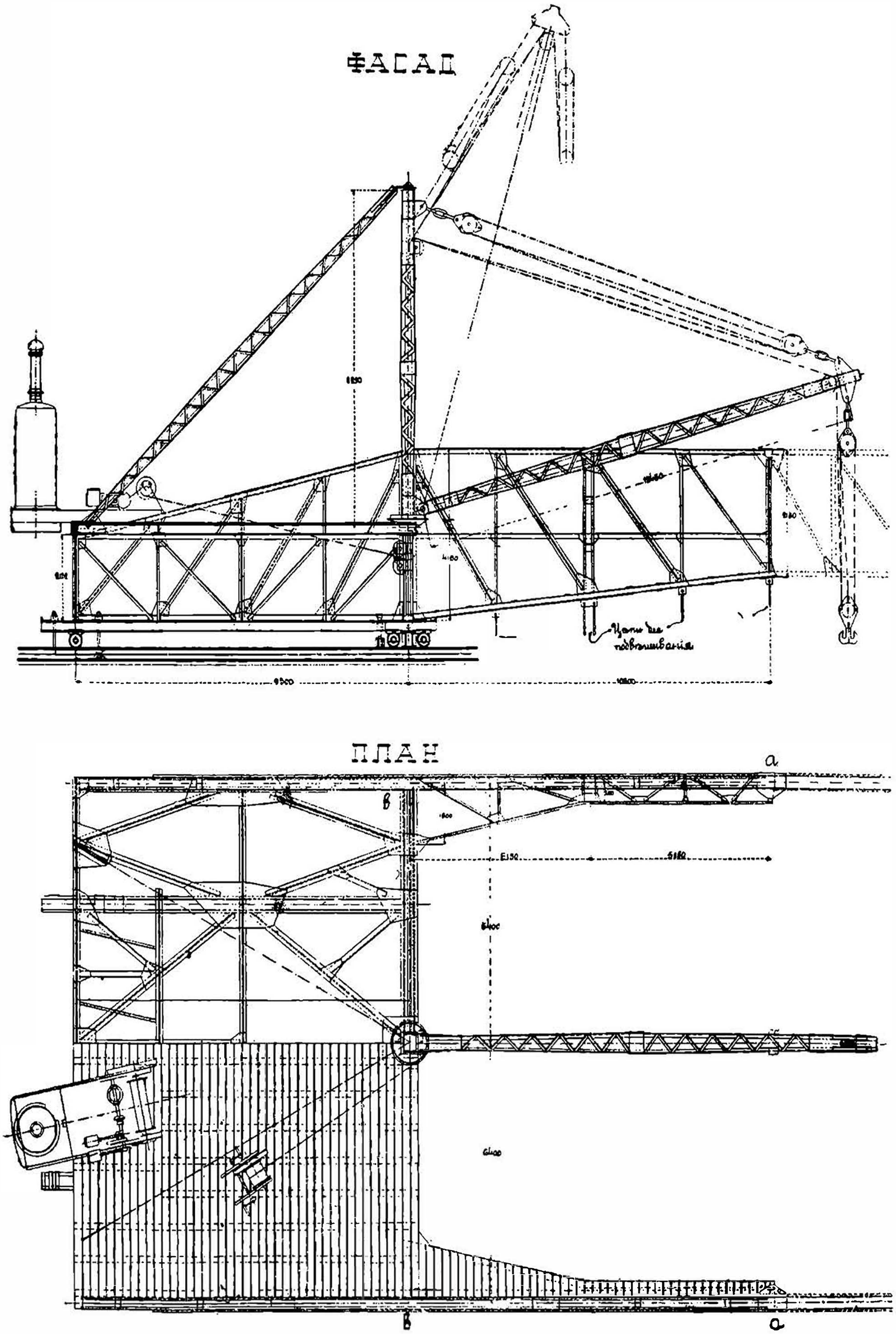


Рис. 368a, b. Журавлевый кран для навесной сборки моста через р. Днепр близ Кичкаса.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

для подвески вспомогательных сборочных приспособлений в виде подмостей, люлек и пр. При большой длине выступающих ферм передние концы их за пределами работы журавля крана соединяются между собой распорками и диагоналями, чем увеличивается их боковая жесткость.

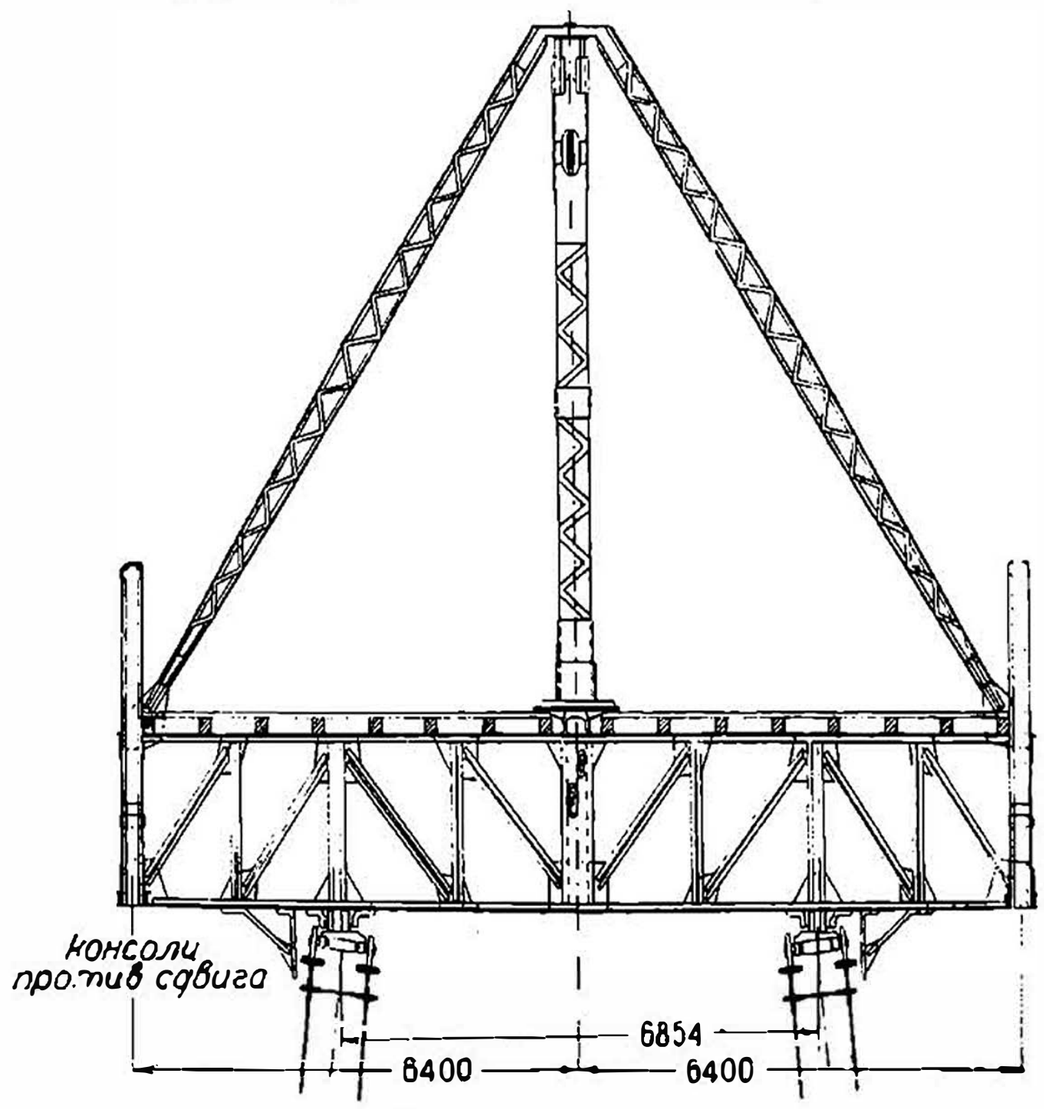


Рис. 368с.

Консольные краны. Консольные краны отличаются от журавлевых тем, что в них журавль заменяется брусом, подвешенным или подпертым в нескольких точках, благодаря чему брус может быть нагружен по всей длине (рис. 369). Для укрепления консоли служит станина крана, которая проектируется или в виде мачты, укрепляемой тягами, направленными в сторону, противоположную консоли, или в виде башни (см. рис. 378).

Первый тип станины более свойственен кранам, приспособленным к движению по верхнему поясу собираемой конструкции, когда высота станины обусловливается не высотой подъемки, а только надлежащим укреплением подвесной балки. Длина подвесных консолей изменяется в широких пределах и доводится до 20 *м*, соответственно чему изменяются число и размеры тяг.

Консоли с несколькими тягами по своей конструкции статически неопределимы. Расчет величины усилий в тягах проще всего сделать по эпюрам, как это показано на нижеследующем примере.

В частном случае — наличия в кране двух тяг, уравнения, связывающие неизвестные усилия в тягах, напишутся в таком виде (рис. 370):

$$D_1\delta_{11} + D_2\delta_{12} + \Delta_{1p} = 0,$$
$$D_1\delta_{21} + D_2\delta_{22} + \Delta_{2p} = 0.$$

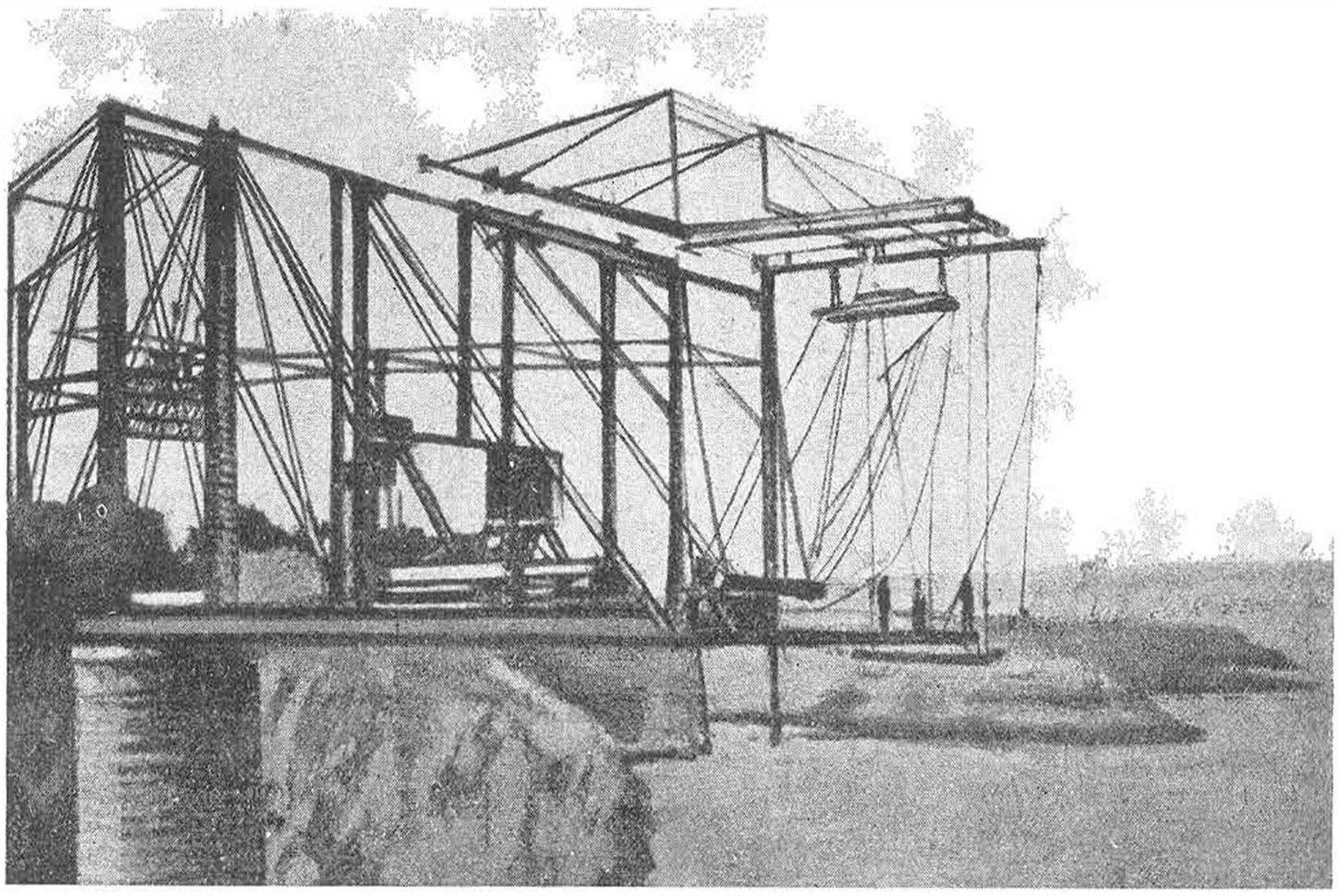


Рис. 369. Навесная сборка консольными кранами на мосту через р. С.-Джан в Канаде.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

В них δ—перемещения от единичных сил, приложенных по направлению неизвестных, и Δ—перемещения по направлению неизвестных от груза P.

Исходя из условия, что величина перемещения определяется произведением площади эпюры моментов от действительной нагрузки на ординату эпюры моментов от единичной нагрузки, взятую под центром тяжести первой эпюры [1]), получим:

$$\left.\begin{aligned} D_1\left[\frac{1}{3}a_1^3\sin^2\alpha_1+\frac{a_1J}{\omega_1\cos\alpha_1}+\frac{a_1J}{\omega}\cos^2\alpha_1\right]+D_2\left[\frac{a_1^2}{3}\left(a_1+\frac{3}{2}a_2\right)\sin\alpha_1\cos\alpha_2+\right.\\ \left.+a_1\frac{J}{\omega}\cos\alpha_1\cos\alpha_2\right]=P\cdot\frac{1}{3}a_1^2\left(\frac{3}{2}a+a_1\right)\sin\alpha_1,\\ D_1\left[\frac{1}{2}a_1^2\left(a_2+\frac{2}{3}a_1\right)\sin\alpha_1\sin\alpha_2+a_1\frac{J}{\omega}\cos\alpha_1\cos\alpha_2\right]+\\ +D_2\left[\frac{1}{3}(a_1+a_2)^3\sin^2\alpha_2+\frac{(a_1+a_2)j}{\omega_2\cos\alpha_2}+\frac{(a_1+a_2)J}{\omega}\cos^2\alpha_2\right]=\\ =P\cdot\frac{1}{2}(a_1+a)^2\left(a_2+\frac{2}{3}a_1-\frac{1}{3}a\right)\sin\alpha_2 \end{aligned}\right\}\quad(101)$$

В этих формулах ω_1 и ω_2 — соответственно площади поперечного сечения тяг. D_1 и D_2; J и ω — соответственно момент инерции и площадь поперечного сечения основной балки.

Не нарушая точности расчета, можно пренебречь членами $\frac{a_1J}{\omega}\cos^2\alpha_1$ и $\frac{(a_1+a_2)J}{\omega}\cos^2\alpha_2$ по незначительности влияния на величину усилий в тягах по сравнению с остальными членами формулы.

Для предварительного же определения размеров тяг можно определить усилия в них по формулам:

$$D_1\sin\alpha_1=P\ \text{и}\ D_2\sin\alpha_2=P,\quad(102),$$

что соответствует положению груза P у места прикрепления тяги, и в предположении, что растяжение тяг не имеет места.

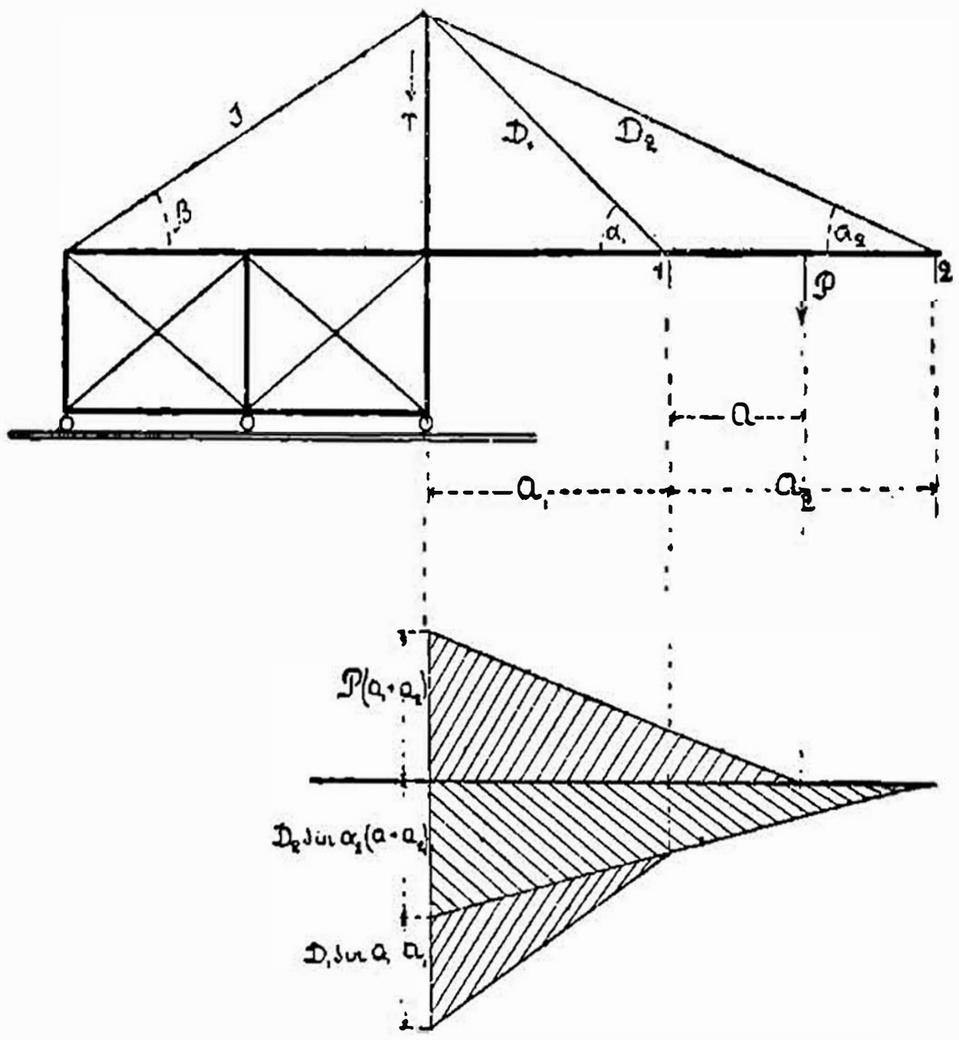


Рис. 370.

Верхние концы тяг сводятся в одну точку и укрепляются в верхнем конце ствола станины крана. Опрокидывающее действие тяг консоли на ствол парализуется постановкой закрепительной тяги, направленной в противоположную сторону.

Усилие в закрепительной тяге определится из условия разложения равнодействующей усилий тяг по направлению ее ствола, что выражается формулой (рис. 355):

$$S\cos\beta=\Sigma D_n\cos\alpha_n\qquad(103)$$

Усилие, сжимающее ствол:

$$T=-\Sigma D_n\sin\alpha_n-S\sin\beta\qquad(104)$$

---

1) См. проф. Прокофьев И. П., Теория сооружения мостов, ч. II, § 13.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

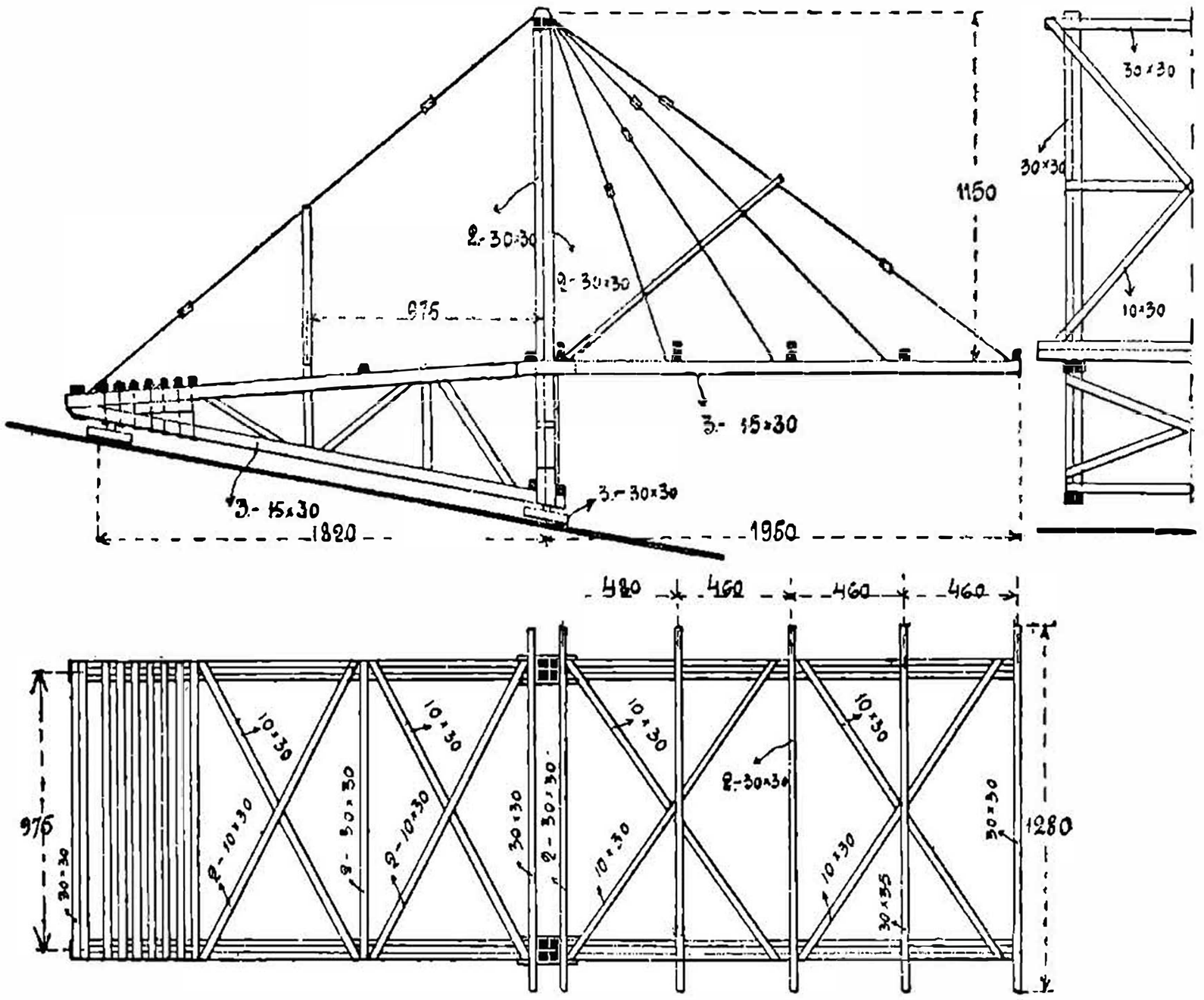


Рис. 371. Консольный кран для сборки пролетного строения на мосту через р. Миссури.

Число консолей в кранах делается по числу вертикальных ферм собираемой конструкции—обычно две, которые располагаются над осями ферм (рис. 371). В поперечном направлении консоли крана приводятся в жесткую систему путем соединения их рядом диагоналей и распорок. При устройстве одиночных консолей боковая жесткость их увеличивается горизонтальными шпренгелями с жесткими распорками и диагоналями.

Ввиду недостаточной жесткости одиночных консолей их делают из жестких ферм треугольной формы (рис. 372). Такое видоизменение консольной части позволяет присоединять ее к станине крана двумя вертикальными болтами, поставленными по осям верхнего и нижнего поясов ферм, что дает возможность изменять положение консолей относительно вертикальной оси и этим увеличивает обслуживаемую ими

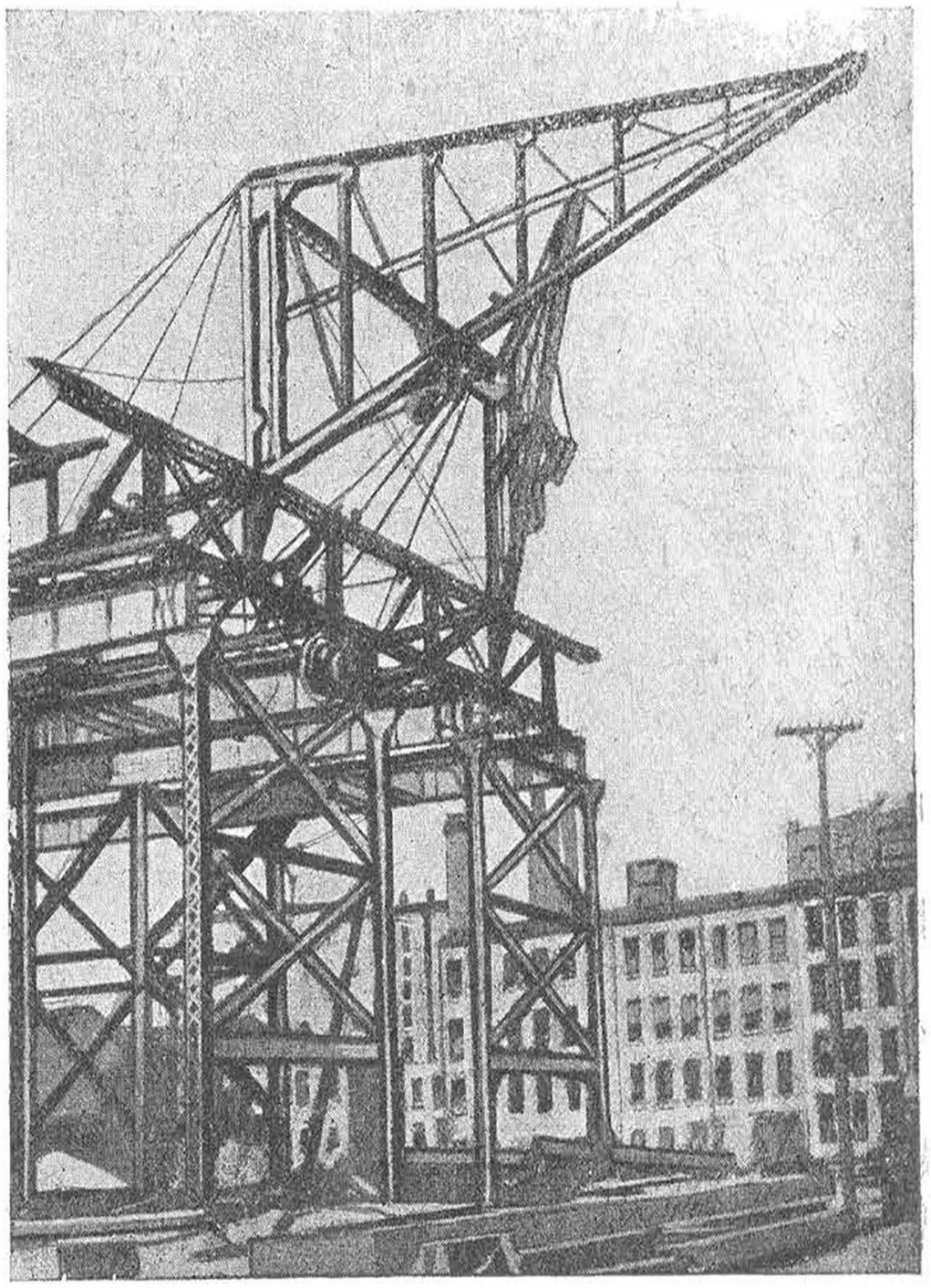


Рис. 372. Консольный кран для сборки подходных виадуков на Мангатанском мосту.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

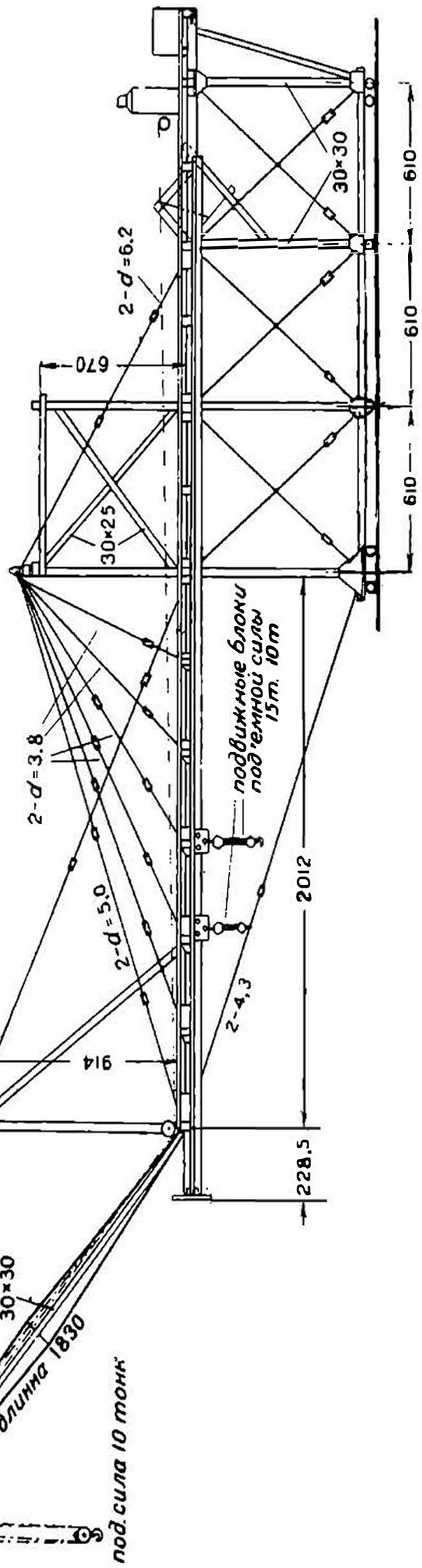


Рис. 373. Консольный кран для навесной сборки. Вынос консоли 20 *м*. Подъемная сила 15 *т*.; подъемная сила журавлевых кранов 18,2 *м*. Вынос журавлевых частей 10 *м*. (Eng. Rekord, 1909, 61).

рабочую площадь; положение консолей в плане изменяется посредством боковых тяг соединенных, передаточными блоками с лебедками крана.

По условиям подачи материала подвесно-консольные краны подходят к журавлевым. Если консольные краны во время производства работы передвигаются по верхнему поясу пролетного строения, то материал для сборки подается под консоли крана или в уровне нижнего пояса ферм, или непосредственно по воде и по грунту. Если же, по условиям конструкции пролетного строения, подача материала возможна только в том же уровне, где передвигается кран, то станина крана приспособляется к пропуску через нее материала под консоль.

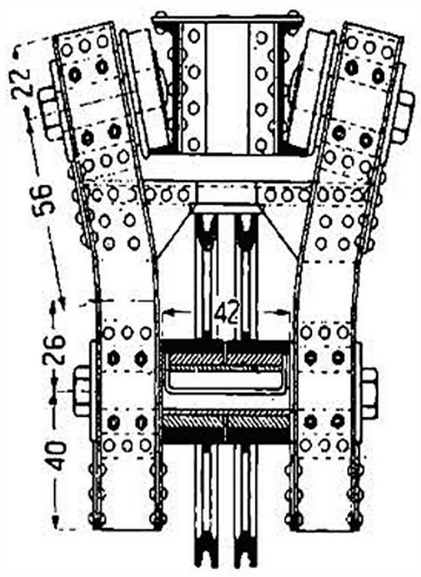
В таких случаях консоль крана приподнимается над уровнем пути (рис. 373), и остов станины или тележки крана проектируется из двух жестких ферм, расставленных настолько, чтобы между ними могли проходить тележки или подъемные каретки с материалом. Лебедки, котлы и прочие вспомогательные приспособления помещаются или на настиле, укладываемом в уровне консолей по верху ферм, или с боку их; в последнем случае они уравновешиваются с другого бока ферм специальными противовесами.

Материал, подаваемый сзади к консолям, поднимается талями или блоками, приспособленными к движению вдоль консолей. С этой целью нижний брус консоли проектируется из двух железных коробок (рис. 374), раздвигаемых между собой настолько, чтобы между ними можно было установить передаточные блоки для каната, приводящего в движение каретки с талями или подъемными блоками. Внешние полки коробчатого железа балок служат для движения каретки.

Каретки передвигаются по балкам путем изменения длины тяговых канатов. Эти же канаты часто приспособляются к подъемке и опусканию устанавливаемых на место частей. Одновременным отпусканием

НБ УДУНТ (ДІІТ)

или наматыванием канатов *a* и *b* (рис. 375) достигается опускание или поднятие груза блоком *c*. При одновременном отпускании каната *a* и наматывании каната *b* блок *c* перемещается влево.



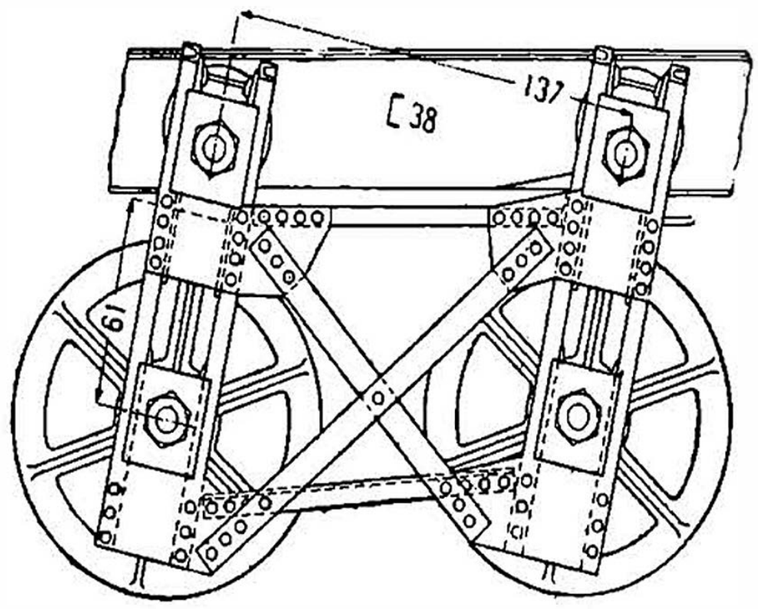


Рис. 374.

Подвесно-консольные краны часто применяются для навесной сборки высоких виадуков (см. § 48). Длина консолей в этих случаях выбирается с таким расчетом, чтобы кран, помещаясь на уже собранной части моста, мог производить сборку впереди лежа-

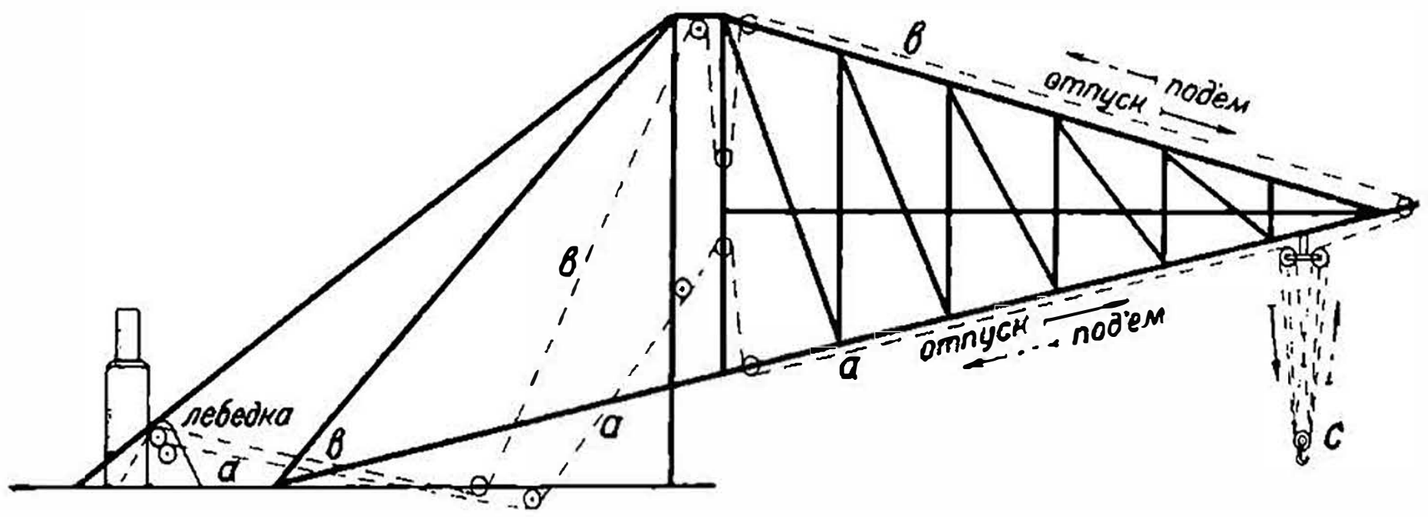


Рис. 375.

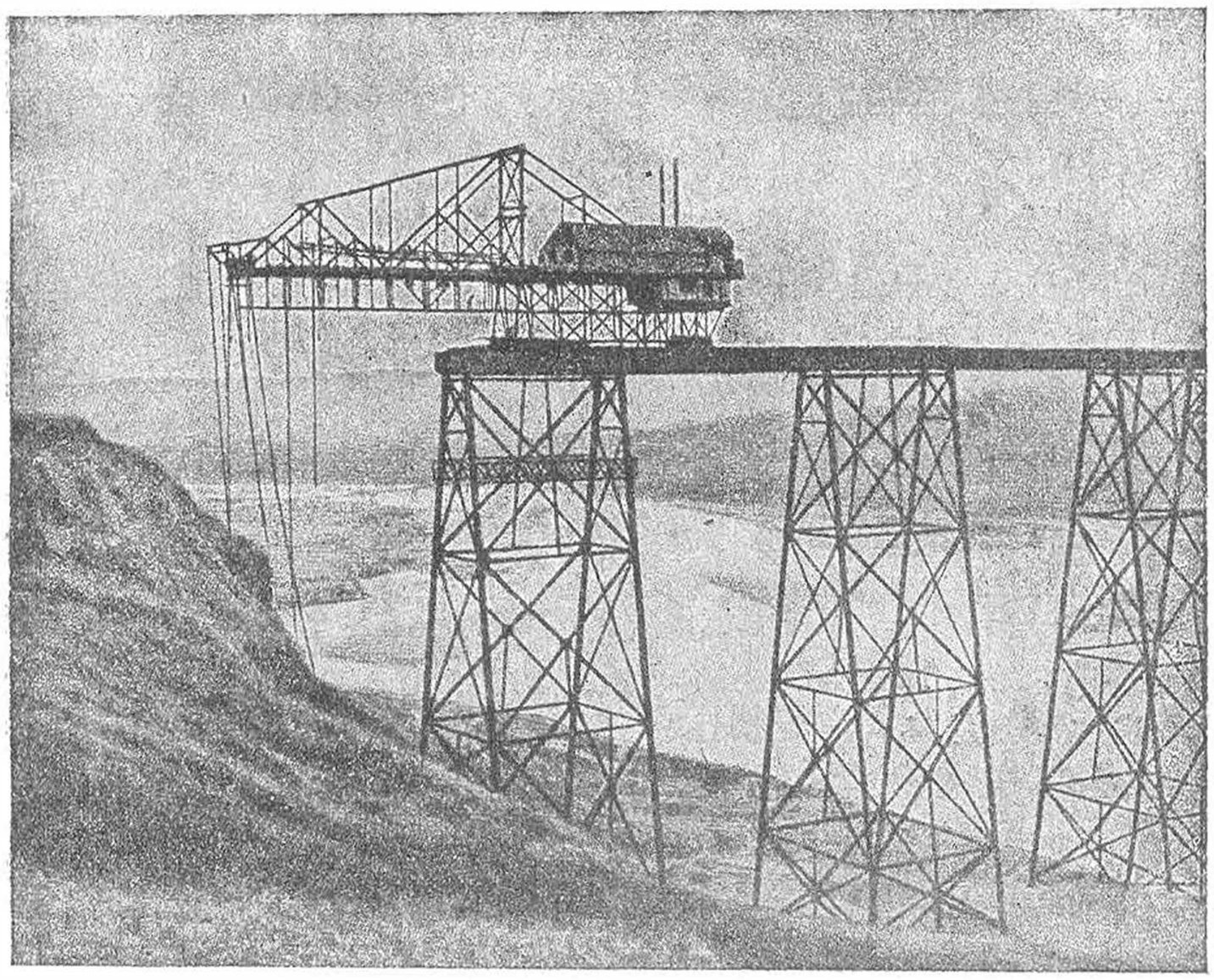


Рис. 376. Консольный кран для навесной сборки. Длина выноса консолей 35,5. Длина задней части 27,5 *м*. Подъемная сила крана 40 *т*. Вес крана с противовесом 324 *т*. (Eng. Rekord. 1909 V. 62.)

НБ УДУНТ (ДІІТ)

щей опоры (рис. 376). На практике встречаются краны с консолями длиною до 35 *м*, подъемная сила которых при невыгоднейшем положении груза в конце консоли доводится до 50 *т*. В таких кранах основные балки заменяются фермами, подвешиваемыми к станине крана.

Движение консольных кранов по верхнему поясу не всегда возможно вследствие большой кривизны последнего; в таких случаях краны приспособляются к движению по нижнему горизонтальному поясу ферм. Так как консоли крана и при движении его по нижнему поясу должны сохранять свое положение над собираемой конструкцией, то для удовлетворения этому условию станины кранов проектируются в виде башен (рис. 377) или высоких объемлющих рам (рис. 378 и 389), в нижней части которых помещаются машины, обслуживающие краны, а в верхней части —

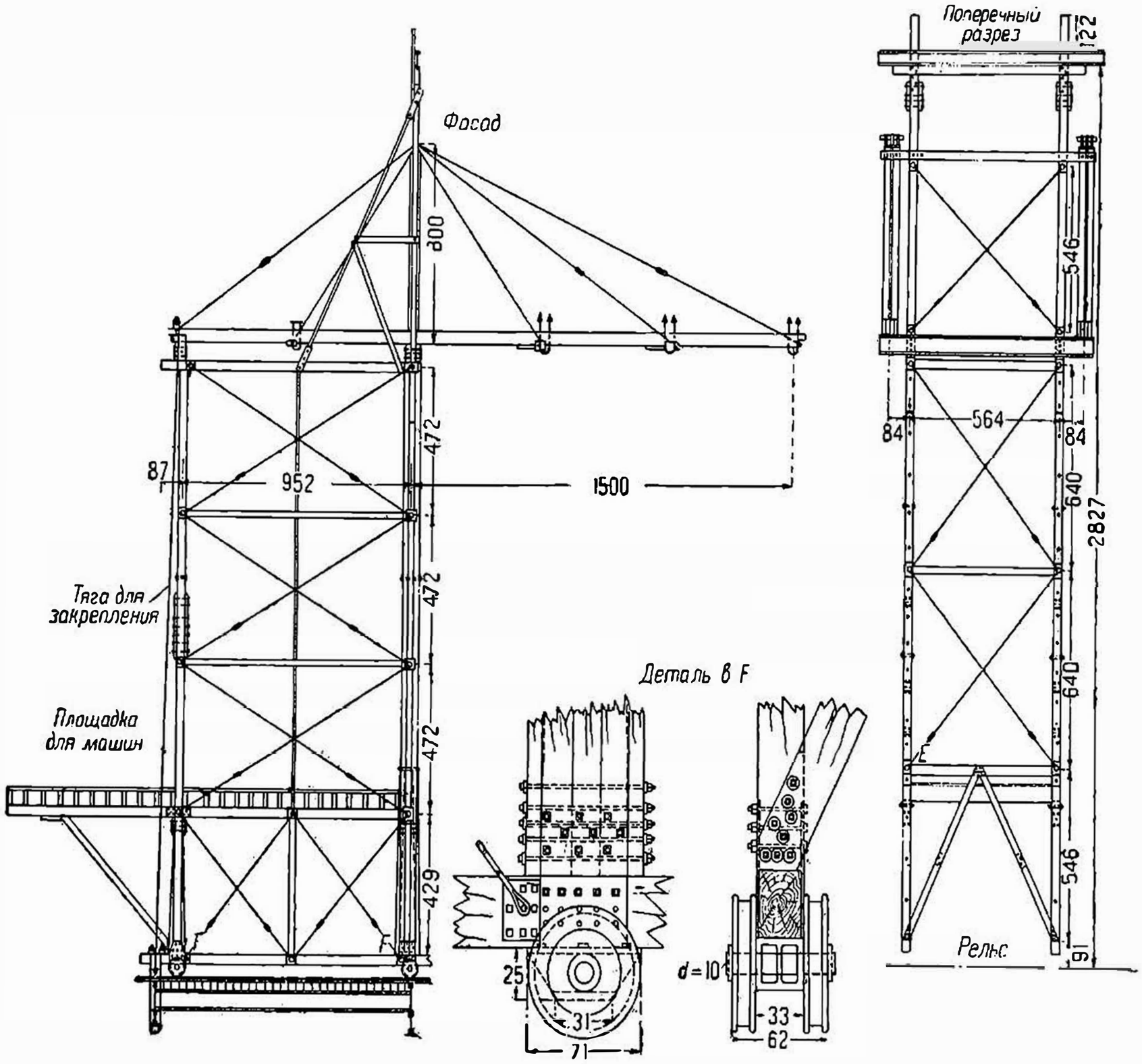


Рис. 377. Деревянный кран башенного типа для навесной сборки.

консоли для производства сборки. Высота станины крана определяется из условия, что рабочая площадка консолей должна превышать наивысшую точку конструкции на $1^1/_2$—2 *м*.

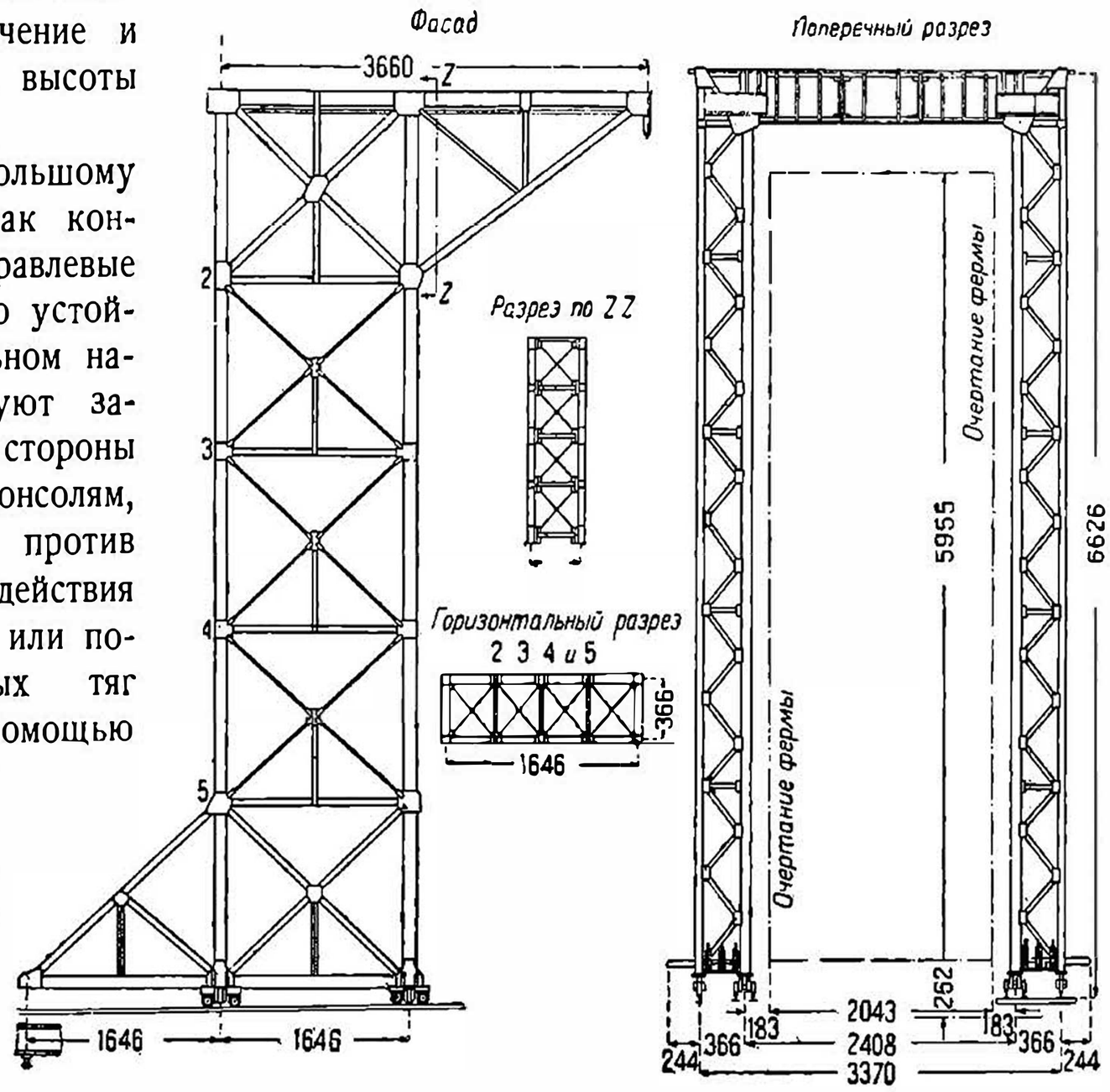
Краны башенного типа во время сборки проходят между фермами собираемых пролетных строений (рис. 377). Для движения объемлющих кранов вдоль пролета приспособляются консольные части пролетного строения (рис. 389); если же таковых не имеется, то на время сборки устанавливаются специальные консоли.

Преимущество объемлющих кранов заключается в большой ширине их поперек моста, что имеет значение в смысле увеличения устойчивости их против опрокидывающего действия ветра. Вместе с тем эти краны допускают одновременную сборку всего пролетного строения, включая и поперечные связи, тогда как краны с движением между фермами не допускают постановки связей между фермами, пока они сами находятся между ними, что при большей высоте ферм нежелательно.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Кранам с высокими станинами более свойственны подкосные или решетчатые консоли (рис. 378 и 389) вместо подвесных (рис. 377), так как постановка тяг в этих случаях вызывает только излишнее увеличение и без того большой высоты станины.

Благодаря большому вылету консолей как консольные, так и журавлевые краны являются мало устойчивыми в продольном направлении и требуют закрепления их как со стороны противоположной консолям, так и с боковых против опрокидывающего действия ветра, что делается или помощью специальных тяг (рис. 377), или помощью захватов (рис. 173 и 378). Опрокидывающее действие консолей снижается также устройством хвостовой части внизу крана, куда отодвигаются котлы лебедки и пр., а также размещается баласт.



378. Металлический кран башенного типа для навесной сборки. Консоли крана длиной 20 *м* с подъемной силой 225 *т*. Вес крана при полном оборудовании около 1 000 *т*. (Eng. Rekord. 1907 V. 55.)

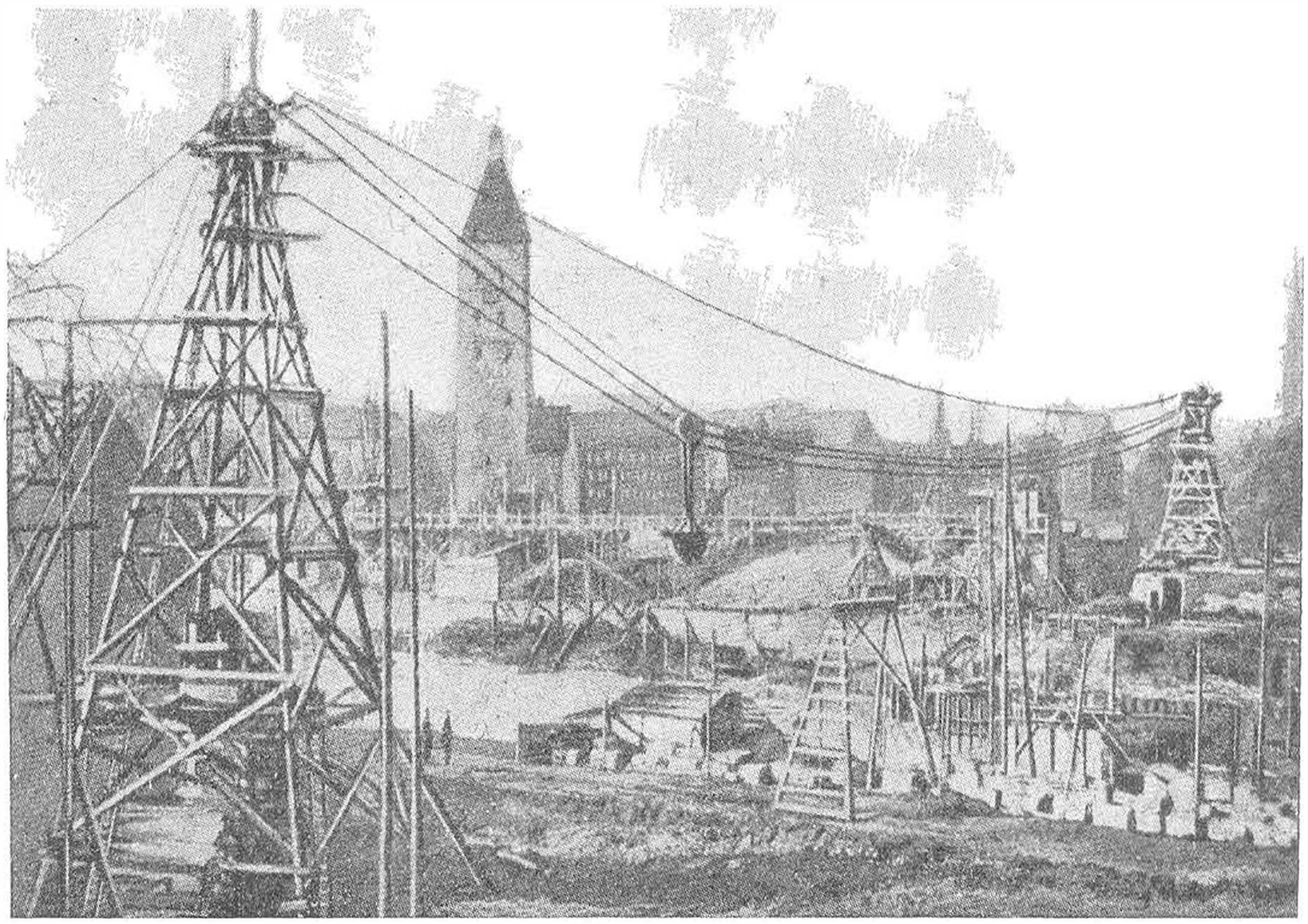


Рис. 379. Подвесная канатная подача материалов.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Канатные краны (кабель-краны). При навесной сборке больших арочных пролетов, а также пролетов, перекинутых через глубокие овраги и быстрые реки, встречаются большие затруднения в подаче частей пролетного строения к месту сборки; и если по условиям конструкции подача не может быть осуществлена по самому собираемому пролетному строению, то остается только возможность осуществления подачи при помощи канатных кранов [1]).

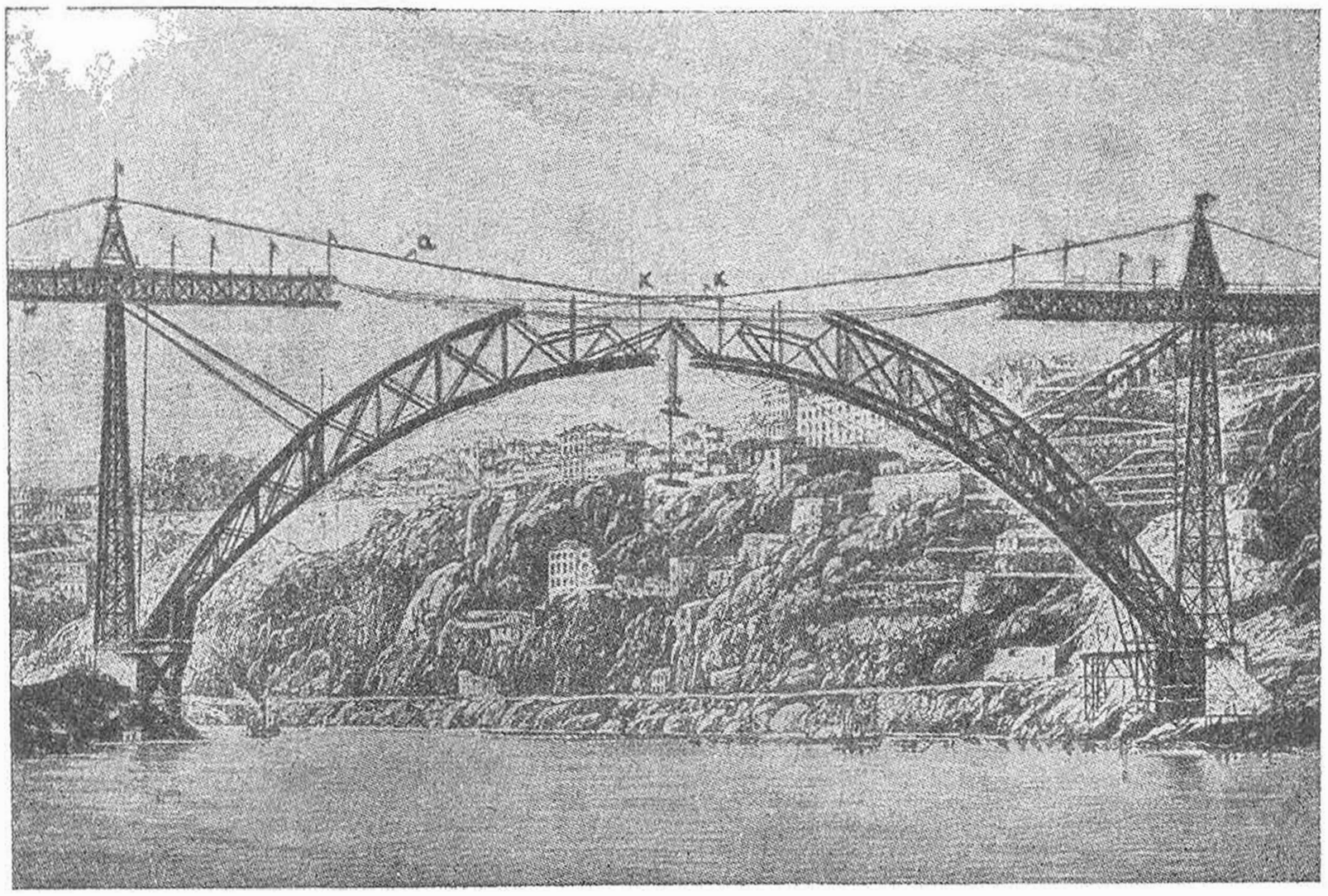


Рис. 380. Навесная сборка при помощи кабель-кранов.
(Мост через р. Дуэро около Опорто.)

Идея канатного крана — та же, что подвесной дороги. Над местом сборки вдоль собираемого пролета протягивается канат, укрепленный к вершинам специаль-

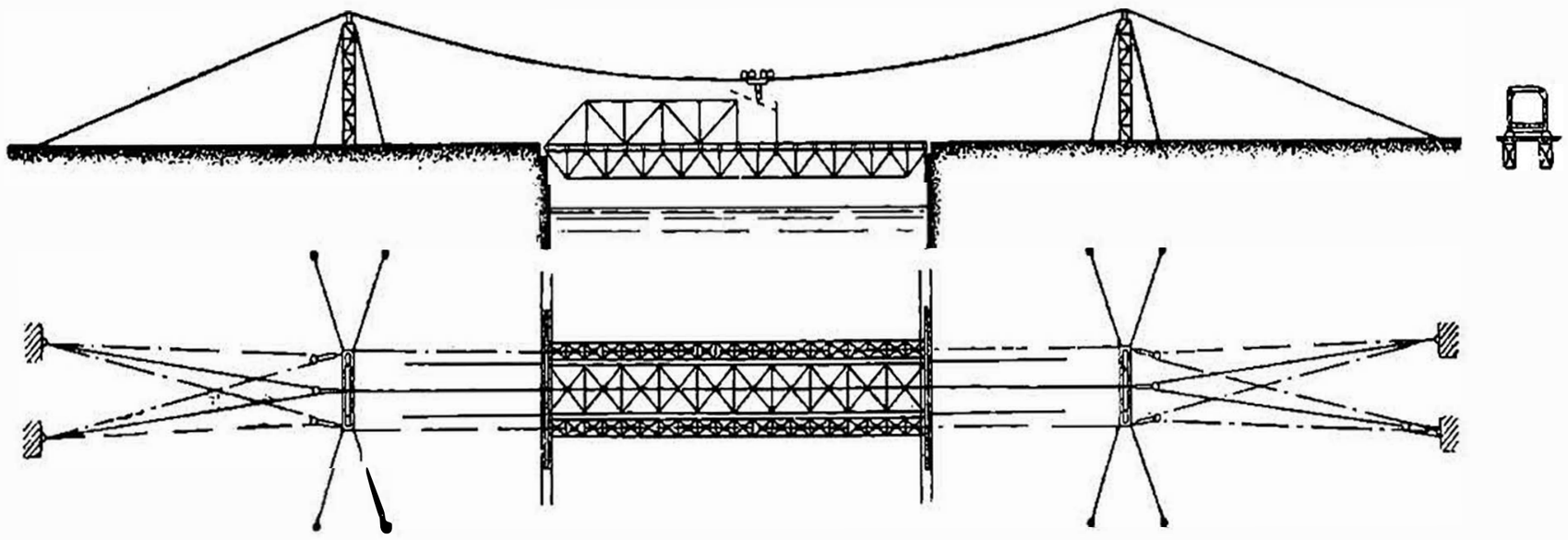


Рис. 381. Навесная сборка при помощи кабель-кранов в Ост-Индии.

ных опор в виде пирамид, мачт или рам, установленных на берегах реки или на опорах моста. По этому канату при помощи тяговых канатов и лебедок перемещается каретка, к которой подвешивается перевозимая часть (рис. 379).

---

[1]) Подробнее о конструкции канатных кранов см. Stephan, Die Drahtseilbahnen, 1926 г., стр. 443.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Если в задачу такого крана входит только подача материала к месту сборки и пролетное строение нешироко, то можно ограничиться одним канатом, протянутым по оси моста, что позволит обслуживать обе стрелы сборочного крана. При таком устройстве сложным моментом производства работы является передача подаваемой части с крюка канатного крана на крюк сборочного крана. Производство этой работы (перештробовки) навесу связано с целым рядом осложнений и должно быть тщательно проработано при проектировке. Более простым решением вопроса является устройство при сборочных кранах особых площадок, на которые подающий кран мог бы класть подаваемые части, и откуда сборочные краны могли бы забирать их.

В большинстве случаев устройство канатных кранов связывается не только с подачей материала, но и с производством самой сборки (рис. 380 и 381); последнее же возможно только при условии обслуживания работ по всей ширине пролетного строения.

Простейшим решением вопроса при таком задании является укладка двух рабочих канатов крана по осям собираемых ферм, что вполне решает задачу, если ширина пролетного строения невелика, и сборка поперечной конструкции может быть выполнена путем оттягивания подвешенного груза к

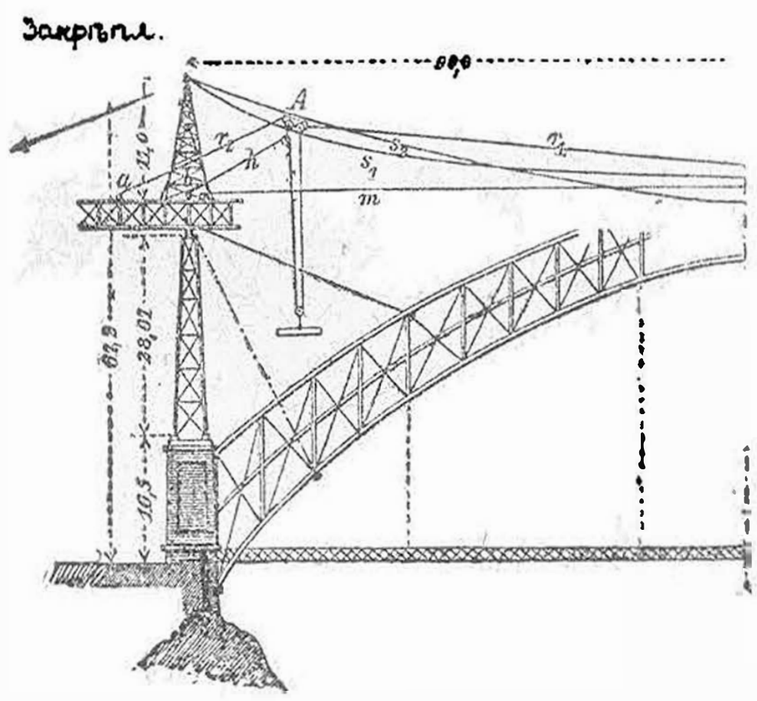


Рис. 381а. Фасад (М. 1 : 5000).

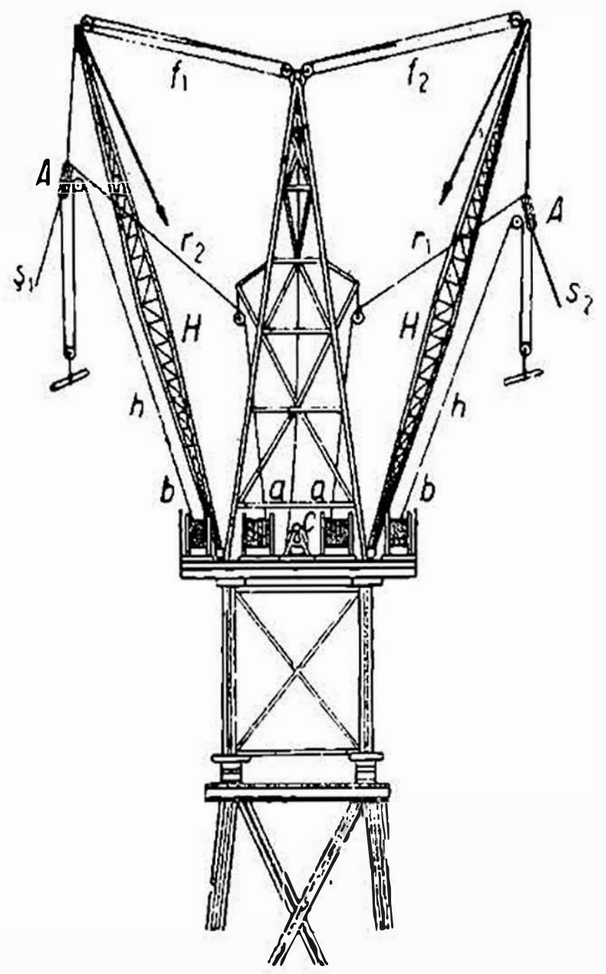


Рис. 382. Поперечный вид (М. 1 : 2000).

месту установки; последнее может быть выполнено, если подвес устанавливаемой части будет достаточно длинен.

Тот же вопрос может быть решен путем приспособления частей, удерживающих канат к перемещению поперек моста.

При сборке арочного моста через р. Дуэро (рис. 380), в котором арочные фермы наклонены к оси моста, что делает переменным расстояние между осями их, канаты кранов были подвешены к мачтам H, шарнирным в пятах (рис. 382), положение мачт H поперек моста, а вместе с ними несущих канатов S могло быть изменяемо путем изменения длины канатов f_1 и f_2, удерживающих мачты и соединенных с лебедками C.

Наиболее универсальным решением вопроса является устройство вместо отдельных кареток, перемещающихся по отдельным канатам, тележки мостового типа, имеющей движение по двум канатам, и с кареткой, перемещающейся по ней.

Возможность использования электрической энергии значительно облегчает работу кабель-кранов, так как позволяет сосредоточить управление кареткой и всего мостового крана непосредственно на нем (рис. 383), т. е. в непосредственной близости к месту работ.

Ниже в таблице приведены данные, характеризующие размеры канатных кранов, применявшихся на работах по сборкам.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Наименование мостов	Пролет кабель-крана *м*	Расчетная нагрузка *т*	Диаметр каната *мм*	Примечание
1. Р. Замбези .	265	10	69	Engineering, 1904
2. Ряд мостов в Ост-Индии .	100	10	42	Bautechnik, 1928
3. СССР . .	300	5	50	Проект

Для повышения общей производительности канатных кранов скорость передвижения каретки в них делается в среднем 2—3 *м/сек* и доводится даже до 5 *м/сек*. Скорость подъемки груза делается, смотря по весу груза, от 0,6 до 1,2 *м/сек*.

Расчет кабель-кранов производится на основании соображений, изложенных выше в описании работ о надвижке пролетных строений по канатам (§ 35).

Если канатный кран предназначен для обслуживания одной или нескольких сборок в течение ограниченного времени, то коэфициент запаса прочности в нем может быть принимаем равным трем.

В целях лучшего использования канатов усилие S_0, с которым рабочий канат с пролетом l и весом q *кг* пог. *м* может быть предварительно натянут до загружения

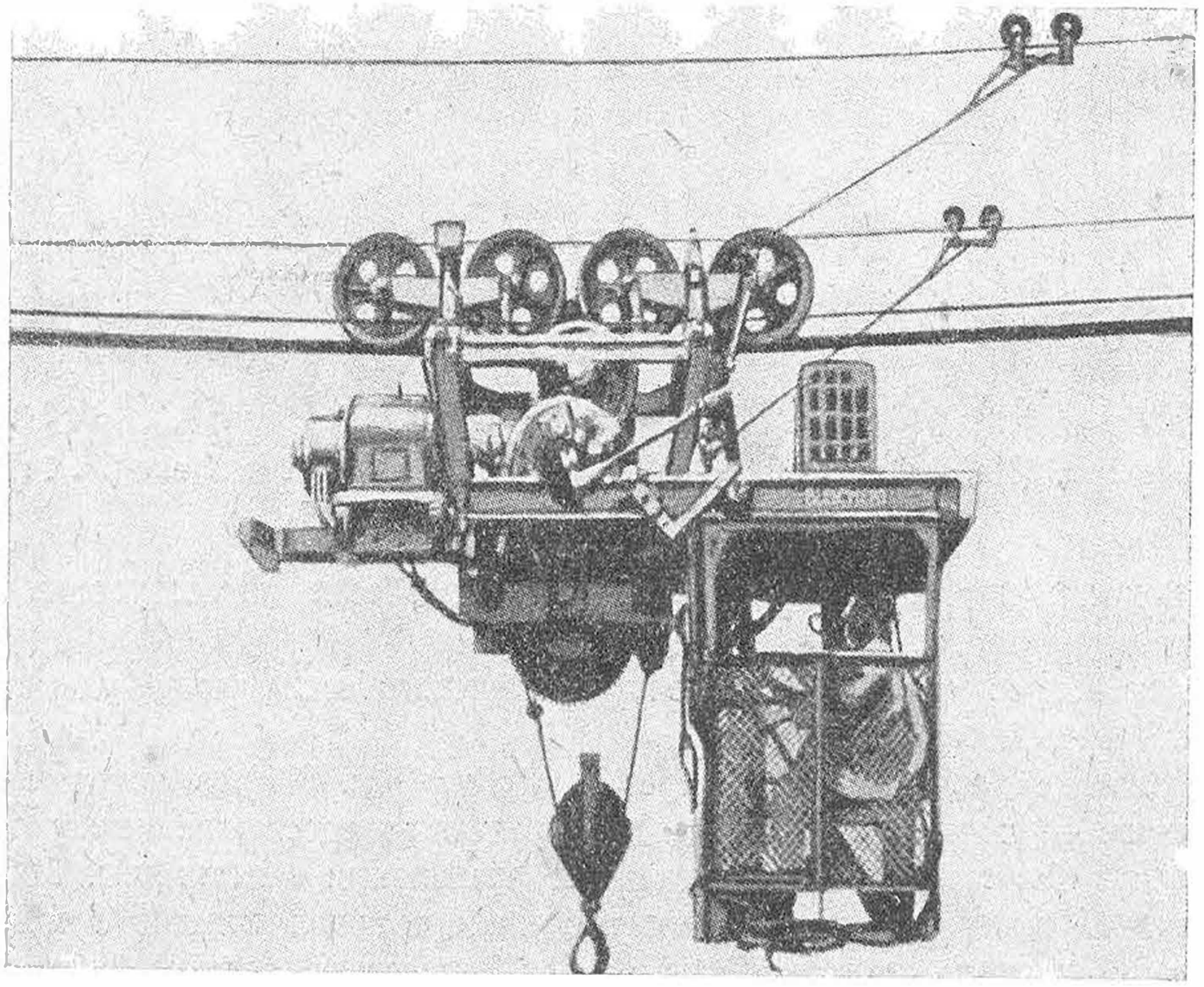


Рис. 383.

его тележкой, может быть с достаточной степенью точности определено, исходя из наибольшего допускаемого усилия в нем S по следующей формуле [1]):

$$\left(\frac{S}{S_0}\right)^2=\left(\frac{a^3}{l^3}\right)^3\left\{1+3\left[\frac{l-a}{a}\left(1+\frac{2P}{ql}\right)\right]^2\right\}+\frac{(l-a)^3}{l^3}\left\{1+3\left[\frac{a}{l-a}\left(1+\frac{2P}{ql}\right)\right]^2\right\},\quad(105)$$

[1]) См. Prof. Stephan, стр. 448.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

в ней P — вес каретки с поднимаемым грузом; a — предельное положение груза на канате от опоры.

При $a = 0{,}5\,l$ эта формула приводится к виду:

$$\frac{S}{S_0} = \frac{1}{2}\sqrt{1+3\left(1+\frac{2P}{ql}\right)^2} \qquad (106)$$

Величина усилия S определяется с учетом коэфициента прочности по величине так называемой «постоянной каната», даваемой в каталогах.

Имея значение S_0, можно определить величину распора H, соответствующего ненагруженному канату, и соответствующую ему стрелу провеса —f.

Если принять, что канат имеет провес по параболе с уравнением $y = \frac{4f}{l^2}x(l-x)$, то наибольшее значение угла наклона каната у опор определится величиной $\operatorname{tg}\alpha = \frac{4f}{l}$; при этом значение угла, величина распора

$$H = S_0\cos\alpha = S_0\frac{1}{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\alpha}} = S_0\frac{l}{\sqrt{l^2+16f^2}}. \qquad (107)$$

Величина возможной стрелы провисания определяется из выражения (формула 76)

$$f = \frac{ql^2}{8H} = \frac{ql\sqrt{l^2+16f^2}}{8S_0},$$

которая после ряда преобразований приводится к виду:

$$f = \frac{ql^2}{8\sqrt{S_0^2-\frac{1}{4}q^2l^2}}. \qquad (108)$$

По этой величине первоначального провеса с добавлением к ней ожидаемой величины провеса Δf от действия сосредоточенного груза P (см. формулу 86)

$$\Delta f = \frac{3}{16}\frac{l}{f}\Delta l$$

определяется необходимая высота опорных рам, поддерживающих канат. В проектной высоте рам должна быть также предусмотрена возможность размещения каретки с

Рис. 384. Навесная сборка при помощи кабель-крана на мосту через р. Коннектикут.

подаваемым грузом и собираемого пролетного строения с запасом от 0,5 до 1,0 *м* для возможности оперирования с устанавливаемой части (рис. 324) и в запас на вытяжку каната (сравни § 35).

Тяговое усилие, потребное для приведения каретки в движение, будет зависеть от величины груза P, величины предельного угла наклона γ, до которого должен

НБ УДУНТ (ДІІТ)

подниматься груз, и скорости движения — v. Величина тягового усилия определится по формуле:

$$T = P\sin\gamma + \mu P\cos\gamma + \frac{Pv}{\mu' \cdot g}. \qquad (109)$$

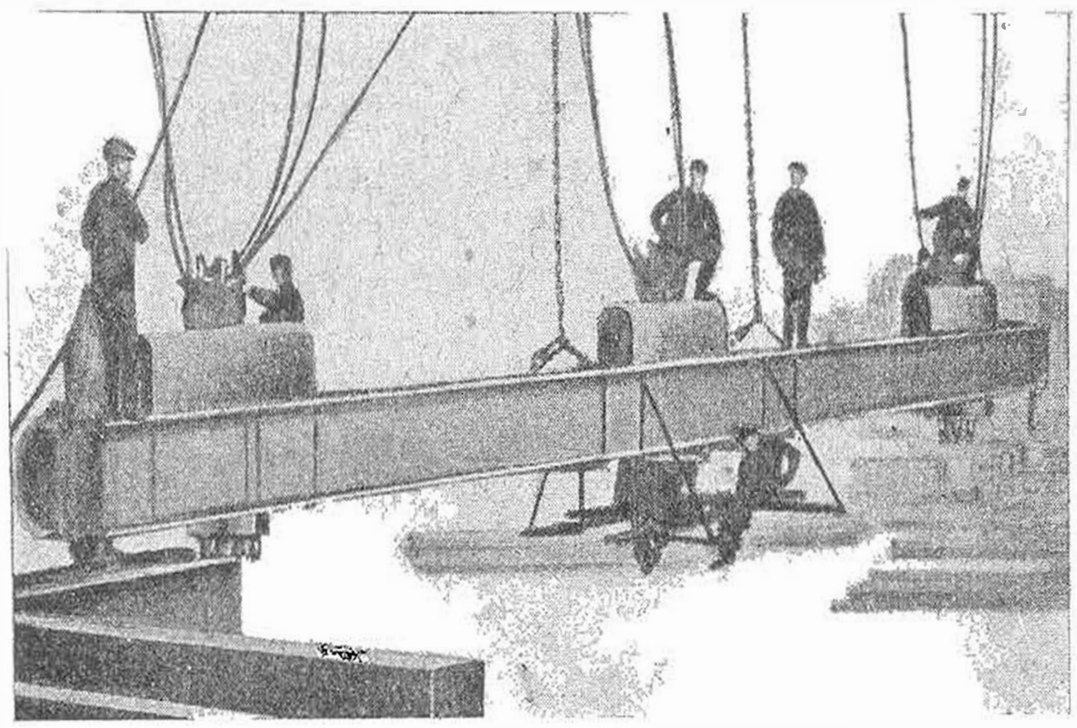


Рис. 385.

В этой формуле μ — коэфициент сопротивления движения по канату, принимаемый от 0,01 до 0,016, μ' — коэфициент полезного действия в уравнении импульса, принимаемый равным 0,9, g — ускорение силы тяжести равно 9,81 *м/сек*^{2} и v — скорость движения в *м/сек*.

Кран может быть спроектирован так, что каретки с грузом будут только спускаться в средней пониженной части его и подниматься порожними. При таком устройстве в выражение тягового усилия величина μ войдет с обратным знаком, и слагающая $P\sin\gamma$ будет стремиться стащить каретку вниз, так что вполне возможно, что движение ее придется тормозить.

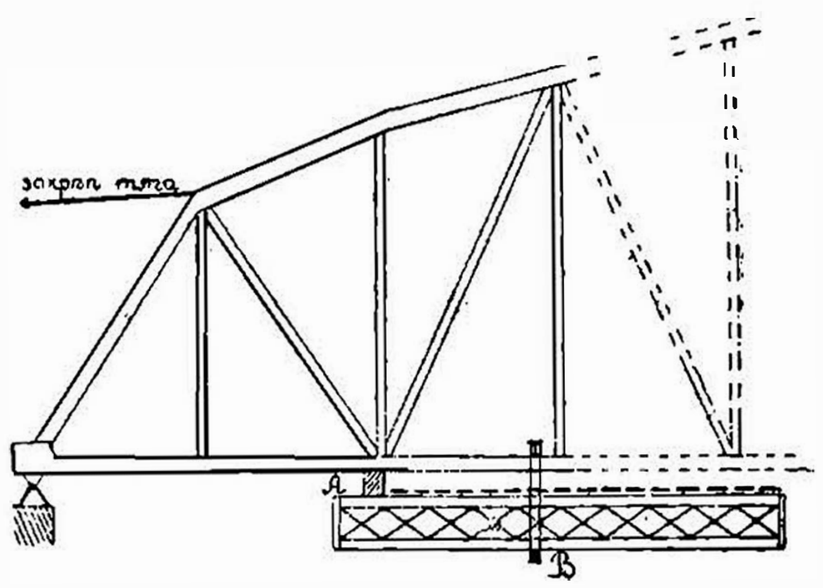


Рис. 386.

§ 43. Подвесные подмости и платформы. Из приведенного в § 41 описания навесной сборки видно, что вся работа по установке, наводке и соединению отдельных частей пролетного строения производится в пространстве, причем рабочие должны помещаться или на самой устанавливаемой части (рис. 385), или для этого должны быть сделаны специальные подмости. Помещение рабочих на самой устанавливаемой части стесняет свободу их действия и может быть сделано лишь в тех случаях, когда соединение отдельных стержней ферм несложно. В большинстве же случаев, особенно в фермах с

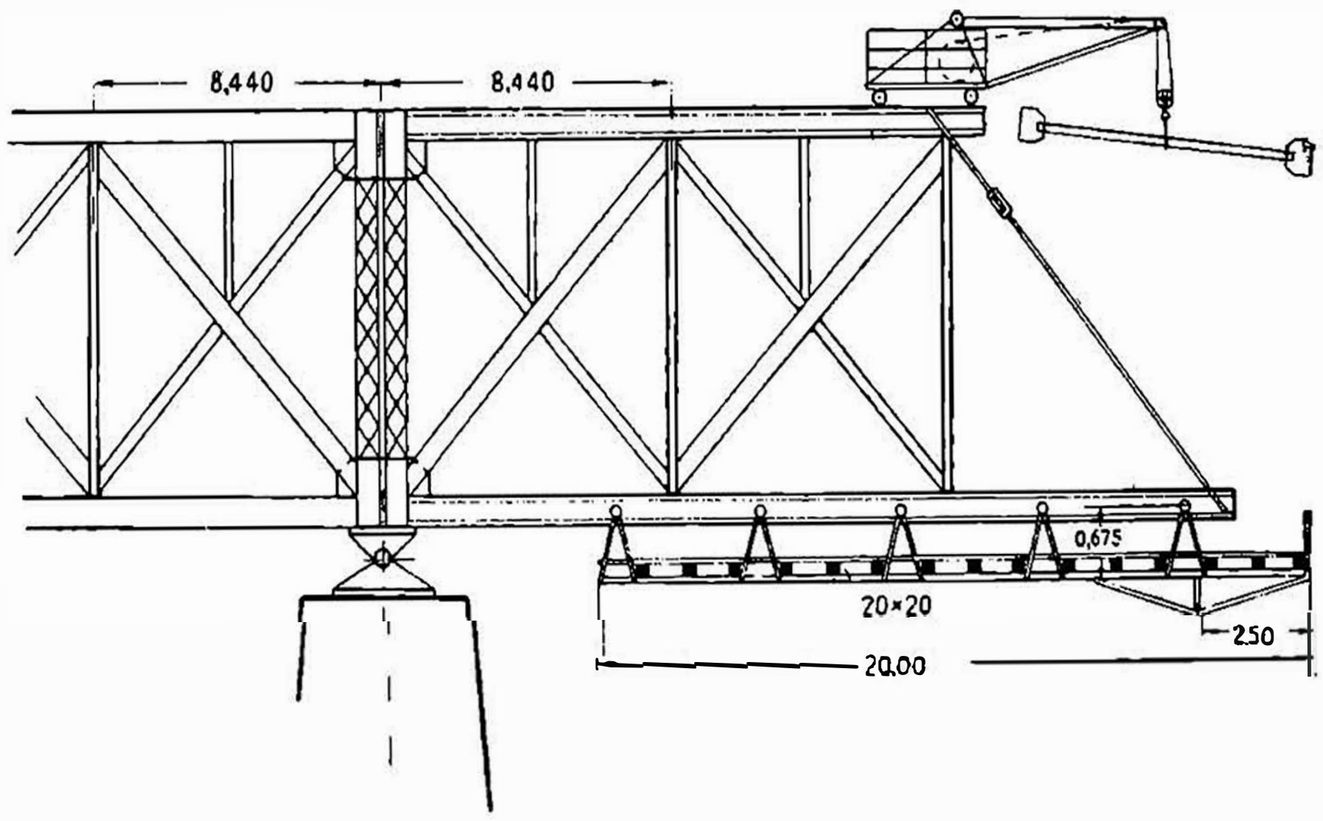


Рис. 387. Подвесные подмости для сборки пролетного строения моста через р. Молдаву.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

жесткими узлами, когда по условиям наводки дыр рабочие должны иметь свободу перемещения вокруг всего узла, для передвижения их устраиваются подвесные подмости или платформы.

По своей конструкции подвесные подмости и платформы очень просты и состоят из нескольких продольных брусьев или ферм, приведенных во взаимную связь диагональными стяжками и перекрытых или непосредственно досками, или поперечными брусками для выстилки досок. Особый интерес представляет приспособление платформы, к работе вне пределов уже собранной части пролетного строения. Платформы, удовлетворяющие этому требованию, могут быть разделены на выдвижные и подвесные.

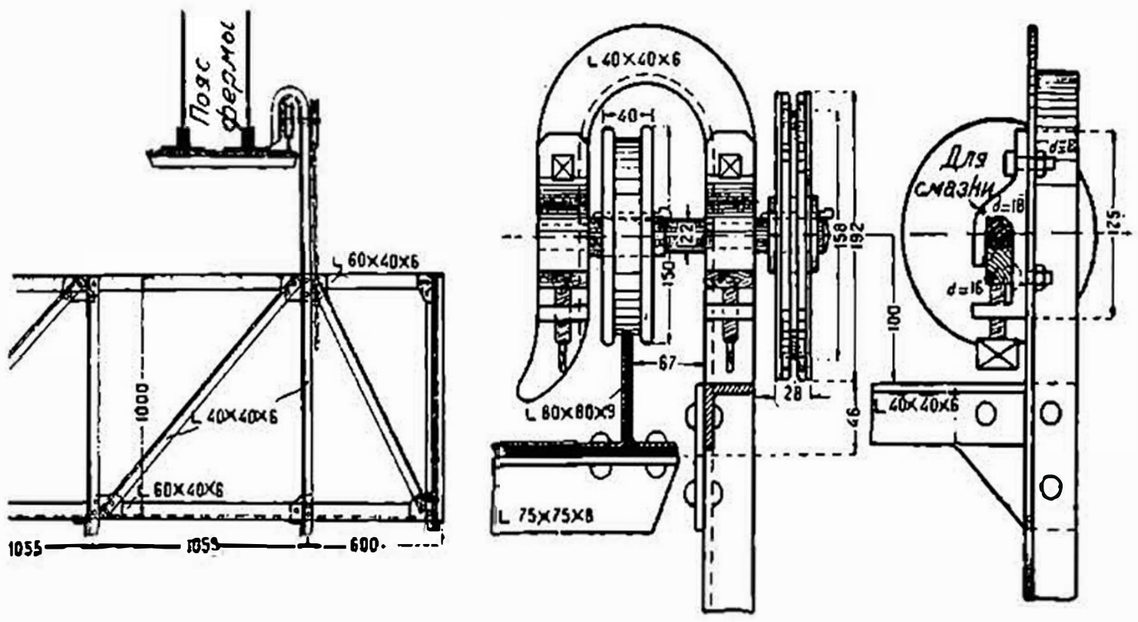


Рис. 387 Na.

В выдвижных платформах используется идея закрепленных или консольных балок. Такое закрепление делается к стержням уже собранной части пролетного

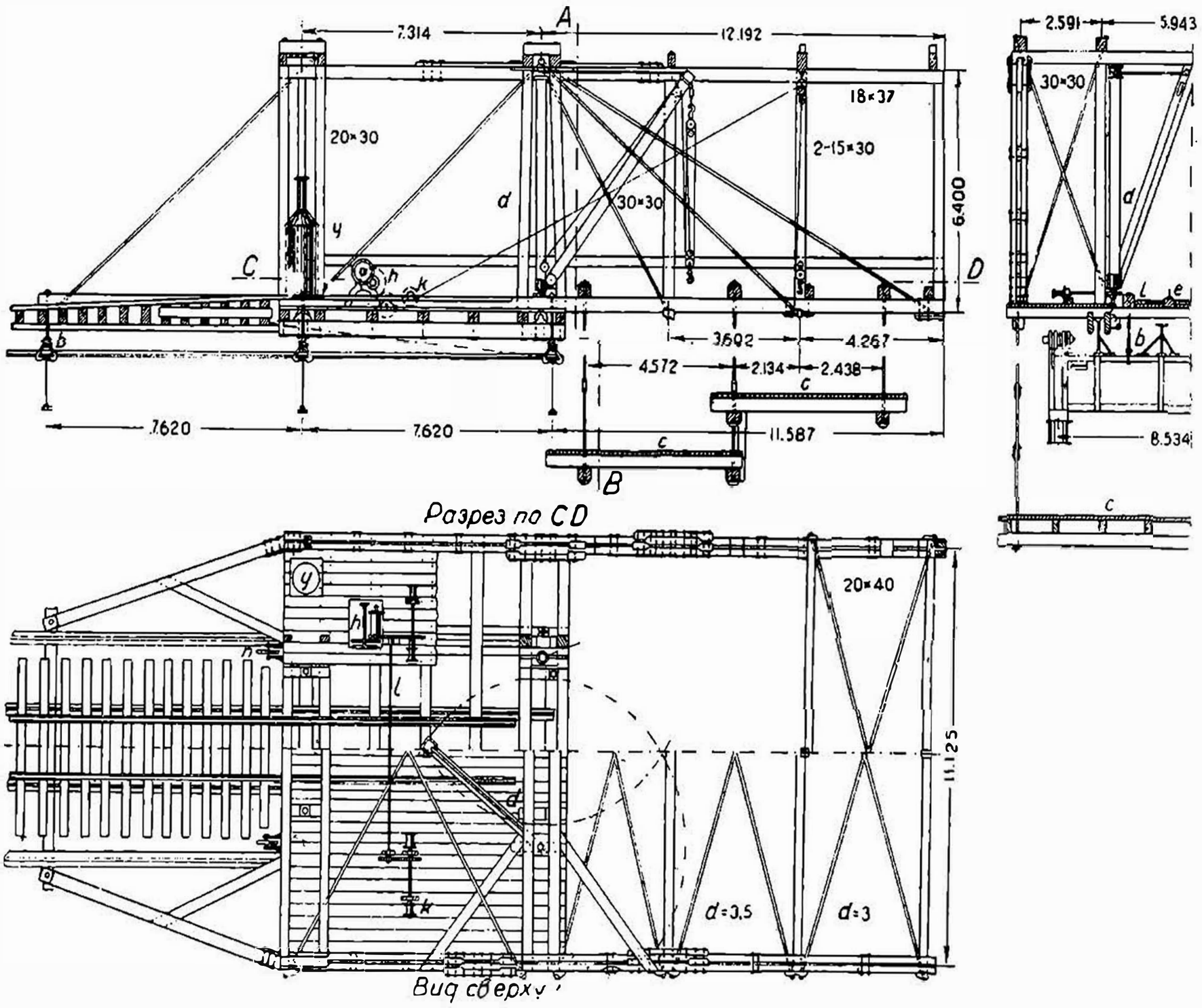


Рис. 388. Кран для сборки пролетных строений консольного моста через р. Ниагару.

строения. Балка или ферма подмостков выдвигается вперед на длину, при которой она в состоянии выдержать соответствующую нагрузку, подвешивается (рис. 386) к наиболее выступающей части пролетного строения и задним концом своим

НБ УДУНТ (ДІІТ)

упирается в вышележащую часть его. Таким образом реакция упора — A и подвески — B дают пару, уравновешивающую изгибающий момент выступающей части балки.

В фермах с горизонтальным поясом выдвигание вперед больших платформ облегчается подвешиванием их к роликам (рис. 387), передвигающимся по обрезу горизонтальных листов или уголков нижнего пояса. На рис. 387*а* показан один из типов такого приспособления подвесок платформы к движению по краю пояса.

Так как описываемые платформы служат вспомогательным приспособлением для сборочных кранов, то движение их вдоль пролетного строения нередко согласуется

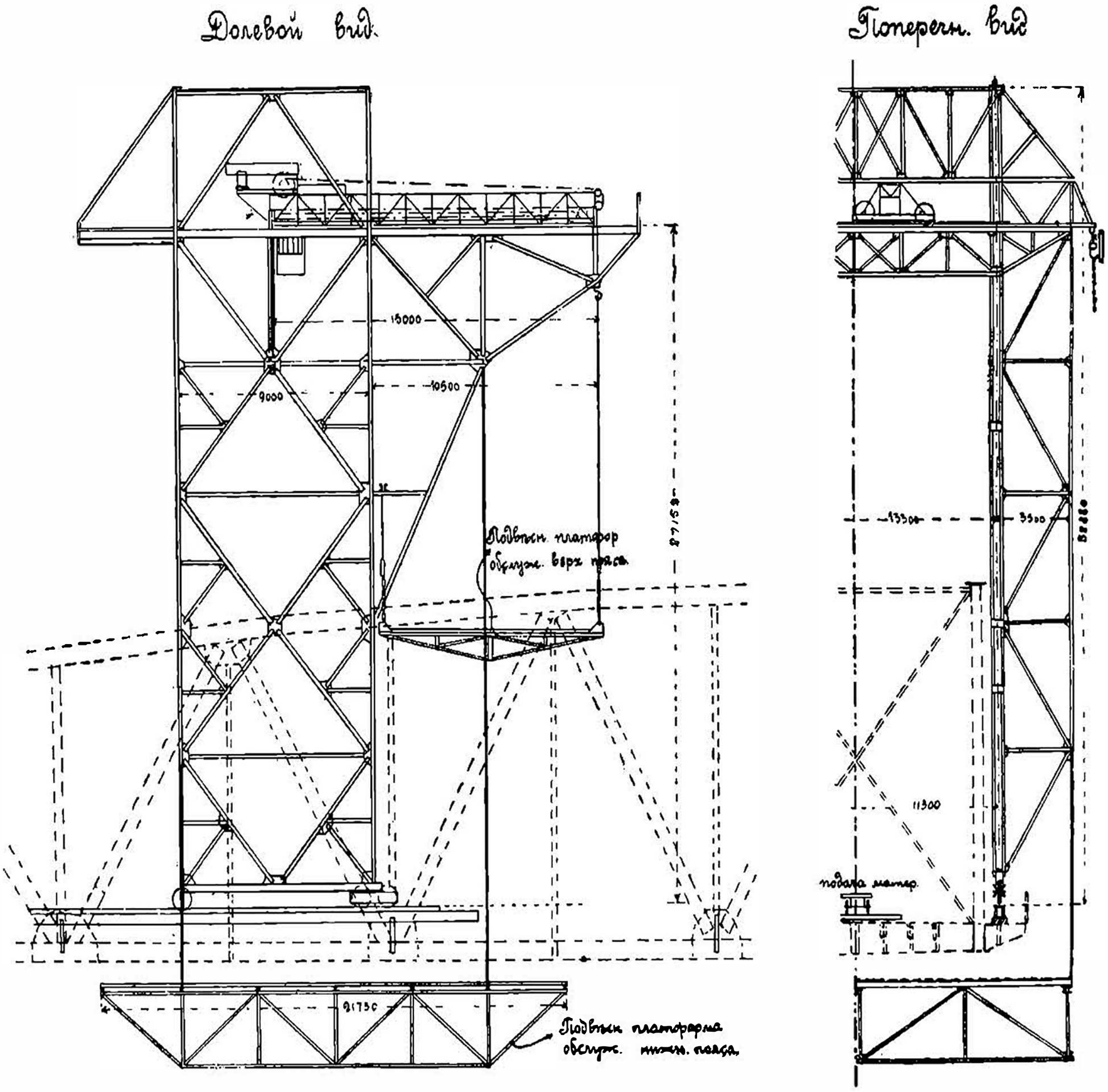


Рис. 389. Металлический кран для навесной сборки пролетного строения моста через р. Рейн в Рурорте.

с движением крана, с каковою целью платформы подвешиваются к самой тележке крана и уже вместе с ней перемещаются по пролету. Для того чтобы подвешенные к крану платформы не стесняли движения крана, поддерживающие их тяги должны проходить вне очертания пролетного строения, тогда как станины кранов в редких случаях находятся вне пределов очертания пролетного строения. Ввиду этого станины кранов снабжаются дополнительными фермами (рис. 368) и консолями (рис. 389), выходящими за пределы очертания пролетного строения и таким образом обеспечивающими свободу подвешивания платформ. В журавлевых кранах (рис. 368 и 388), где сборка производится впереди крана, вспомогательные фермы для подвески подмостков проектируются выступающими вперед настолько, чтобы платформы могли

НБ УДУНТ (ДІІТ)

удовлетворять условиям наводки при наибольшем вылете стрелы. В консольных кранах (рис. 389) сборка производится в пределах консолей, а следовательно, платформы, подвешенные к консолям, всегда будут обслуживать рабочее пространство.

Если подвесные платформы должны обслуживать собой пространство, расположенное на одном и том же расстоянии от уровня пути движения крана, как это имеет место в фермах с горизонтальными поясами, то подвески платформ проектируются постоянной длины с жесткими сечениями из уголков или тавров, что делает платформы более устойчивыми. В фермах же с криволинейными поясами и при обслуживании платформами сборки в нескольких уровнях они подвешиваются на цепях или канатах, приспособляемых к изменению длины.

Преимущество подвесных платформ перед выдвижными заключается, во-первых, в том, что движение платформ, служащих вспомогательным приспособлением к кранам, вполне согласуется с движением последних, и, во-вторых, в том, что путем простого изменения длины подвесок можно применять их для работ в разных уровнях, что имеет большое значение при сборке арочных ферм.

§ 44. Приспособление ферм для навесной сборки. Метод навесной сборки по своей идее проще и легче всего применим для сборки консольных пролетных строений. Консольные части этих строений не требуют специальных укреплений против опрокидывания и не испытывают дополнительных напряжений, так как условия работы их во время сборки не отличаются от работы в законченном виде: нагрузка же их во время сборки значительно меньше проектной. В большинстве случаев часть консольных пролетных строений, а именно, или основные фермы, или береговые консоли собираются на подмостях и уже в собранном виде своим весом уравновешивают навесную сборку речных консолей (рис. 390).

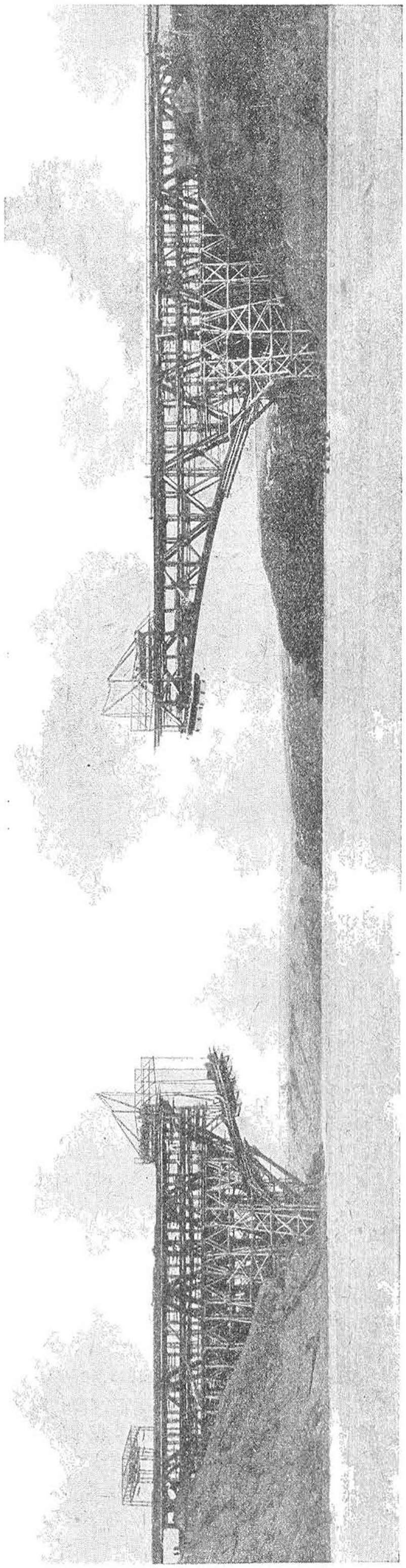


Рис. 390. Навесная сборка моста через р. Днепр около Кичкаса.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Неизменяемое положение опорной части консолей, жесткое соединение составных частей, нормальная работа и деформация их обеспечивают правильное проектное положение их в течение всей сборки и по окончании ее.

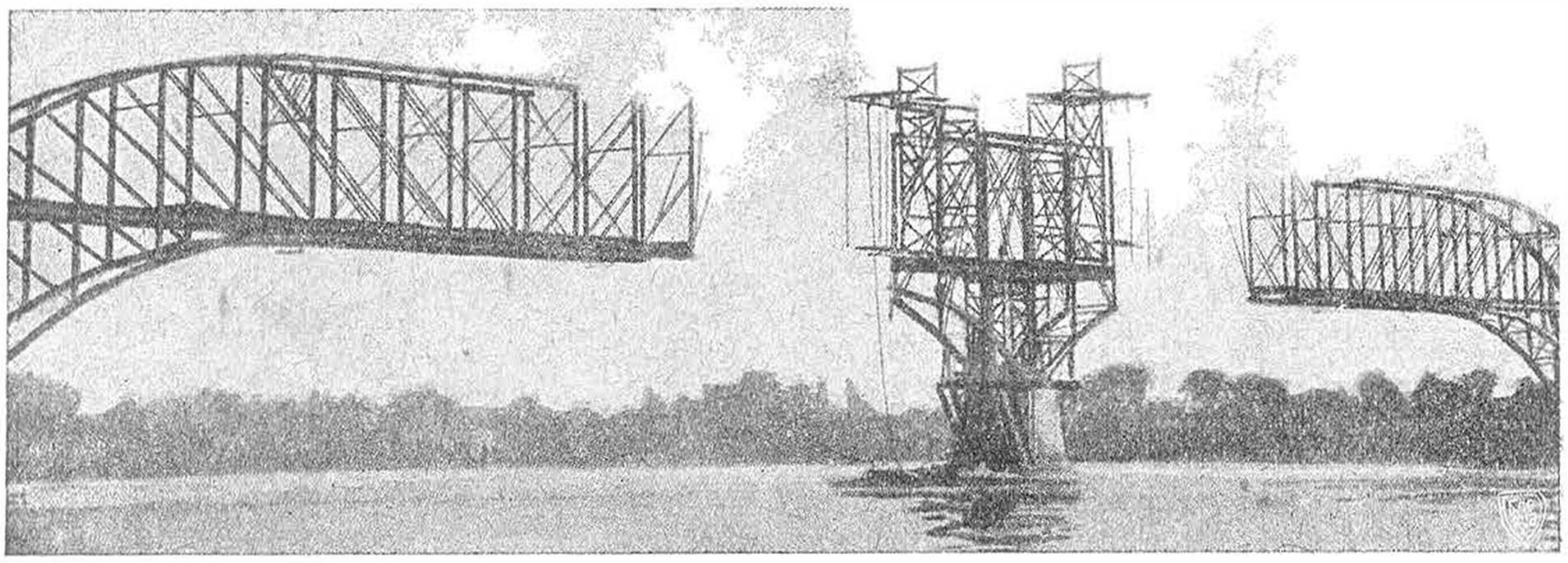


Рис. 391. Сборка консольного пролетного строения моста через р. Лаврентия.

Сборка консольных ферм заканчивается постановкой на место промежуточных междуконсольных ферм (рис. 352). Нередко эти фермы также собираются навесным способом, смыкаются в средней части и, как простые балочные фермы, требуют в условиях навесной сборки соответствующих укреплений против опрокидывания и усиления перенапряженных частей, о чем см. ниже (рис. 427).

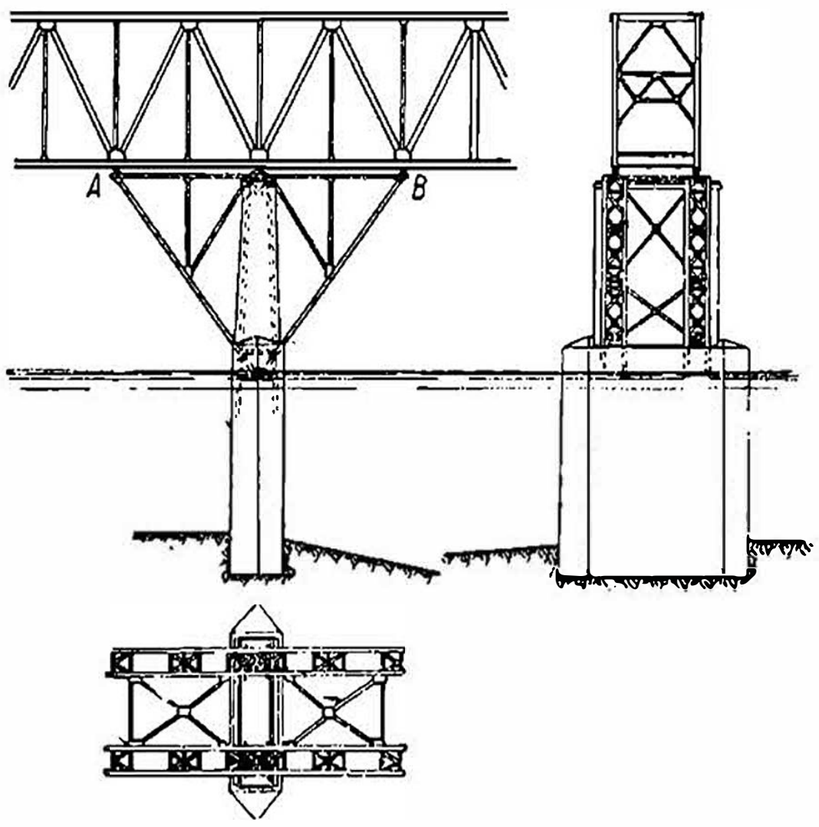


Рис. 392.

Удобоприменимость консольных конструкций для навесной сборки используется также для сборки неразрезных пролетных строений. Сборка таких ферм начинается от промежуточных опор, где прежде всего на опорных подушках устанавливаются опоры на стойки или раскосы, которые надлежащим образом закрепляются от опрокидывания (рис. 391). Затем начинается симметричное навешивание с обеих сторон примыкающих частей пролетных строений. Собираемые таким путем пролетные части взаимно уравновешиваются, и так как неразрезные фермы имеют сильные сечения поясов у опор, то они обычно допускают навесную сборку без специальных усилений их.

Рис. 393.

Для укрепления опорной части неразрезных ферм в начале сборки устраивают на промежуточных опорах специальные консольные уширения (рис. 392), которые служат для укладки на них первых панелей ферм как на подмости. Эти уширения с удобством используются для установки под первыми узлами ферм домкратов A и B, помощью которых можно давать наклон собираемым фермам, поворачивая их вокруг шарнира опорной подушки, и даже опускать или поднимать всю собранную часть пролетных строений. Такая возможность изменения положения собираемых

НБ УДУНТ (ДІІТ)

пролетных строений имеет большое значение в момент смычки их со встречной сборкой или в момент подхода сборки к встречной опоре, когда приходится регулировать положение пролетного строения в вертикальной плоскости.

Описанный прием навесной сборки может быть использован также для сборки двухопорных балочных пролетных строений, сходящихся на промежуточных опорах; но в этом случае фермы, сходящиеся на промежуточной опоре, должны быть приведены к виду неразрезных, для чего они при наличии опорных стоек соединяются по оси верхнего пояса стяжками, при отсутствии же стоек соединяются добавочным стержнем *cd* (рис. 393). При разработке проекта такой сборки надо учитывать возможность перенапряжений в поясах собираемых ферм, так как простые балочные фермы имеют наиболее слабое сечение поясов у опор, т. е. у мест, испытывающих при навесной сборке наибольшие напряжения.

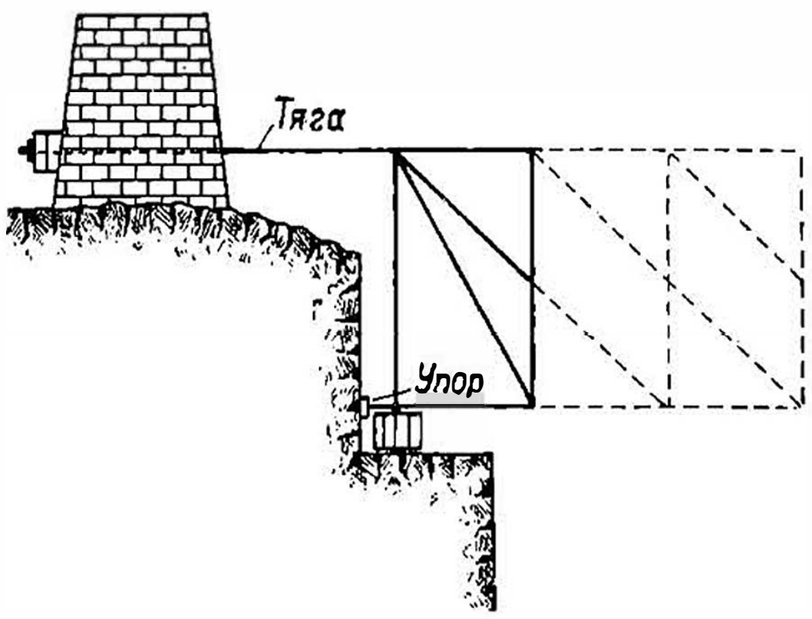


Рис. 394.

Применение метода навесной сборки к двухопорным балочным и арочным фермам обусловливает приведение их к виду консольных.

В балочных фермах с высокими опорными стойками или раскосами закрепление концов делается упором нижнего пояса в неподвижную точку и закреплением верхнего тягой. Реакции этих двух пунктов закрепления образуют пару, противодействующую опрокидывающему моменту свешивающегося конца, а так как момент пары возрастает с увеличением ее плеча, то точки закрепления упора и тяги расставляются на возможно большую высоту. Выбор точек для укрепления тяг зависит от местных условий. В редких случаях удается использовать для этого естественный берег реки [1]) (рис. 394). Чаще для укрепления верхних тяг выбираются повышенные части соседних конструкций.

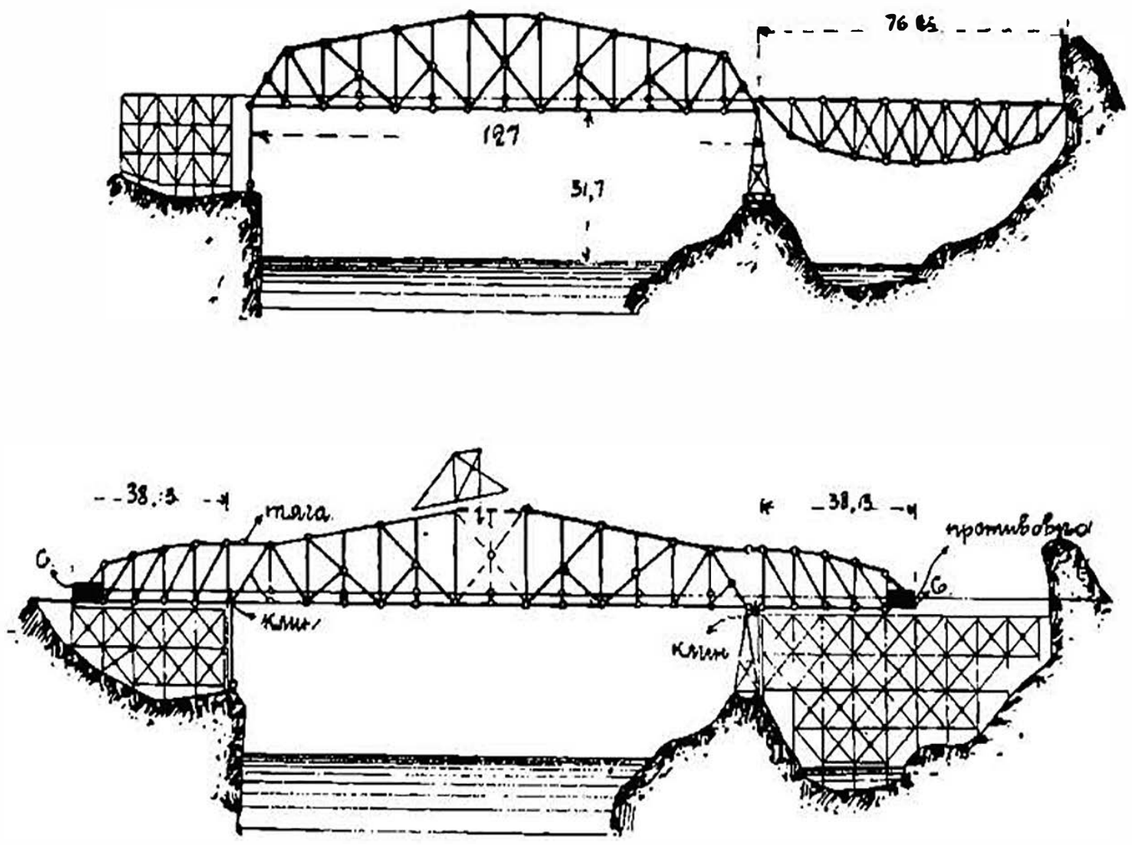


Рис. 395. Схема закрепления пролетного строения моста через р. Колумбию.

При сборке моста через р. Колумбию для укрепления собираемых ферм было использовано верхнее строение берегового пролета (рис. 395). Оно было разделено на две половины, опрокинуто нижним поясом вверх, установлено на специальные деревянные подмости и в таком виде служило для укрепления тяг; в предупреждение опрокидывания задние концы обеих половин его были загружены противовесами.

Если навесная сборка применяется для средних пролетов многопролетных мостов или для сборки промежуточных ферм консольных мостов, то лучшим пунктом укрепления тяг являются соседние, уже собранные пролетные строения и консольные

---

[1]) При сборке неразрезных ферм моста через р. Кентуки закрепление верхней тяги было сделано в кладку оставшейся опоры подвесного моста; укрепление нижнего конца было сделано непосредственным упором в скалу, для чего в нижнем поясе было сделано удлинение

НБ УДУНТ (ДІІТ)

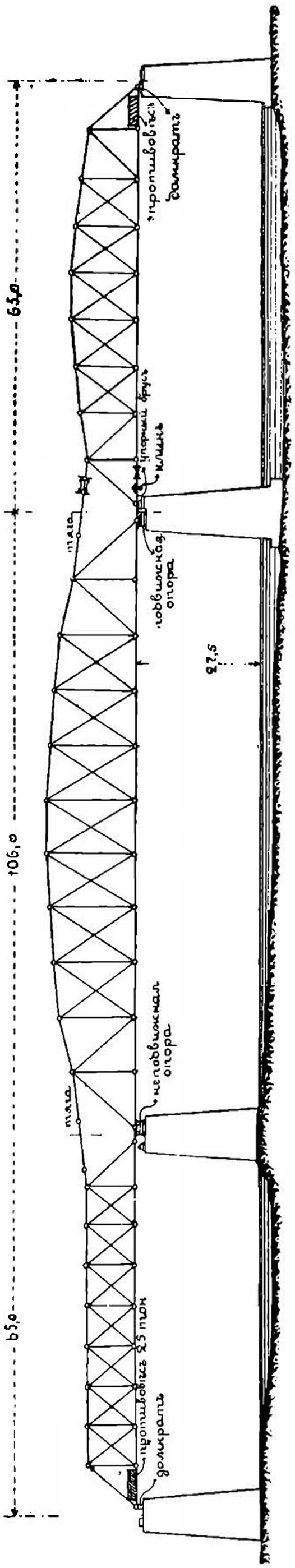


Рис. 396. Схема закрепления пролетного строения для навесной сборки на мосту через р. Огейво в Бенвудене.

части главных ферм (рис. 396), которые по своей высоте обыкновенно близко подходят к концевой высоте собираемых ферм.

В балочных фермах с небольшой высотой на опорах описанный тип закрепления не применим вследствие малой высоты плеча между тягой и упором. В таких фермах уместно консольное закрепление (рис. 397). Идея этого способа заключается в том, что собираемые фермы устанавливаются на свои опорные балансиры, концы ферм снабжаются жесткими консолями листовыми или решетчатыми, выступающими за пределы опор моста. В конце консолей помещаются приспособления (например винты *c*, рис. 397), помощью которых изменяется положение консолей относительно горизонта, а вместе с ними и собираемых ферм.

Закрепленные тем или иным путем балочные двухопорные фермы во время производства сборки работают как консольные фермы. Вследствие этого

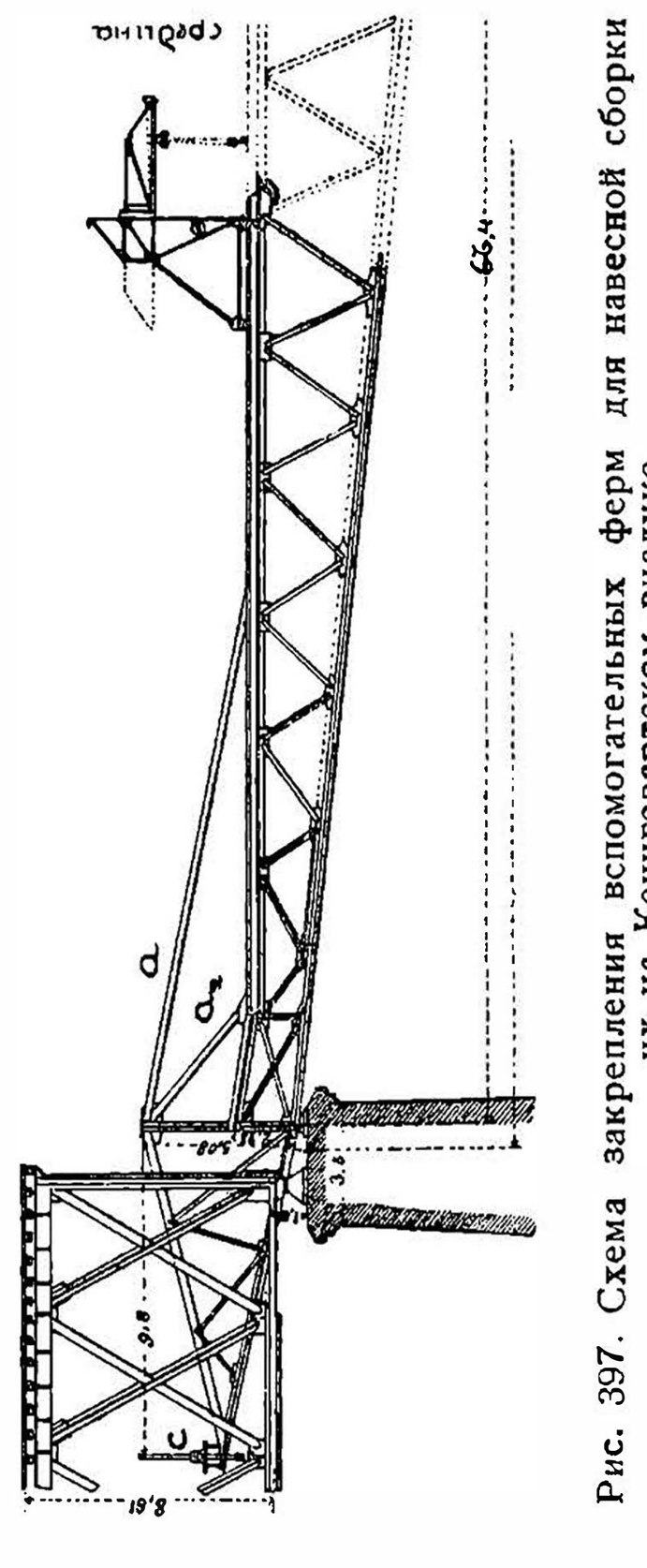


Рис. 397. Схема закрепления вспомогательных ферм для навесной сборки их на Кенигсвартском виадуке.

стержни нижнего пояса двухопорных ферм, прилегающие к опорным узлам, при применении навесной сборки оказываются напряженными сжимающими усилиями, вместо растягивающих, значительно превышающими их. Такое изменение в распределении усилий должно учитываться особо, и часто фермы, сборка коих предполагается навесу, уже

НБ УДУНТ (ДІТ)

при составлении проекта специально усиливаются. Временное усиление частей ферм может быть сделано постановкой деревянных распорок.

Когда сборка ведется с опоры на опору и длина свешивающегося конца доходит до длины пролета, дополнительные напряжения в частях ферм достигают такой величины, что ограничиться простым усилением при помощи деревянных распорок не представляется возможным. В таких случаях свешивающиеся концы разгружаются постановкой дополнительных опор.

Необходимые для указанной цели временные опоры возводятся в тех местах пролета, при подходе к которым стержни ферм у места закрепления их будут испытывать предельное допускаемое напряжение (рис. 398). Сборка пролетного строения до пункта *a* ведется обычным путем. В пункте *a* пролетное строение приподнимается домкратами до полного уничтожения прогиба и помещается на временную опору. После чего сборка ведется далее обычным способом, опять-таки до предельной длины свешивающегося конца — до пункта *в* и т. д. С посадкой собираемого пролетного строения на промежуточные опоры фермы его из консольных обращаются в двухопорные и многоопорные, вследствие чего изменяются характер их прогиба и условия работы закрепительных тяг. Характеристикой изменения работы тяг могут служить показанные на рис. 399 две линии прогиба ферм одного и того же моста для двух различных фазисов сборки. В первом случае построение линии прогиба сделано для момента, когда правый конец пролетного строения доведен до временной опоры *a*; все пролетное строение имеет выгиб кверху, и стяжка между консолью и подвесной балкой должна быть закреплена (fest). Во втором случае построение сделано для момента, когда правый конец пролетного строения доведен до второй временной опоры *b*; линия изгиба ломаная, и для образования шарнира в нижнем поясе стяжка должна быть ослаблена (lose).

На рис. 400 и 401 показана навесная сборка при помощи временных опор балочного пролетного строения с пролетом 126,9 *м*. Для производства сборки были сделаны две временных опоры: первая из них была устроена под 4-м узлом фермы, вторая — под 10-м узлом. При таком расположении опор навесная сборка была возможна после прохода 1-й опоры до узла 6-го и после прохода 2-й опоры до 14-го узла. Для того чтобы довести сборку до встречной опоры, в собираемые фермы вводились шпренгельные балки, которые, усиливая нижний пояс ферм, превращали навесную сборку в сборку на опорах и таким образом разгружали наиболее напряженные части

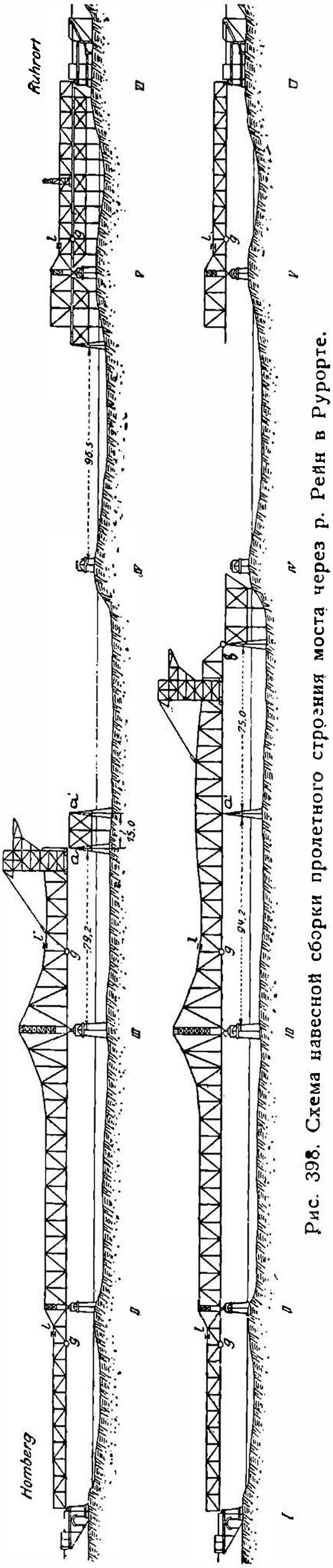
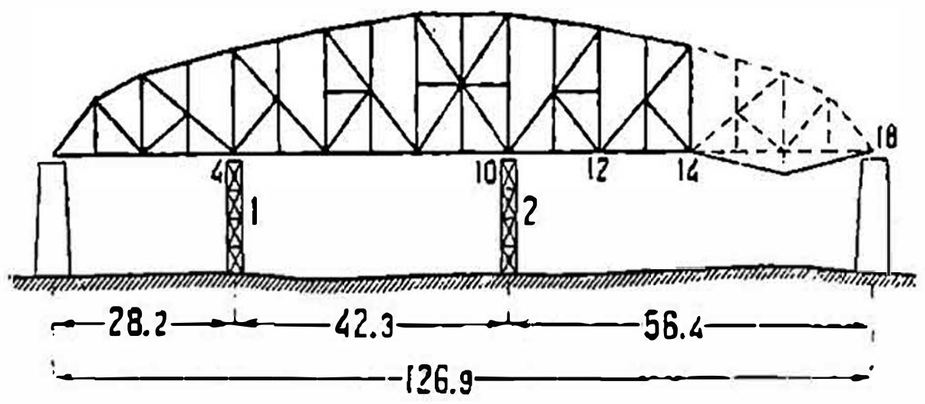


Рис. 398. Схема навесной сборки пролетного строения моста через р. Рейн в Рурорте.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Рис. 399.



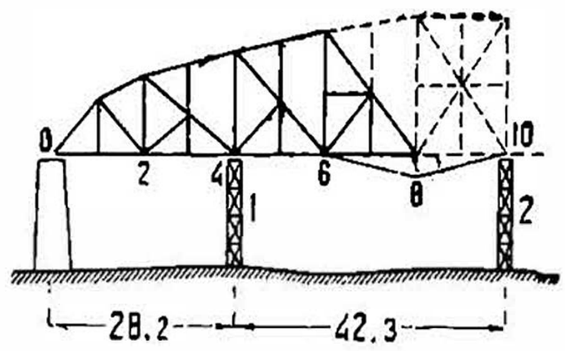


Рис. 400.

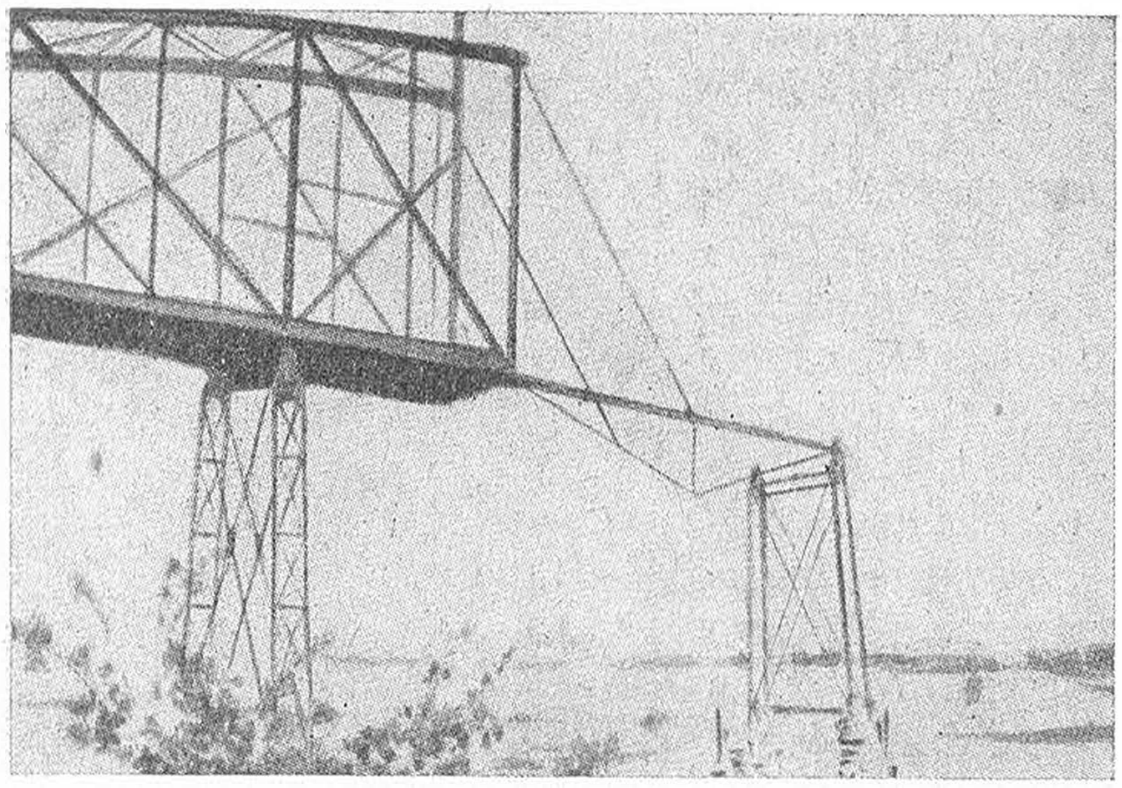


Рис. 401. Навесная сборка балочного пролетного строения через промежуточные опоры (Eng. Record 1927 № 15).

ферм. При таком способе ведения сборки все узловые соединения должны были ставиться на болты и могли склепываться только по окончании всей сборки.

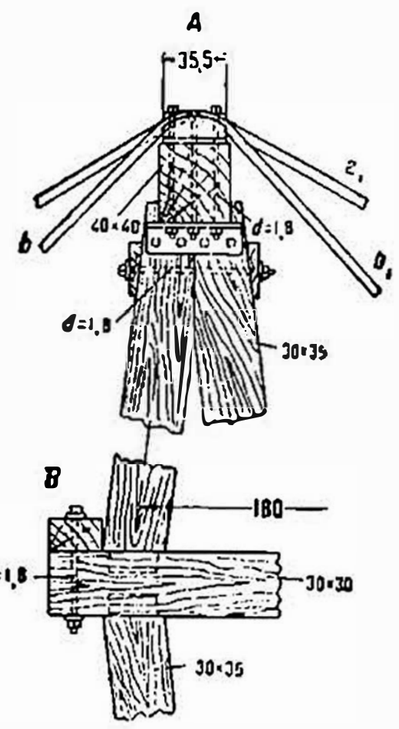
Вместо устройства временных опор разгрузка свешивающегося конца пролетного строения может быть сделана укреплением его тягами к разгрузочным башням, возводимым над опорами моста.

Число временных тяг изменяется в зависимости от длины свешивающего

НБ УДУНТ (ДІІТ)

конца. Тяги пропускаются через вершину разгрузочной башни (рис. 402) и закрепляются или в кладке устоев, или к соседнему пролетному строению.

Закрепление удерживающих тяг к соседнему пролетному строению вызывает в последнем выгиб в сторону обратную расчетному. В виде противодействия этому выгибу пролетное строение загружается балластом, местоположение которого определяется по его назначению. Для противодействия опрокидыванию, вызываемому свешивающимся концом, наиболее выгодно положение баласта в противоположном конце пролетного строения; для противодействия обратному выгибу ферм помещение баласта желательно в середине ферм и для противодействия усилиям закрепительных тяг — вблизи от точек их закрепления.



При сборке пролетного строения моста через р. Коннектикут была соблюдена следующая последовательность загружения баластом (рис. 402). Первоначально во время сборки

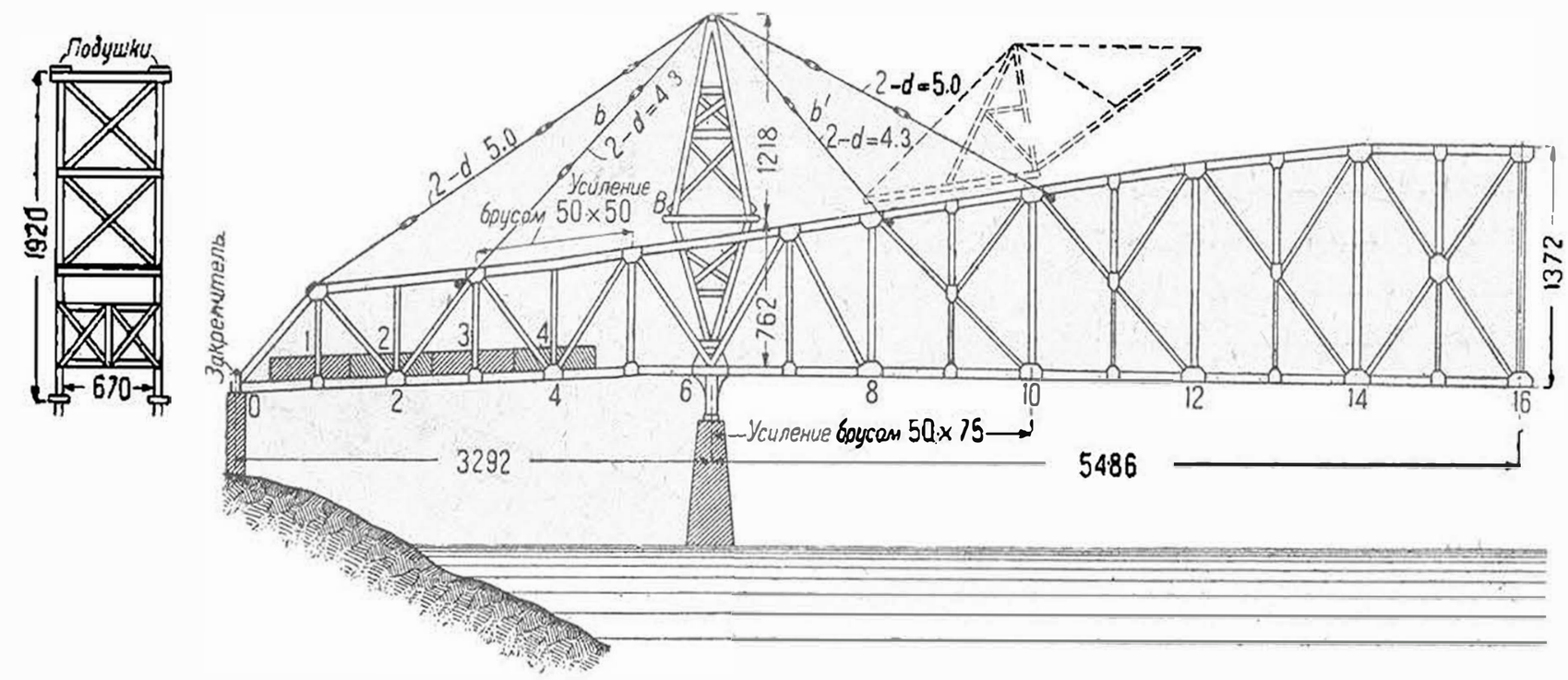


Рис. 402. Схема закрепления пролетного строения для навесной сборки на мосту через р. Коннектикут.

панелей 6 — 10 была загружена левая средняя панель (ящик № 2) как ближайшая к закрепленной опоре; после постановки тяги $b_i — b$ была загружена правая средняя панель (ящик № 3); после постановки тяги $a_i — a$ был загружен ближайший к ней ящик № 1, и уже по мере хода последующей сборки был загружен ящик № 4.

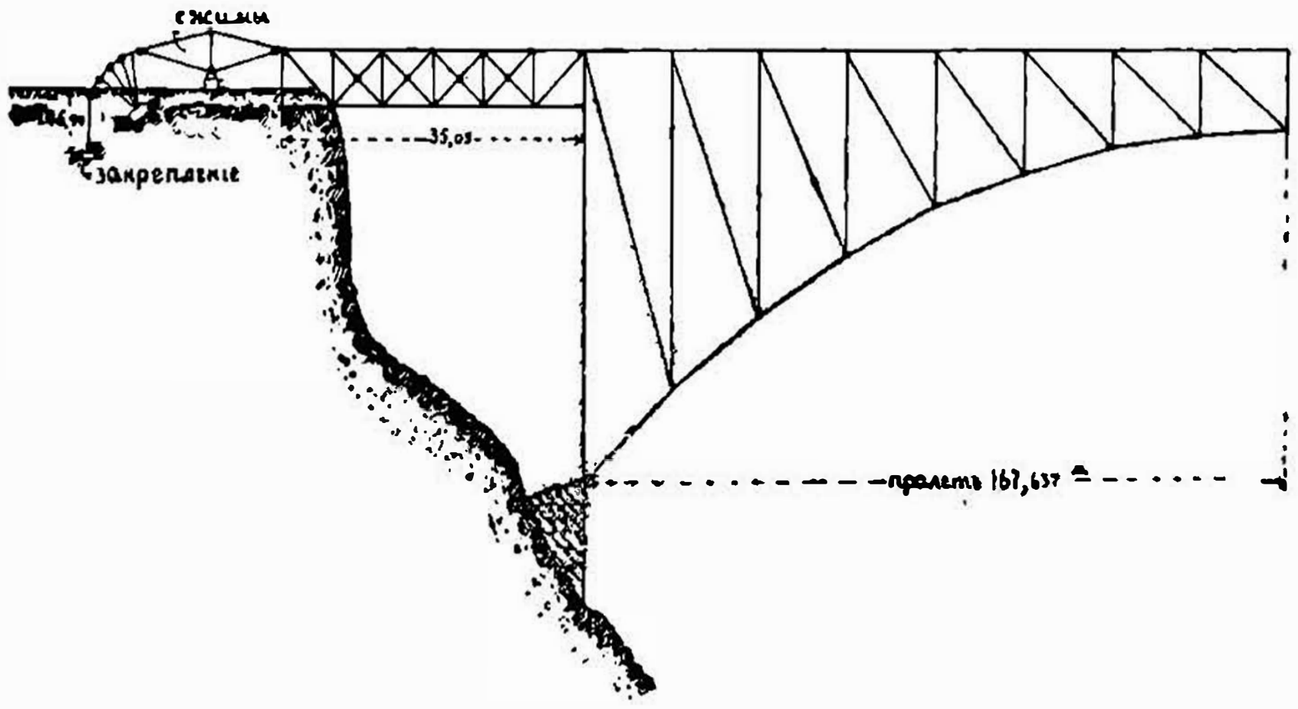


Рис. 403. Схема закрепления арочных ферм для навесной сборки на мосту через р. Ниагару.

При навесной сборке арочных ферм приведение их к виду консольных делается путем постановки верхних закрепительных тяг. В качестве упорного пункта используются опорные шарниры и пяты арок, положение которых по условиям конструкции неизменяемо. Реакции упора в пяте и тяге образуют пару, противодействующую опрокидыванию свешивающегося конца. Так как высота ферм арок вблизи опорных шар-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ниров всегда невелика, то для увеличения плеча пары закрепление тяги делается к одному из промежуточных узлов арки, сборка же части арки между пятой и узлом, где закрепляется тяга, производится на подмостях. Система закрепления выбирается в зависимости от местных условий и конструкции арок.

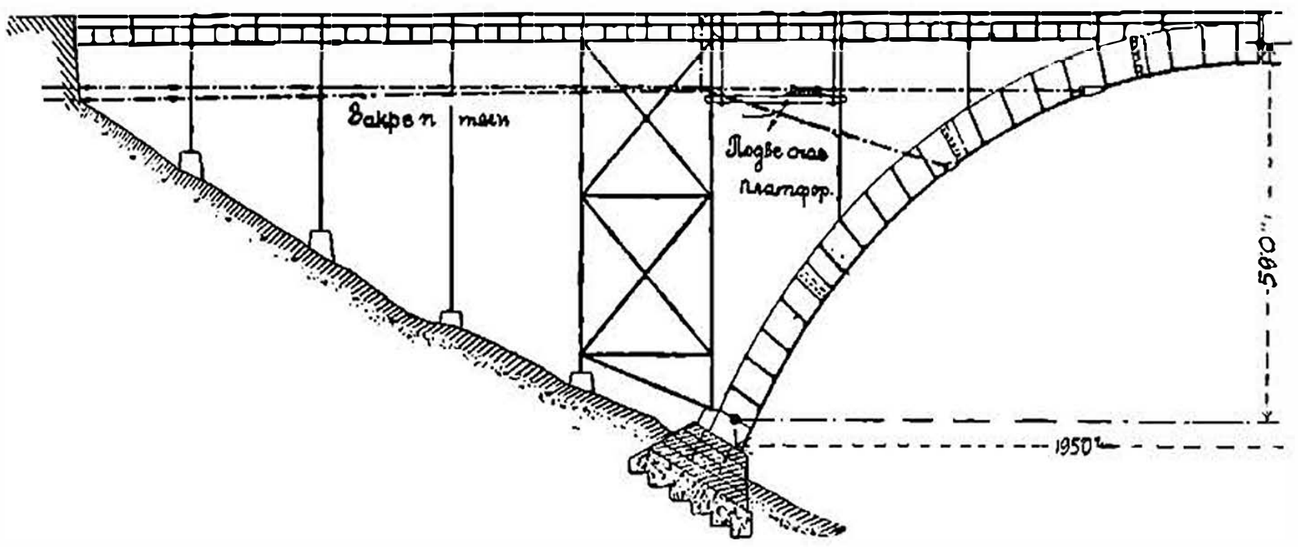


Рис. 404. Схема закрепления арочных ферм для навесной сборки на мосту в Питсбурге.

В арках с прямолинейным верхним поясом тяге дается направление непосредственно по оси верхнего пояса (рис. 403), и задний конец его закрепляется к особому якорю или в устоях моста.

В арках с криволинейным очертанием тягам дается наклонное положение, и задние концы их или закрепляются к промежуточным опорам моста (рис. 404), или к верхнему концу стоек или рам, специально для этого устраиваемых (рис. 405). Эти стойки делаются качающимися в пятах и удерживаются от опрокидывания вторыми задними тягами, закрепляемыми к якорям; путем изменения длины задней тяги изменяется положение стойки, и этим регулируется положение собираемой конструкции.

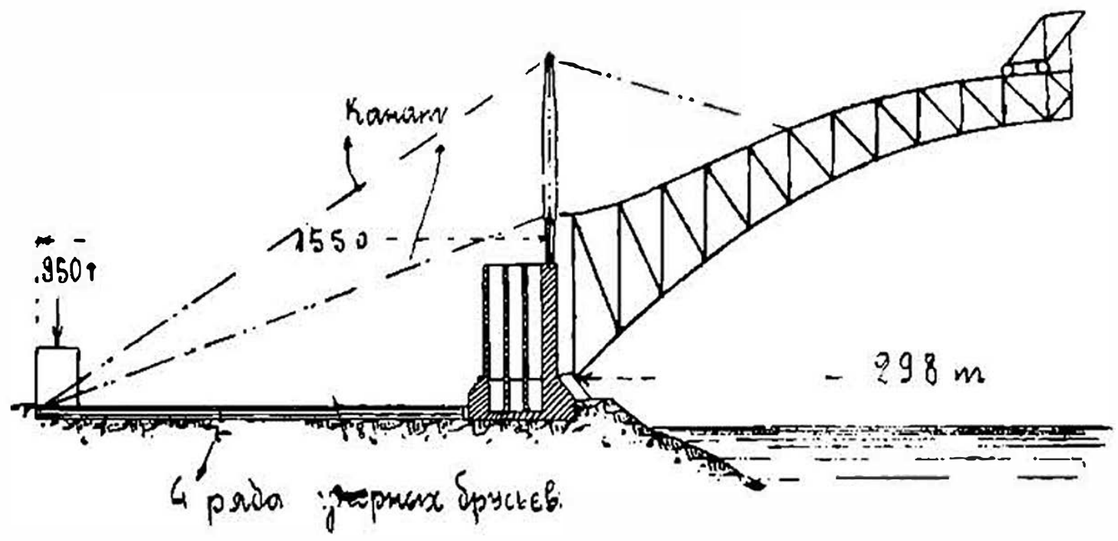


Рис. 405. Проект закрепления арочных ферм для навесной сборки на мосту Гелль-Гэт.

В схеме, показанной на рис. 406, закрепление башни *CA* сделано к горизонтальному стержню *CD*, одним концом скрепленному с башней, на другом конце снабженному противовесом *D*, в виде ящика с песком. С изменением количества песка в ящике изменяется положение башни вращением всей системы около балансира *C*. Колонны *E* и *E'* служили вспомогательными приспособлениями для постановки тяги *DA*.

В уравновешенных консольных арках опрокидывающее действие свешивающегося конца средней части арки во время сборки уравновешивается загружением баластом или закреплением консольных частей. К виду уравновешенных арок могут быть приведены также части соседних арок путем жесткого соединения их между собой (рис. 407), которое обеспечивается неподвижным упором пят соседних арок и постановкой дополнительных тяг [1]).

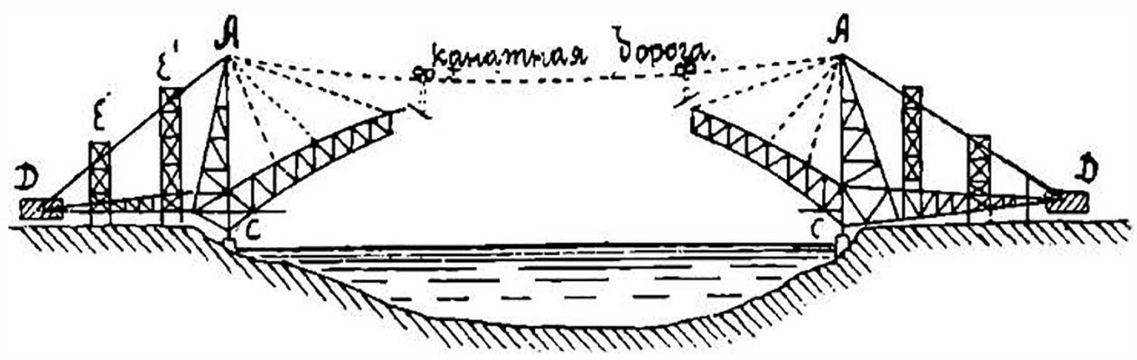


Рис. 406. Закрепления арочных ферм для навесной сборки на мосту через р. Санга-Ма (в Китае).

---

[1]) Предварительно на подмостях была собрана береговая часть арки (рис. 408). Над собранной частью были выдвинуты продольные балки проезжей части, которые послужили основой для сборки средней арки. Для удержания в равновесии части арки, лежащей выше про-

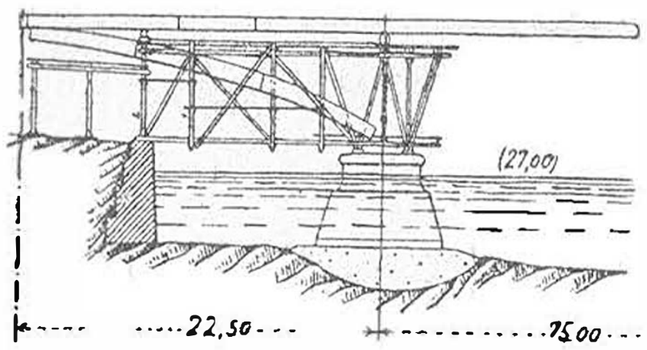
НБ УДУНТ (ДІІТ)

§ 45. Тяговые устройства. Из приведенных описаний установок для навесной сборки можно видеть, что существенным в них является устройство закрепительных тяг и приспособление их для изменения положения собираемого пролетного строения.

Рис. 407. Закрепление арочного пролетного строения для навесной сборки на мосту через р. Сену.

Расчет усилий в самих тягах зависит от общей схемы установки. Если установка выполняется по схеме *a* рис. 409, то она статически определима, и усилие в тяге определяется из условия равновесия внешних сил:

$$Sh\sin\alpha + Pa + b\,\Sigma p = 0, \qquad (110)$$



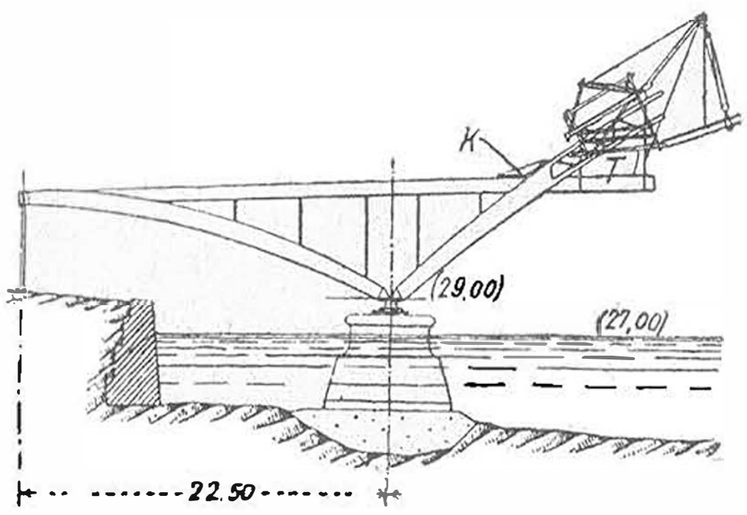


Рис. 408.

где P — нагрузка на установку от сборочных кранов, Σp — равнодействующая от собственного веса, a и b — соответственно плечи этих нагрузок относительно опорного шарнира, S — усилие в тяге и $h\sin\alpha$ — плечо усилия в тяге относительно опорного шарнира.

Если установка выполняется по схеме *b* рис. 409, то она статически неопределима, и усилие S в тяге определяется, как усилие лишнего стержня в системе по общеизвестному выражению [1]):

$$S = \frac{\sum \frac{N\,N\lambda}{\omega} + [\,\alpha t \Sigma\, \overline{N}\,\lambda + \alpha t_0 \lambda_0\,]E}{\sum \frac{\overline{N}^2\lambda}{\omega} + \frac{\lambda_0 E}{\omega_0 E_0}}, \qquad (111)$$

в которой N — усилия в стержнях системы от загружения ее, как статически определимой системы, т. е. фермы, из которой выключена тяга S, $\overline{N}$ — усилия в стержнях той же системы от сил равных 1, приложенных по направлению устраненной тяги, λ и ω — длины и поперечные сечения отдельных стержней ферм; λ_0 и ω_0 — длина и поперечные сечения тяги,

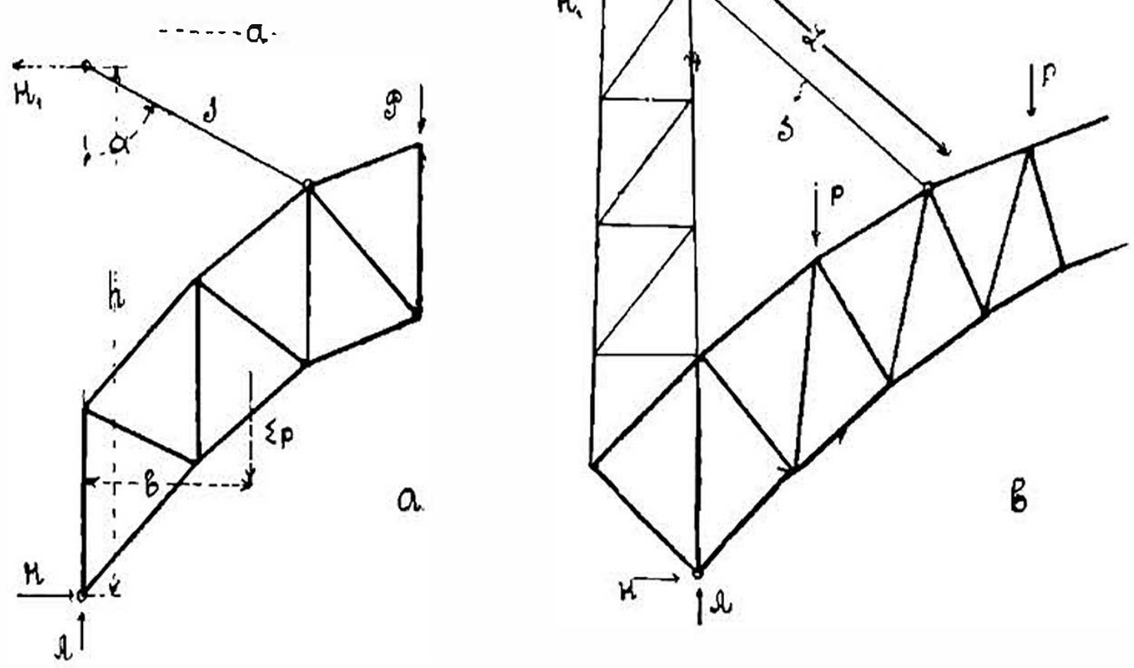


Рис. 409.

дольных балок, было сделано временное жесткое соединение k проезжей части с фермами арки (рис. 409), которое после постановки тяги (рис. 407) было удалено, и навесная сборка продолжалась обычным путем.

[1]) С. Тимошенко, Статистика сооружений, ч. II, изд. 1926, § 49. То же — Л. Проскуряков, Строительная механика, ч. II, изд. 1926 г., § 104.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

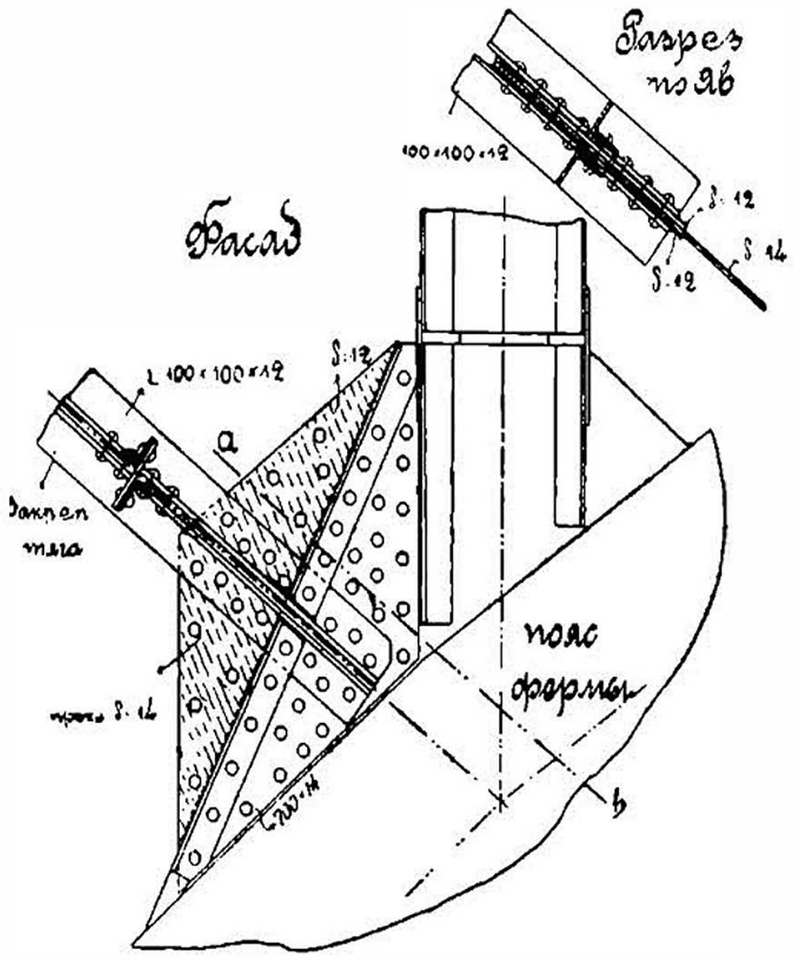


Рис. 410.

t и t_0 — соответственно нагрев стержней статически определимой фермы и стержня тяги, α — коэфициент линейного расширения материала, E и E_0 — коэфициенты продольной упругости материалов пролетного строения и тяги.

Число закрепительных тяг назначается соответственно числу ферм в пролетном строении — обычно две; но так как, при производстве работы и выправлении положения пролетного строения, всегда возможна перегрузка одной тяги за счет другой, то рекомендуется рассчитывать каждую из тяг с запасом прочности.

Закрепительные тяги проектируются из канатов, листового и фасонного железа; в зависимости от сечения их изменяется характер соединения их с собираемыми конструкциями и неподвижной точкой закрепления.

Тяги из листового и фасонного железа ставятся как в плоскости ферм, так и с боков их. На рис. 410 показано соединение тяги из углового железа с фасонной

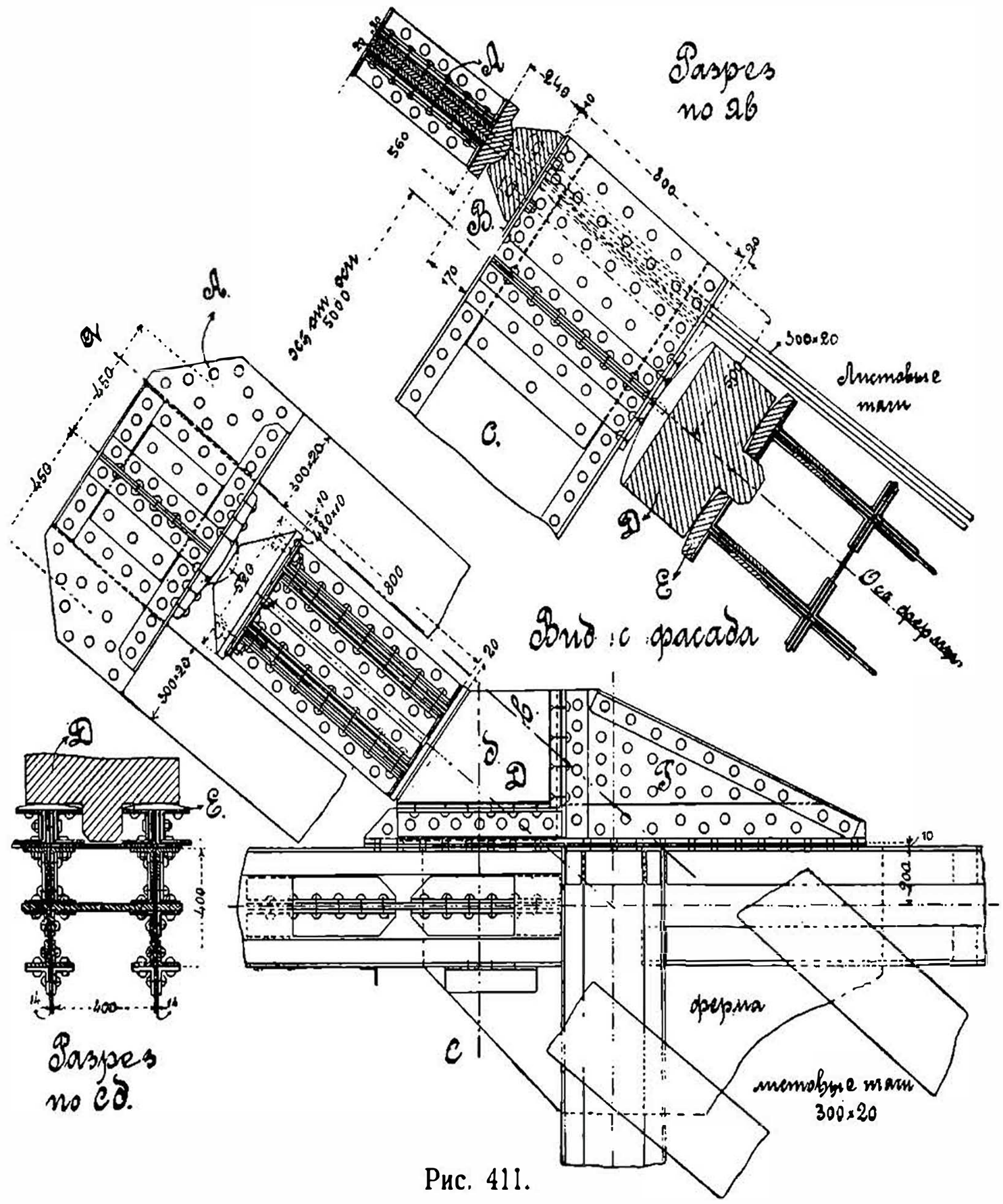


Рис. 411.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

планкой фермы. Планка охвачена двумя листовыми уширенными накладками, к которым приклепаны восемью заклепками уголки тяги.

Если тяги расположены вне плоскости ферм, то соединительным звеном между ним и пролетным строением служат вспомогательные балки, которые закладываются поперек конструкции и упираются в нее при помощи балансирных или цилиндрических подушек.

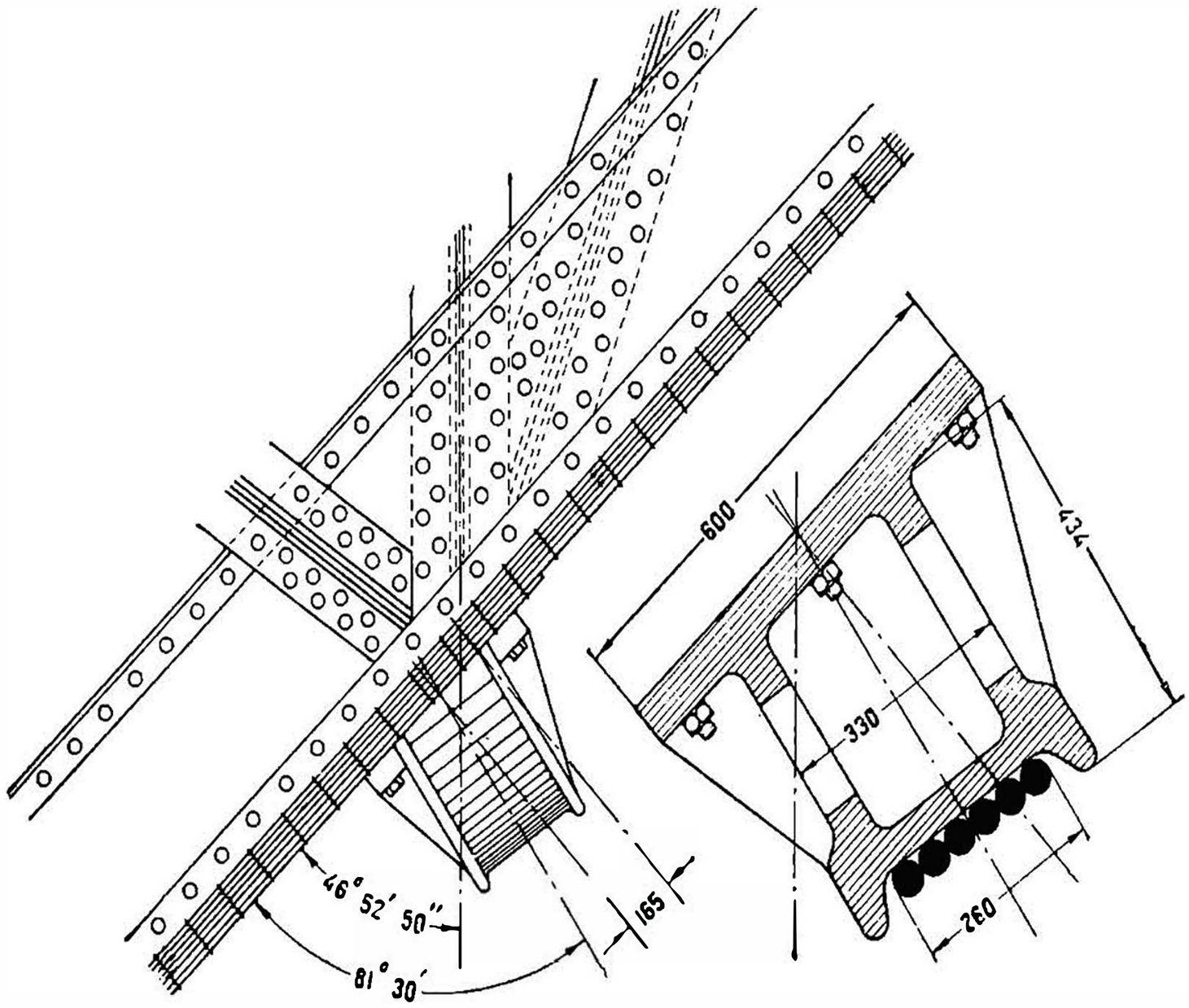


Рис. 412.

На рис. 411 показано соединение тяг из листового железа, расположенных вне плоскости ферм, с пролетным строением, к которому закреплены собираемые фермы. Тяги пропущены с боку пролетного строения; в верхнем конце они соединены жесткой балкой A, поддерживаемой подушками B со сферическим балансиром, чем обеспечивается свобода в изменении положения тяг. Подушки B в свою очередь помещены на балку C, проходящую поперек всего пролетного строения и упирающуюся в верхние пояса последнего помощью цилиндрических подушек D, E и консолей F.

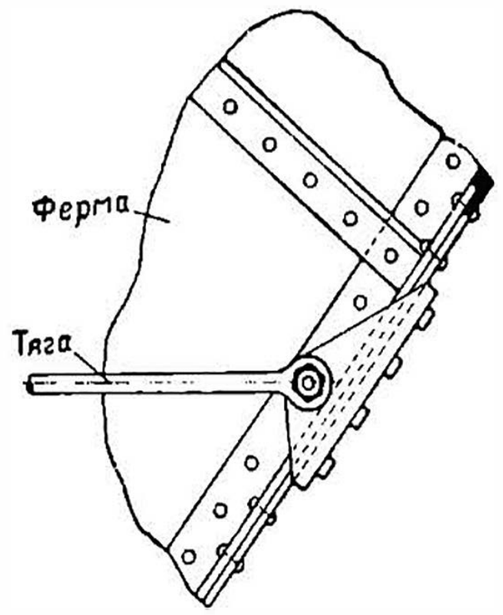


Рис. 413.

Канатные тяги всегда помещаются вне плоскости ферм и соединяются с ними или помощью подушек (рис. 412 и 414), или помощью поперечных балок, как это делается в тягах фасонного железа.

В первом случае канаты охватывают собой подушки, прикрепляемые непосредственно к поясам ферм так, чтобы усилие тяги прижимало подушки к поясам (рис. 412). Соединение тяг из круглого железа с подушками делается помощью кольцевых проушин, в которые пропускается болт, связывающий тягу с подушкой (рис. 413).

При замене подушек поперечными балками тяги пропускаются с боков ферм между двух поперечных балок a (рис. 414); конец каната заливается в подушку b [1]),

[1]) Концы канатов закрепляются в конических отверстиях подушек, диаметр которых вдвое более диаметра каната (рис. 414). Концы проволок каната раздвигаются, и между ними загоняются стержни в виде гвоздей, сначала длинные, потом короткие, пока не заполнится все отверстие, после чего концы проволок зачеканиваются и заливаются свинцом.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

которая нижней цилиндрической подошвой помещается на поперечные балки *а*, упирающиеся при посредстве цилиндрических подушек в пояса ферм.

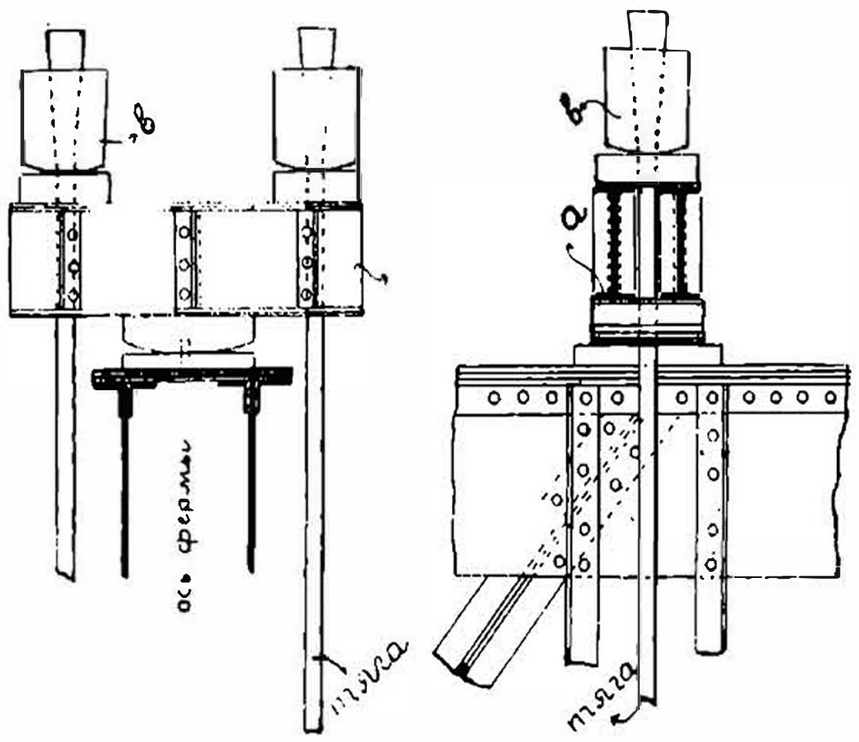


Рис. 414.

Задние концы тяг укрепляются или к соседним конструкциям, или в специальные фундаменты. Укрепление тяг к соседним пролетным строениям ничем не отличается от соединения тяг с собираемыми конструкциями.

При закреплении тяг к каменной кладке устоев тяги пропускаются через кладку устоев (рис. 415). С задней стороны устоев помещаются двутавровые балки, служащие для упора подушек тяг и для распределения давления от них по кладке. Между балками и кладкой прокладываются свинцовые листы или делается подливка из портландского цемента раствором 1 : 1.

Если тяги приходится закреплять в земле, то это следует делать при помощи бетонных массивов, которые закладываются на некоторую глубину в землю (рис. 416). В бетонный массив вставляются трубы для пропуска канатов, которые своими концами закрепляются в подушки с нижней цилиндрической поверхностью. Для упора подушек в кладку массива заделываются или двутавровые распределительные балки, или камни твердых пород. Площадь массива, передающая давление тяг на землю, определяется по величине усилия тяг; глубина заложения массива в грунт определяется по величине сопротивления грунта сдвигу усилиями тяг.

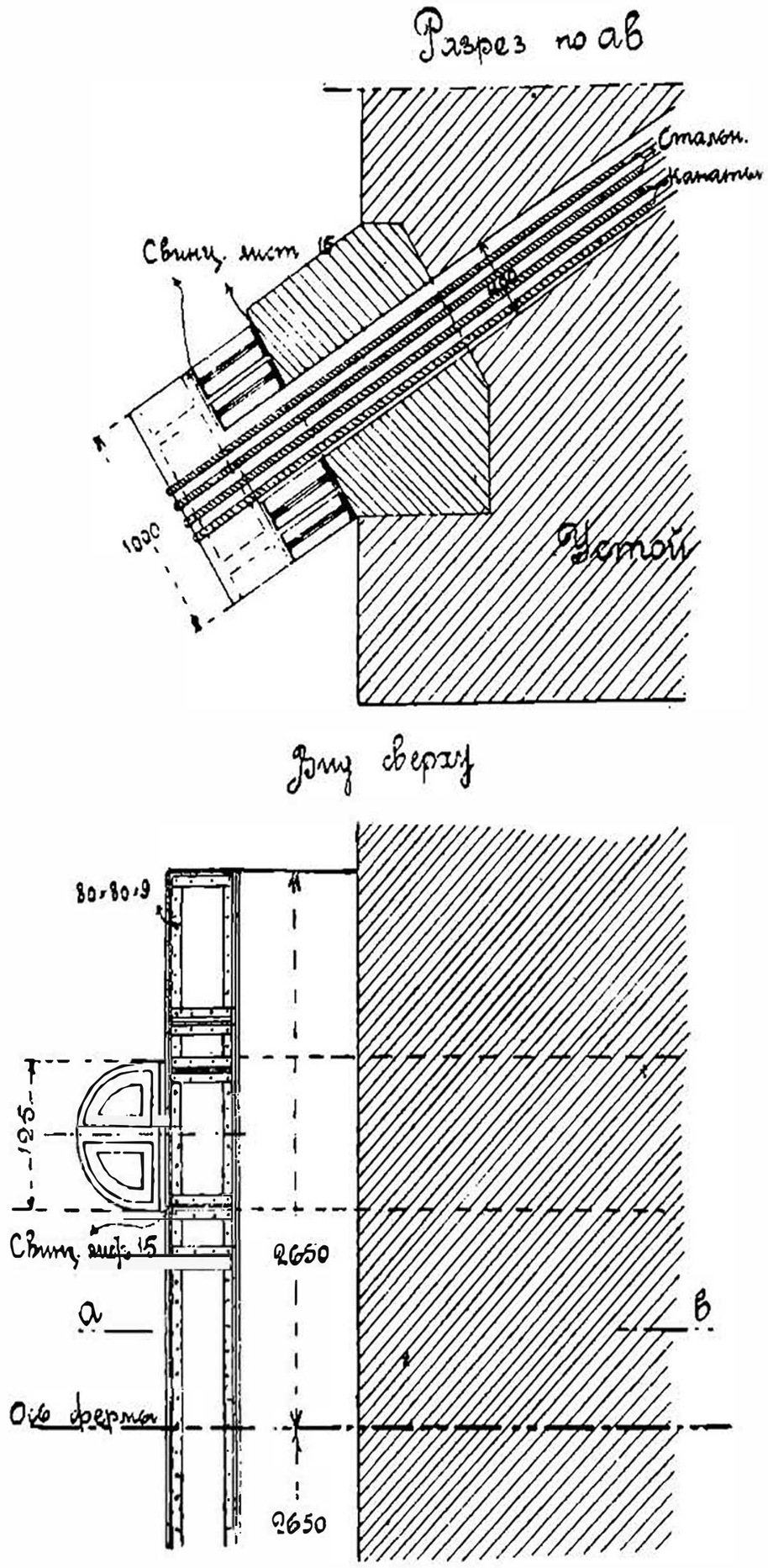


Рис. 415. Гарабитский виадук.

Регулирующие устройства в закреплениях. Кроме назначения служить для поддержания собираемого пролетного строения во время навесной сборки, тяги служат для регулирования положения пролетного строения, которое изменяется под влиянием вертикальной нагрузки и температуры.

Под действием постоянно возрастающей нагрузки обе половины собираемой конструкции прогибаются, тяги деформируются, но не равномерно в обеих половинах, вследствие чего, при сведении обеих по-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ловин пролетного строения, в середине его прогибы тяг неодинаковы и оси их не совпадают. Под влиянием изменения температуры обе половины собираемой конструкции изменяют свою длину, и так как концы их закреплены неподвижно, то изменение длины происходит в сторону смычки, что характеризуется в момент смычки обеих половин образованием зазора или набеганием одной половины на другую. Как несовпадение осей, так и несходимость концов обеих половин исправляется изменением длины тяг. В случае несовпадения осей изменяется длина верхних тяг: одна укорачивается, другая удлиняется, и пролетное строение путем вращения около неподвижных точек упора изменяет свое положение в горизонтальной плоскости, пока оси обеих половин его не совпадут.

Несходимость концов обеих половин в арочных фермах устраняется также вращением обеих половин у неподвижной упорной точки, причем тяги каждой из половин пролетного строения или удлиняются, или укорачиваются. В балочных мостах несходимость устраняется одновременным изменением длины упорного стержня и тяги, вследствие чего вся половина пролетного строения получает долевое смещение.

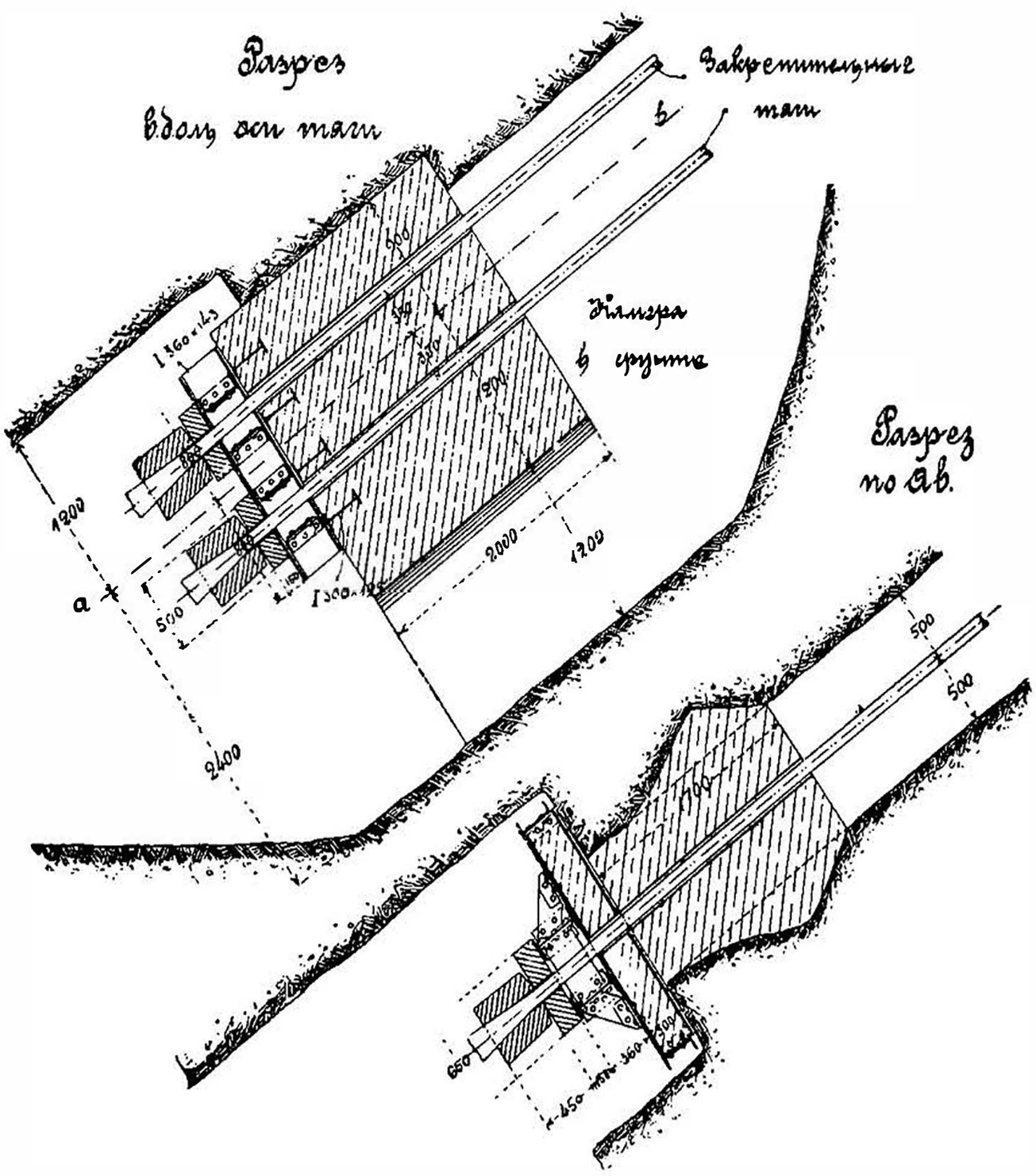


Рис. 416. Мост через р. Вуппер.

В качестве приспособления, служащего для изменения длины тяги, употребляются: стяжные муфты, клинья, винты и домкраты.

Иногда при навесной сборке междуконсольных пролетных строений упор нижнего пояса промежуточных ферм в консольные за недостатком места делается посредством двух подушек (на рис. 417—подушки A и B), между которыми загоняются простые клинья. Изменение положения свешивающегося конца загонкой клиньев представляет большие затруднения; поэтому целесообразнее такие соединения снабжать дополнительными приспособлениями в виде распорных винтов (рис. 418 — винт d), помощью которых изменяется положение свешивающегося конца, клинья же служат для обеспечения плотного соприкасания упорных подушек.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Такого же вида упорные винты ставятся при навесной сборке простых балочных ферм; упор делается на уровне нижнего пояса или в соседнее пролетное строение, или в устои моста.

На рис. 419 показан тип простого стяжного винта, помещенного в закрепительной тяге арки. Винт помещается между двумя подушками *c*, скользящими в

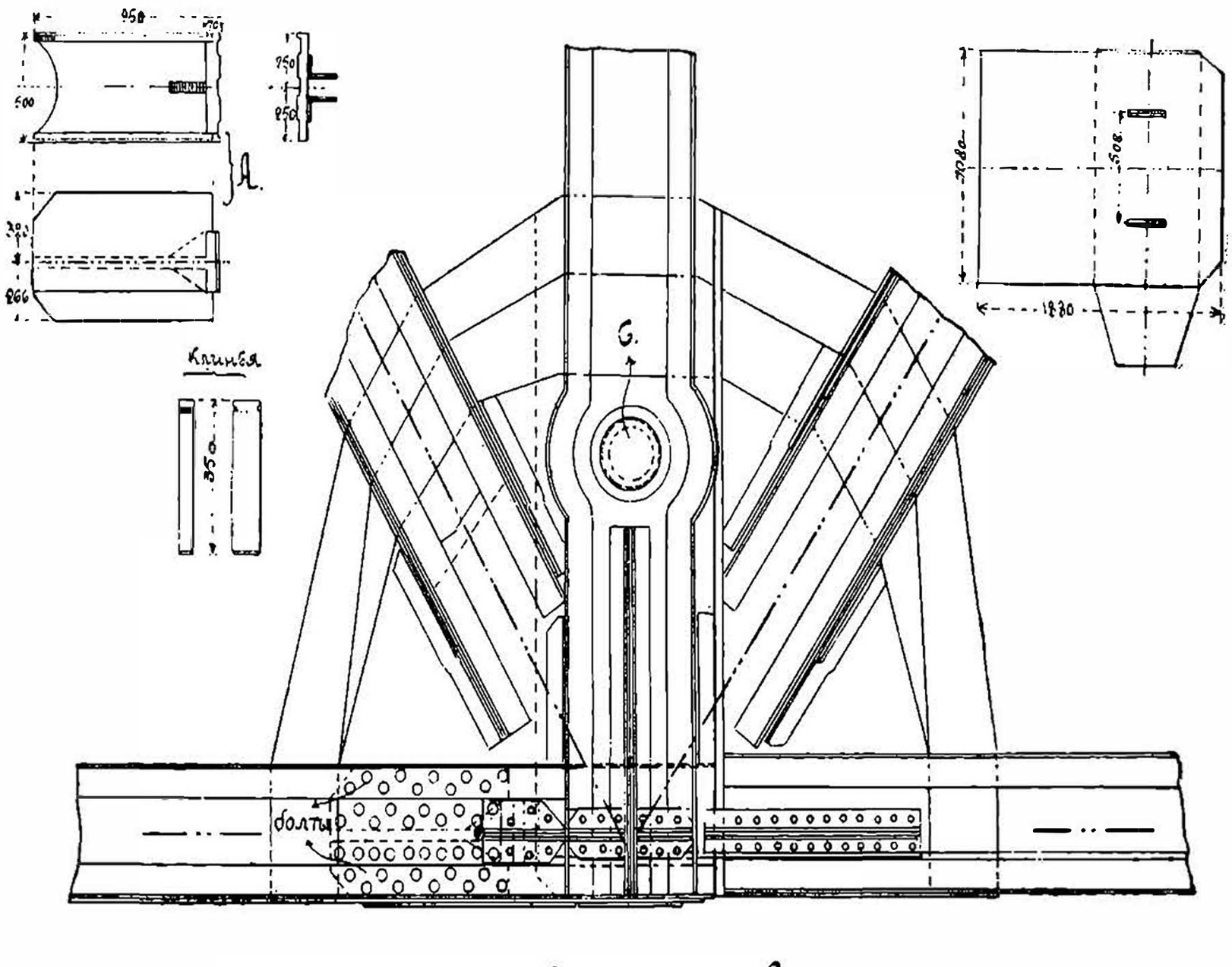


Рис. 417.

салазках. В подушках *c* проходят болты, служащие для укрепления звеньев тяги. Винт приводится в движение рукояткой *h*; при вращении винта подушки *c* сдвигаются или раздвигаются, отчего происходит изменение в длине тяги. Правая часть тяги жесткого сечения во время хода винта скользит по плите *s*.

Более целесообразно винтовое устройство, показанное на рис. 420 и рис. 365.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Действие винта на тягу передается через шарнирный параллелограм, в котором винт помещается по направлению малой диагонали, а тяга направлена по большей диагонали. При такой конструкции удлинения диагоналей почти обратно пропорциональны их длинам, что обеспечивает большую чувствительность в изменениях длины тяги.

На рис. 421 показана конструкция клина, применяемого в тягах, работающих на растяжение. Одна из частей тяги, в данном случае правая, снабжена двумя отверстиями, в одно из которых вставляется ось с двумя колесами, другое имеет овальную форму и служит для пропуска оси, концы которой неподвижно закреплены в другой части тяги, т. е. в левой. Клин проходит между колесиками осей. При опускании или поднятии клин действует распирающим образом на обе оси. Под влиянием этого распора левая ось смещается и увлекает за собой правую часть тяги. Во время смещения тяги правая ось перемещается в овальном отверстии. Стержень клина снабжен винтовой нарезкой и гайкой, которая упирается в специальную подставку; поворачиванием гайки изменяется вертикальное положение клина. При движении клина колеса вращаются на своих осях, благодаря чему скользящее трение клина заменяется катящимся.

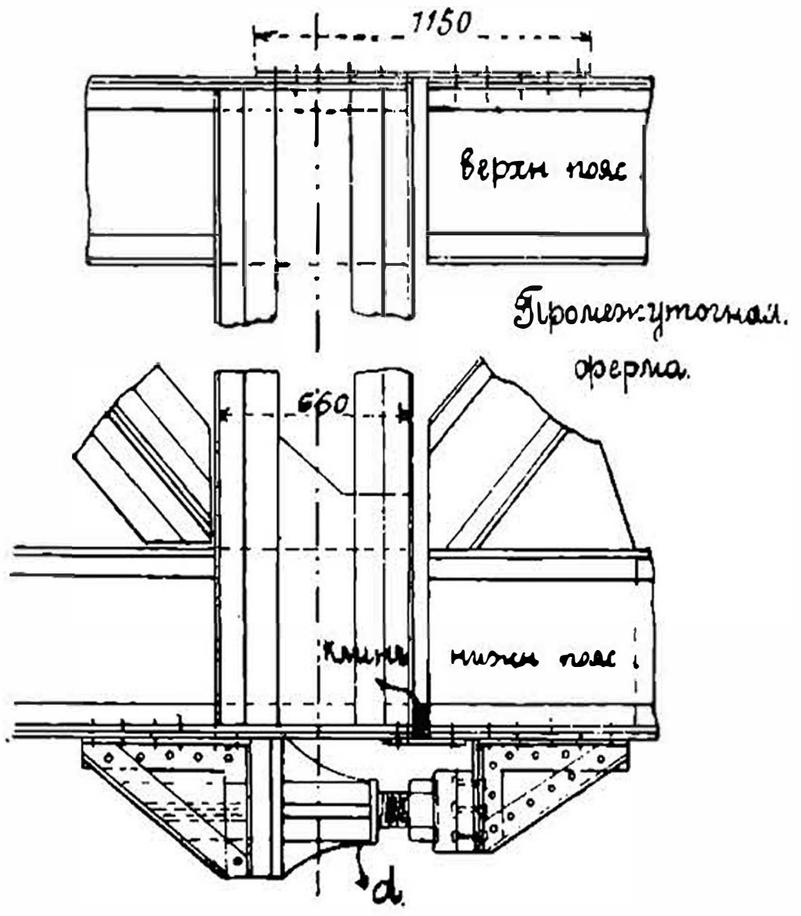


Рис. 418.

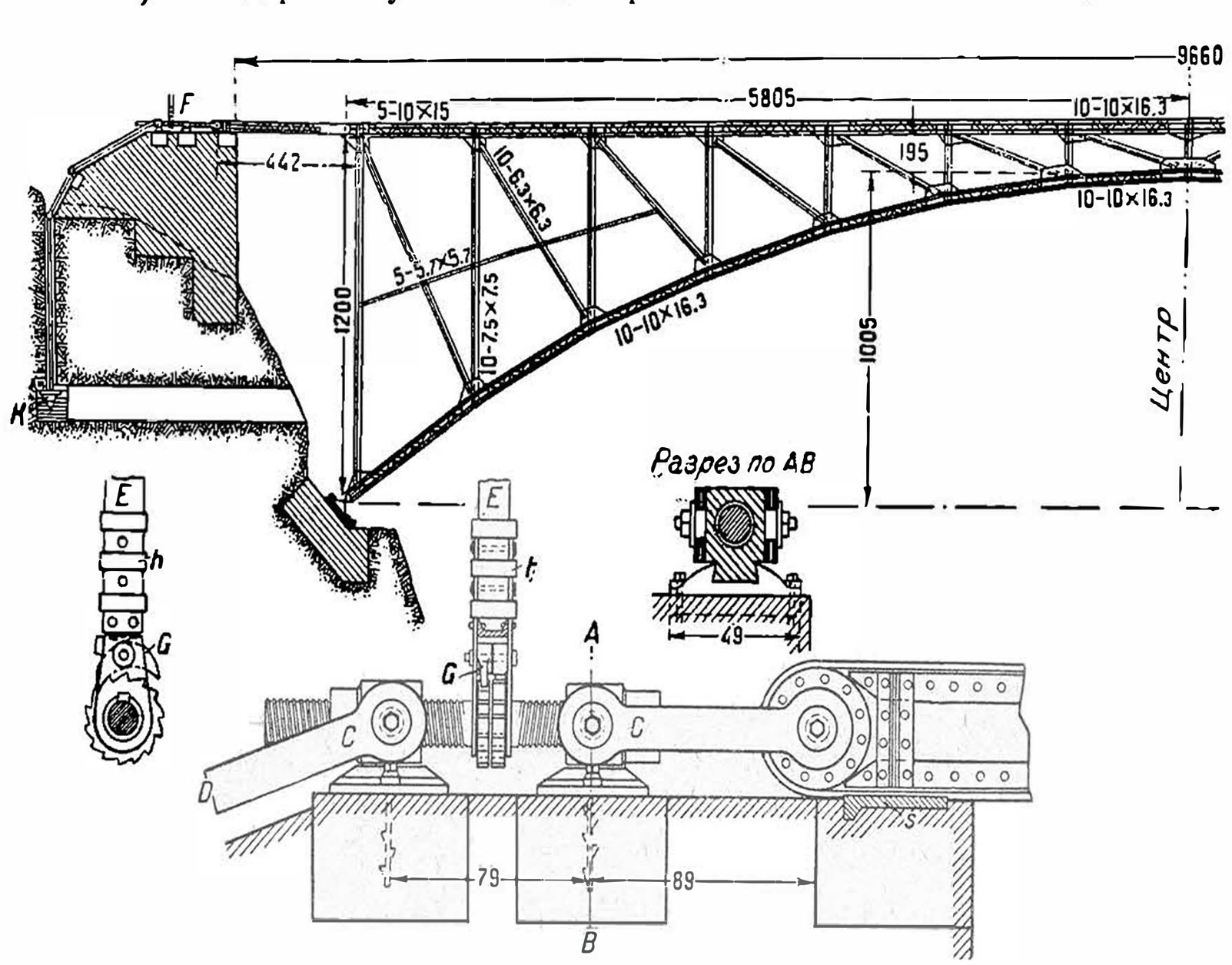


Рис. 419. Мост в Тироле.

В стержнях, работающих на сжатие, клинья помещаются непосредственно между частями стержня (рис. 422) и сжимаются усилием стержня; при поднятии или опускании клина обе части стержня будут смещаться, соответственно чему будет изменяться длина тяги. По своему достоинству конструкция клина второго вида уступает

НБ УДУНТ (ДІІТ)

первому, так как дает большое сопротивление движению винта под действием скользящего трения.

Если ноги подставок для упора гайки винтовой нарезки клина устанавливаются на разных половинах тяг, их снабжают шарнирами (рис. 422 *a* и *b*), обеспечиваю-

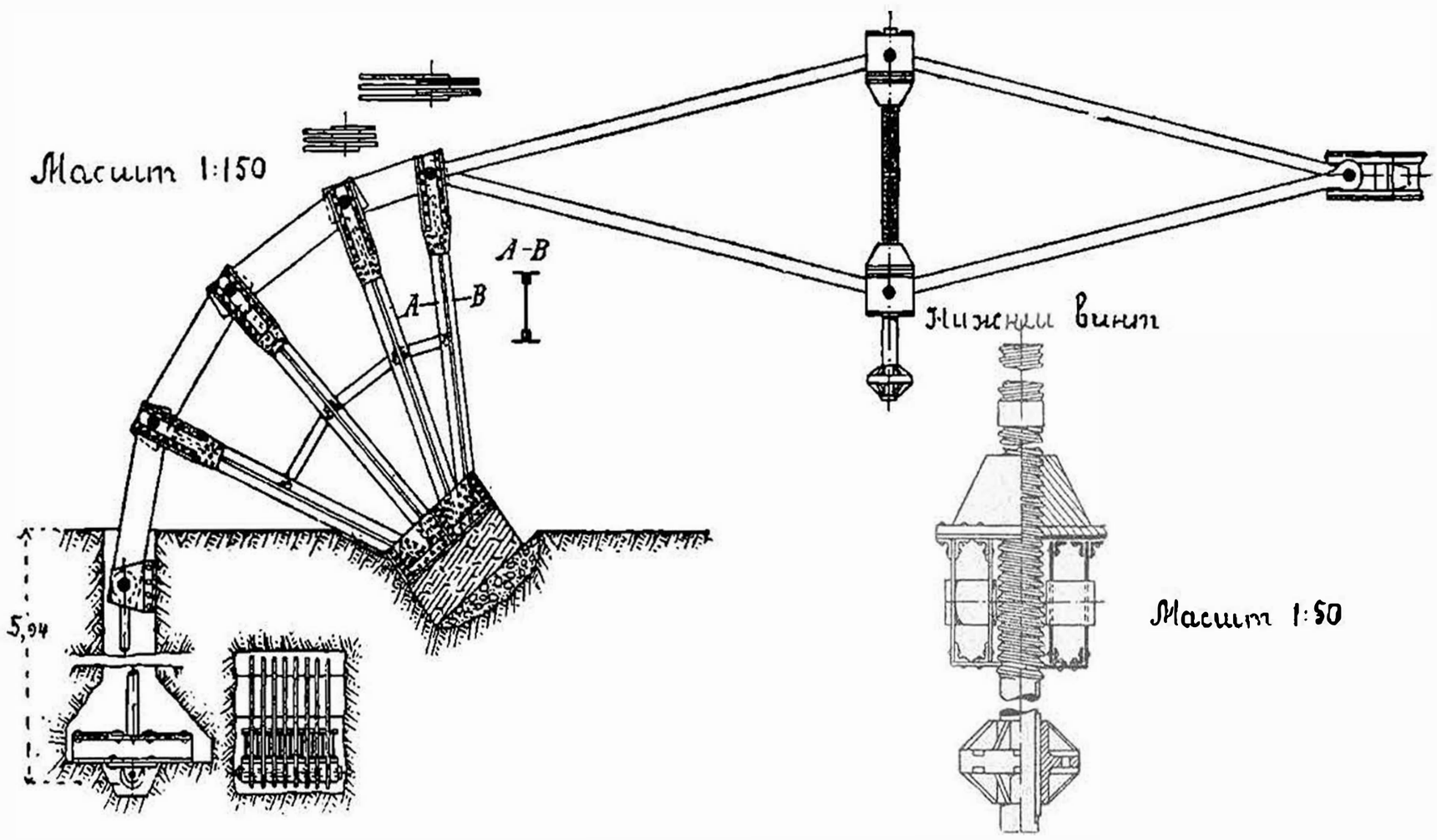


Рис. 420. Арочный мост через Ниагару.

щими изменение положения подставок соответственно изменению длины тяг и погружения клина.

На рис. 423 показано приспособление для изменения длины тяг домкратами. Тяги перерываются в одном из пунктов по своей длине; концы верхней и нижней части тяги пропускаются одни за другие; концы тяг из фасонного железа соединяются между собой жесткими балками *a*; концы канатных тяг — подушками *b*, которые в свою очередь поддерживаются балками *c*. Балки *a* и *c* служат для непосредственного упора домкратов, которые, помещаясь между балками, своим упором в них изменяют степень натяжения тяг. Домкраты обыкновенно помещаются по концам балок, средняя же часть балок служит для помещения прокладок и клиньев на время перестановки домкратов.

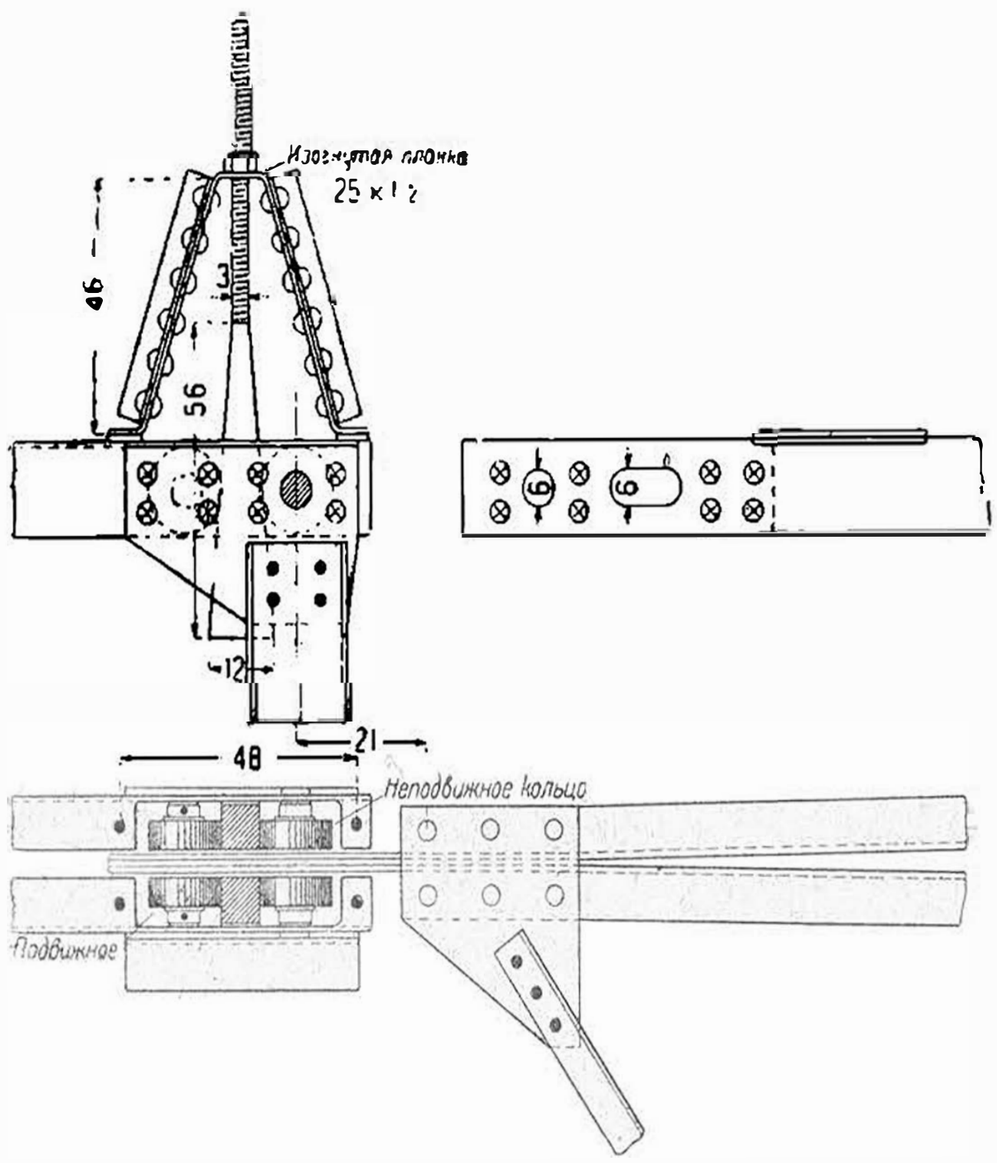


Рис. 421. Мост через р. Рок.

Такого же вида приспособления могут быть сделаны и в концах тяг, с тою разницей, что одна из упорных балок будет заменяться в этих случаях той конструкцией, с которой связывается тяга.

Длина хода винта, поршня пресса и толщина клина в регулирующих приспособлениях выбираются с таким расчетом, чтобы ими обеспечивалось приведение све-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

шивающегося конца пролетного строения из смещенного положения в проектное, о чем см. следующий параграф.

В числе устройств, используемых для регулирования положения собираемых конструкций, можно указать на применение идеи загружения закрепительных тяг.

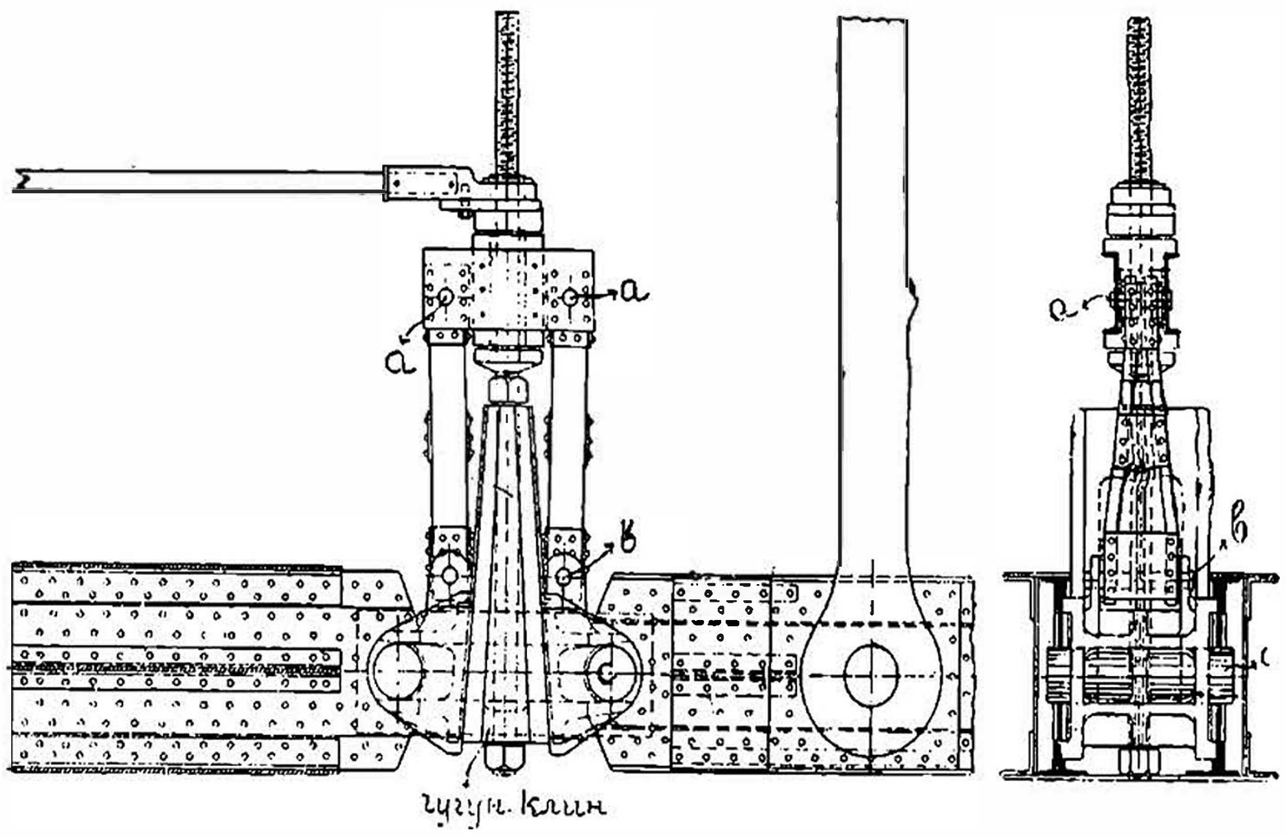


Рис. 422.

На рис. 424 показана схема закрепительного устройства, выполненного на мосту через Вилэн во Франции. Закрепление собираемой арки было сделано при помощи

Рис. 423. Мост через р. Вуппер

основной тяги $MQDRV$ и подходящих к ней дополнительных тяг $VH — VA$. Стойка V—качающаяся, имеет шарниры по концам и шарнирно соединена с основной тягой; в точке R перехода через мостовую опору тяга имеет подвижную качающуюся опорную

НБ УДУНТ (ДІІТ)

подушку; в точке Q тяга шарнирно соединена с частью MQ, заделанной в кладку. В точке D к тяге была подвешена платформа с грузом 50 m, что вызывало прогиб тяги в положение $QD'R$; изменяя положение платформы, можно было изменить очертание ломаного контура и этим вызвать смещение подушки R, а вместе с ней положения пролетного строения.

Такая же идея загружения использована в закрепительном устройстве, показанном на рис. 406.

§ 46. Смычка пролетных строений при навесной сборке. Прогиб собираемых навесу пролетных строений — явление неизбежное; он образуется под влиянием деформации собираемых ферм и закрепительных тяг. Как величина деформации ферм, так и величина удлинения тяги могут быть учтены заранее, если известны нагрузка, расположение ее по конструкции, длины и поперечные сечения отдельных стержней. Зная же величину ожидаемого прогиба, можно заранее, путем соответствующего изменения длины закрепительных тяг, дать фермам пролетного строения такое положение, чтобы они, деформировавшись, заняли проектное положение, и, таким образом избежать излишних сложных выправлений пролетного строения к концу сборки.

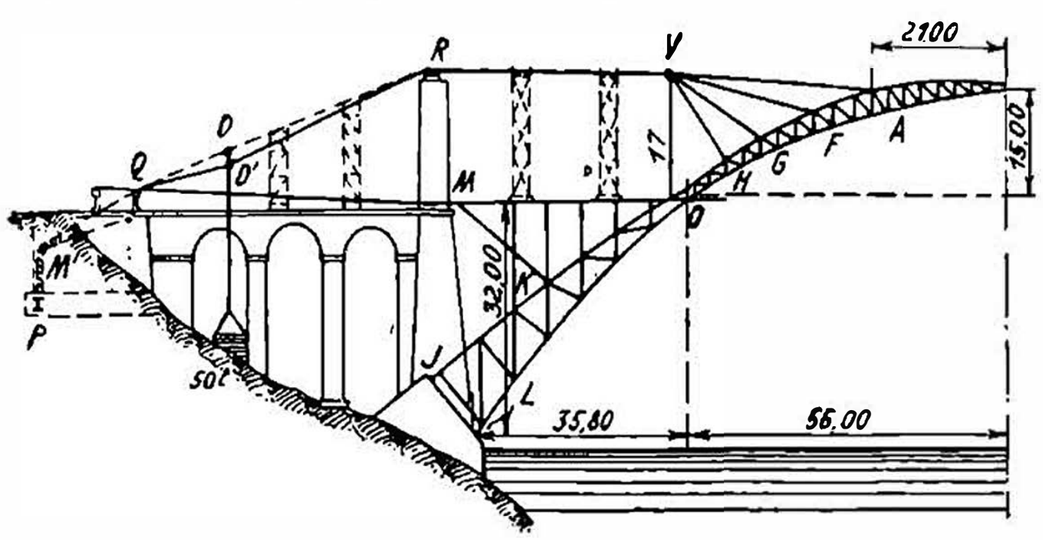


Рис. 424. Арочный мост через Виллэн во Франции.

Если предположить, что собранная часть, прогнувшись на величину $aa_1 = f$, заняла положение $oa_1b_1c_1$ (рис. 425), то возвращение ее в проектное положение $oabc$ может быть сделано путем вращения всей части как жесткого тела около неизменной точки o, для чего следует изменить длину тяги cd на величину $\Delta s_1 = cc_1 \cos\alpha$. Величина смещения точки a определится из условия;

$$\frac{CC_1}{CO} = \frac{aa_1}{oa}, \text{ или } \frac{CC_1 \cos\alpha}{h} = \frac{f \cdot 2}{L},$$

а следовательно,

$$\Delta S_1 = f \cdot \frac{2 \cdot h}{L} \qquad (112)$$

Точно так же, если бы рассматриваемая часть пролетного строения под влиянием удлинения тяги на величину — ΔS_2 заняла положение $oa_1b_1c_1$, то возвращение ее в проектное положение $oabc$ могло бы быть сделано путем вращения около точки o, при соответствующем укорочении тяги на длину — ΔS_2.

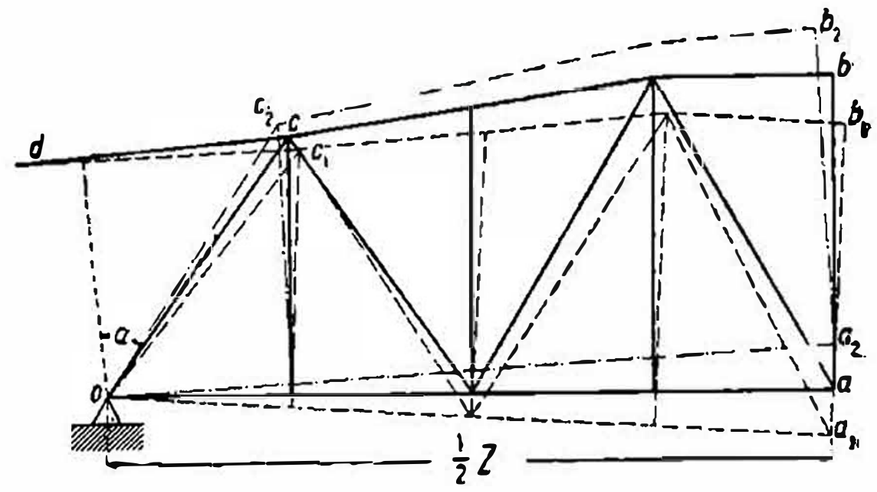


Рис. 425.

Определяя заранее величины ΔS_1 и ΔS_2, можно в начале сборки привести стержень oc фермы в такое положение oc_2, чтобы вся часть фермы, занимая до начала сборки положение $oa_2b_2c_2$ и деформируясь по мере хода сборки, сместилась бы в проектное положение $oabc$.

Действительная величина расчетного смещения не совпадает точно с действительным [1]), результатом чего является неизбежное несовпадение осей обеих половин

---

[1]) При сборке ферм пролетного строения моста через р. Вуппер каждой половине арки было дано отклонение в сторону берега с таким расчетом, что, если бы они остались в таком

НБ УДУНТ (ДІІТ)

пролетного строения, когда сборка ведется с двух сторон. Кроме того нельзя заранее предопределить температуру во время смычки, а следовательно, нельзя учесть величину смещения концов обеих половин пролетного строения под влиянием изменения температуры. Эти обстоятельства заставляют снабжать тяги описанными в предыдущем параграфе приспособлениями, дающими возможность регулировать длину их. Смещение концов пролетного строения происходит в пространстве, почему регулирующие приспособления в тягах размещаются так, чтобы было возможно смещение пролетного строения в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (вертикальной и горизонтальной).

При тщательном производстве сборки и выверке положения собираемых пролетных строений относительно оси моста нельзя ожидать большой расходимости осей в горизонтальной плоскости. Она не превосходит нескольких миллиметров и, независимо от конструкции главных ферм пролетного строения, легко выправляется укорочением одной и удлинением другой тяги.

Несовпадение концов обеих половин пролетного строения в вертикальной плоскости зависит от деформации главных ферм, следовательно, от характера их конструкции, в зависимости от чего изменяется общее расположение тяг и регулирующих приспособлений в них.

В балочных фермах несовпадение осей обеих половин в вертикальной плоскости уничтожается вращением их около неподвижной точки опорного балансира, для чего соответственно изменяется длина верхней тяги; той же цели можно достигнуть, сохраняя длину верхней тяги, но давая горизонтальное смещение опорной подушке.

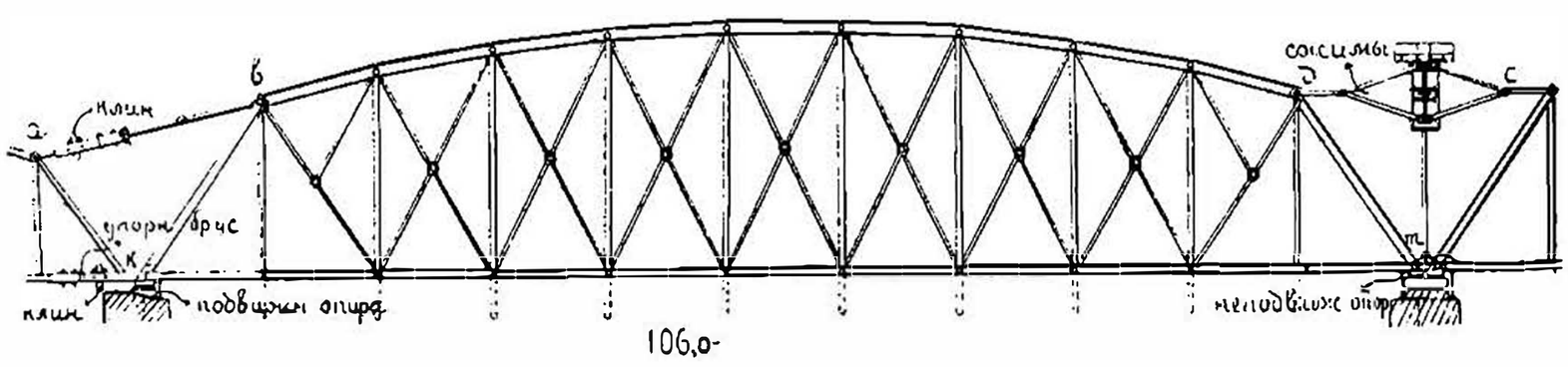


Рис. 426. Мост через р. Огейо в Паркерсберге.

Несходимость концов обеих половин, образующаяся под влиянием изменения температуры, уничтожается линейным смещением той из собираемых половин, где помещается подвижная опора, для чего изменяется длина верхней закрепительной тяги и нижнего упорного стержня. Таким образом производство смычки балочных ферм в вертикальной плоскости должно быть обеспечено двумя вращательными и одним поступательным движением. При замене двойного вращательного движения обеих половин одиночным вращением одной половины, хотя и может быть достигнуто сведение обеих половин, но при сборке неправильное положение может занять как раз наглухо закрепленная половина, благодаря чему при смычке все пролетное строение займет неправильное положение.

Указанные вращательные движения обеих половин и поступательное одной половины обеспечивается помещением приспособлений, регулирующих длину в обеих закрепительных тягах $a—b$, $c—d$ и в упорном стержне $—k$ со стороны подвижной опоры моста (рис. 426). Если свешивающиеся концы собираемого пролетного строения уравновешены соседними пролетными строениями, то закрепительные тяги могут быть сделаны глухими, и изменение длины их обеспечивается соответственным

положении, в ключе образовалось бы отверстие в 358 *мм*. Под влиянием деформации обеих консолей это пространство должно было уменьшиться на 233 *мм*, так что отверстие в ключе, согласно расчету, должно было остаться в 358—233=125 *мм*. В действительности величина отверстия, по обмеру, сделанному при сведении обеих половин, была 132,5 *мм*, что показывает на незначительную разницу расчетного смещения от действительного (Die Kaiser Wilhelm-Brücke, 1904, стр. 145).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

изменением положения боковых пролетов относительно горизонта. На рис. 396 показана схема такого укрепления обеих половин балочного пролетного строения. В левом опорном узле помещена глухая упорная тяга, в правом — упорная тяга, длина которой регулируется клиновым приспособлением; верхние тяги — глухие, закреплены к соседним пролетным строениям, под противоположные концы которых подведены домкраты, изменяющие положение их относительно горизонта.

Смычка среднего пролета этого моста была сделана при $+5^{\circ}$, причем концы нижнего пояса обеих половин зашли один за другой на 76 *мм*, верхние пояса имели прозор в 228 *мм*. Для производства смычки требовалось раздвинуть нижние пояса и одновременно свести верхние, что и было сделано путем поднятия домкратом левого бокового пролета и одновременным ослаблением клина в упорной тяге среднего пролета у подвижной правой опоры.

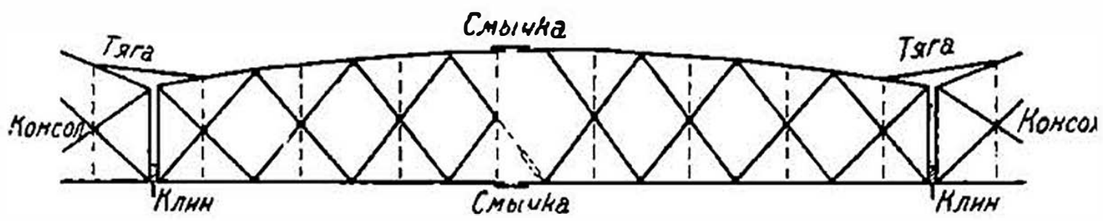


Рис. 427. Подвесное пролетное строение моста через Фортский залив.

Можно отметить случаи, когда несходимость концов обеих половин пролетного строения уничтожалась без изменения длины тяг, а именно путем естественного изменения длины ферм под действием окружающей температуры. Так, при смычке пролетного строения моста через реку Даль в Швеции оказалось, что стыковая часть между обеими половинами имеет длину на 3 *см* меньшую длины прозора; в следующий солнечный день длина обеих половин ферм настолько изменилась, что смычка была сделана той же стыковой частью.

Примером широкого использования изменения длины тяг и ферм пролетного строения под влиянием нагрева может служить сборка междуконсольного пролетного строения Фортского моста.

Закрепление промежуточного пролетного строения этого моста к консолям было сделано постановкой глухих верхних тяг и распором клиньями в нижних опорных

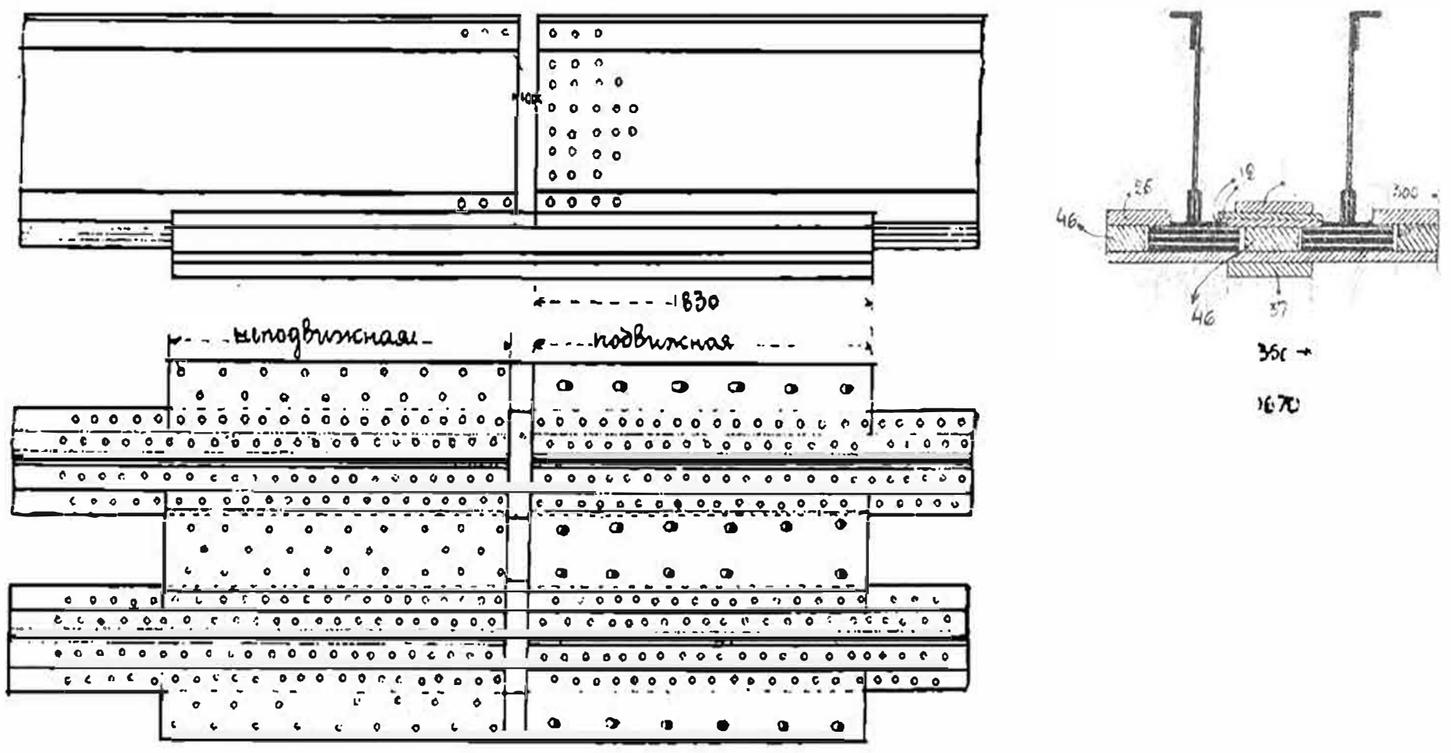


Рис. 428.

узлах (рис. 427). Положение промежуточного пролетного строения между консолями было рассчитано на длину их при 16°; при более низкой температуре между обеими половинами пролетного строения оставался прозор. По окончании сборки обеих половинок прозор в нижнем поясе был перекрыт планками (рис. 428), одним концом наглухо скрепленными с поясом одной из половинок, на другом конце снабженными овальными дырами, благодаря чему сохранялось свободное скольжение их вдоль пояса другой половины. Таким соединением поясов обеих половин обеспечивалось совпадение осей их и облегчалась смычка поясов при удлинении их под влиянием

НБ УДУНТ (ДІІТ)

нагрева. Смычка поясов была сделана при 13° Вследствие бокового положения солнца сборочные болты могли быть вложены только в стыках пояса, расположенного с солнечной стороны. Для сведения стыка пояса теневой стороны, последний был нагрет искусственным путем, для чего внутрь сечения его на протяжении 18,3 *м* с той и другой стороны от места смычки были заложены и зажжены разные горючие материалы, пропитанные нефтью. По окончании смычки нижнего пояса междуконсольное пролетное строение с разъединенным верхним поясом представляло своим нижним поясом как бы жесткую веревку, верхними тягами прикрепленную к консолям. Понятно, что при этих условиях укорочение консолей моста и длины нижнего пояса под влиянием падения температуры вызывало: отклонение обеих половинок со стороны консолей, изгиб нижнего пояса кверху и увеличение прозора в верхнем поясе. Для того чтобы во время таких движений концы верхнего пояса обеих половинок сохраняли совпадение своих осей, они были соединены между собой внутренним, временным стержнем наподобие салазок, наглухо скрепленным с одной половиной пролетного строения и скользящим по другой. Перекрытие стыка верхнего пояса было сделано при наименьшей температуре, т. е. при наибольшей величине прозора. Первоначально перекрытие было сделано только горизонтальными листами, которые с обеих сторон были временно усилены тавровым железом. Одновременно с этим были пригнаны и поставлены недостающие стержни в решетке ферм. Последующее увеличение температуры, благодаря увеличению длины консолей и пролетного строения, вызвало ослабление закрепительных верхних тяг, что дало возможность разболтить их, и таким образом закончить приведение обеих половинок к виду балочного пролетного строения.

При навесной сборке арочных пролетных строений несходимость обеих частей устраняется путем вращения их вокруг неподвижных пятовых шарниров, независимо от того, вызвано ли это деформацией всей системы установки под влиянием нагрузки, или влиянием изменения температуры. Это вращение осуществляется путем изменения длины закрепительных тяг.

Проведение самой смычки в трехшарнирных арочных системах, в которых обе части арки представляют собой одно целое, решается постановкой ключевого шарнира, что не представляет собой затруднений. Более сложной задачей является производство смычки в арках двухшарнирных и бесшарнирных, как системах статически неопределимых.

Производство смычки в системах, статически неопределимых. Условия смычки в системах, статически неопределимых, значительно сложнее, так как введение всех дополнительных стержней должно производиться при осуществлении в них того напряжения, которое они должны иметь в момент смычки под влиянием нагрузки и температуры, действующей на систему в момент производства смычки.

Величина усилия, которое должно быть введено в устанавливаемый стержень, определяется расчетом по общеизвестной формуле [1]):

$$S = \frac{\sum \frac{\overline{N}N}{\omega}\lambda \mp (\alpha t \sum \overline{N}\lambda \mp \alpha t_0 \lambda_0) E}{\sum \frac{\overline{N}^2 \lambda}{\omega} + \frac{\lambda_0}{\omega_0}},$$

в которой N — продольные усилия в статически определимой системе, в которую делается включение стержня, $\overline{N}$ — продольные усилия в той же системе от силы равной 1, направленной по оси вводимого стержня, t — температура нагрева стержней той же системы; t_0 — температура нагрева вводимого стержня, λ и ω — соответственно длины и площади сечения всех стержней системы, λ_0 и ω_0 — длина и площадь сечения

[1]) Сноска на стр. 323.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

вводимого стержня, α — коэфициент линейного расширения материала от температуры, E модуль продольной упругости материала.

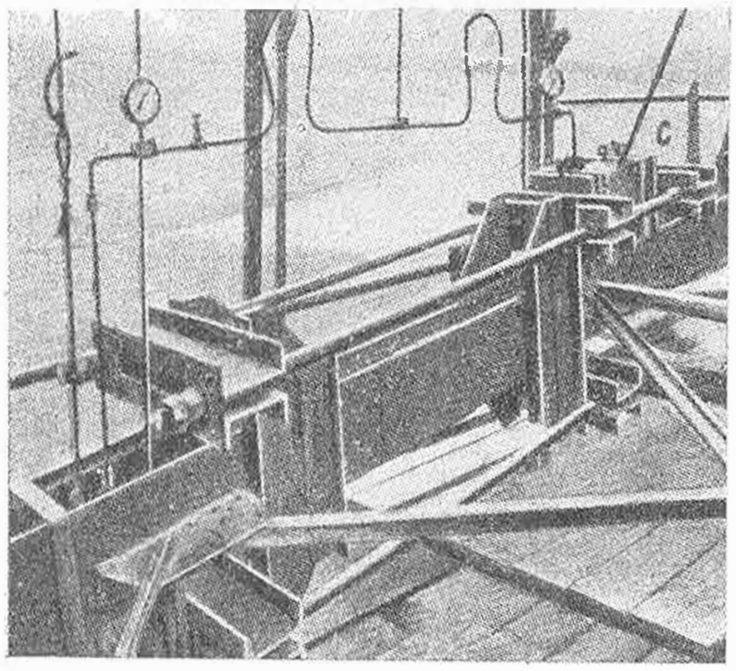


Рис. 429.

Осуществление этого натяжения достигается введением в систему винтовых устройств, домкратов и тому подобных приспособлений, которые, в зависимости от знака усилия смыкаемого стержня, вводятся в систему в виде распорок или стяжек. Так как назначение последних — заменить собой работу смыкаемого или вводимого стержня, то они должны быть сконструированы так, чтобы ими не стеснялось производство работы по смычке, и, вместе с тем, чтобы усилие, производимое ими, было направлено по оси смыкаемого стержня.

На рис. 429 показан общий вид установки для производства смычки нижнего пояса в статически неопределимой ферме, работающего на растяжение. Из рисунка видно, что место стыкового соединения, в котором должно быть сделано смыкание, охвачено по бокам жесткими диафрагмами с концами, выпущенными за пределы пояса. Эти концы охвачены снизу и сверху двумя парами стяжных болтов, в которые включены гидравлические домкраты *C*. Путем нажатия домкратов стык сводится до тех пор, пока в образуемом им стержне не разовьется расчетное усилие.

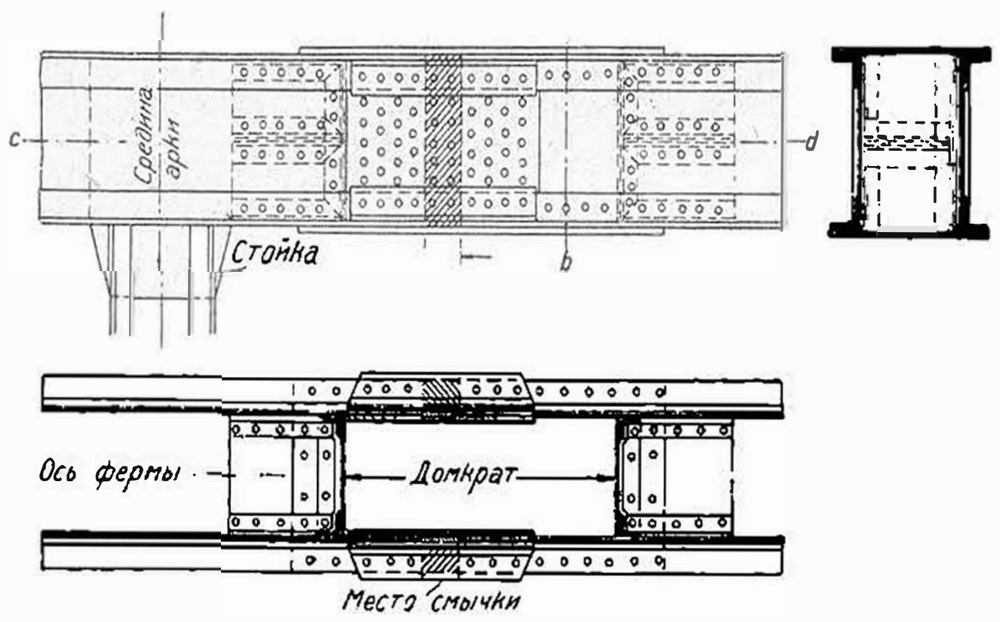


Рис. 430.

На рис. 430 и 431 приведены схемы приспособлений для осуществления распора в стержнях, работающих на сжатие.

В первой из них введение распора достигнуто постановкой гидравлических домкратов, помещенных по оси коробчатого пояса; для упора домкратов в стержне за пределами стыкового образования поставлены дополнительные жесткие диафрагмы.

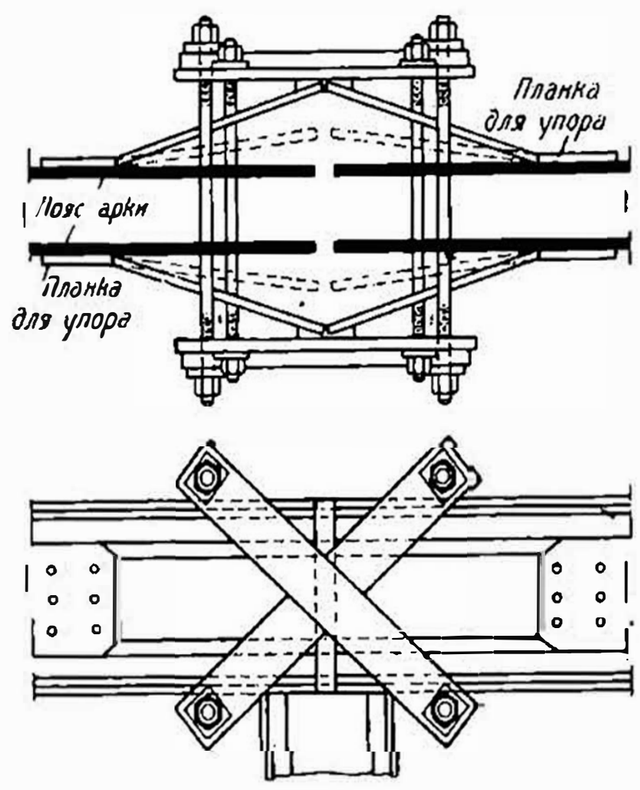


Рис. 431.

Во второй схеме введение распора осуществлено стяжными винтами, сжимающими опорные стержни, установленные по обеим сторонам пролетного строения, и упирающимися нижними концами в дополнительные планки, приклепанные к стенкам поясов за пределами стыкового образования у места смычки.

Производство смычки, т. е. закрытие стыкового соединения, должно производиться только после того, как в смыкаемый стержень будет введено расчетное усилие. Введение этого усилия контролируется путем установки в систему домкратных трубок-манометров (рис. 429), или, что лучше, путем установки тензометров в различных фибрах по длине смыкаемого стержня для измерения в нем напряжений.

Процесс смычки заканчивается образованием стыкового соединения обеих половин. Как бы тщательно ни производилась разметка пролетного строения на заводе,

НБ УДУНТ (ДІІТ)

и как бы тщательно ни велась его сборка на месте, нельзя поручиться, что при введении искусственного натяжения величина прозора в стыковом соединении будет точно соответствовать расчетной ширине его. Практика показывает, что в стыковом соединении всегда образуется щель большей или меньшей ширины, которую приходится заполнять вставками. Для того чтобы эти вставки не были очень узкими, рекомендуется в процессе разметки предусматривать необходимость введения вставки шириной достаточной для постановки одного-двух рядов заклепок (рис. 430). При окончании смычки ширина этих вставок может быть изменена по ширине образовавшегося прозора. В соответствии с этим, как правило, принято не делать окончательной обработки стыковых накладок на заводе, а пригонять их только к одной половине стыка, пригонку же их к другой половине стыка делать на месте смыкания.

Вся работа по образованию стыкового соединения на месте должна выполняться возможно быстро, так как под влиянием изменения температуры во время работы величина прозора может изменяться. Рекомендуется выбирать время для производства стыкового образования, когда нельзя ожидать больших колебаний температуры: утренние часы и пасмурные дни.

Место смычки статически неопределимых систем выбирается по условиям конструкции и по удобству выполнения работ. Вся работа по сборке и окончание ее, т. е. сведение в одно целое, проводится в предположении системы как статически определимой, например как двухопорной фермы, или трехшарнирной арки и т. д. И уже после того, как такая сборка окончена, в нее вводят дополнительные стержни и производят смыкание их под искусственным натяжением. Удобством выполнения перехода от статически определимой системы к системе статически неопределимой обусловливается выбор основной системы для сборки.

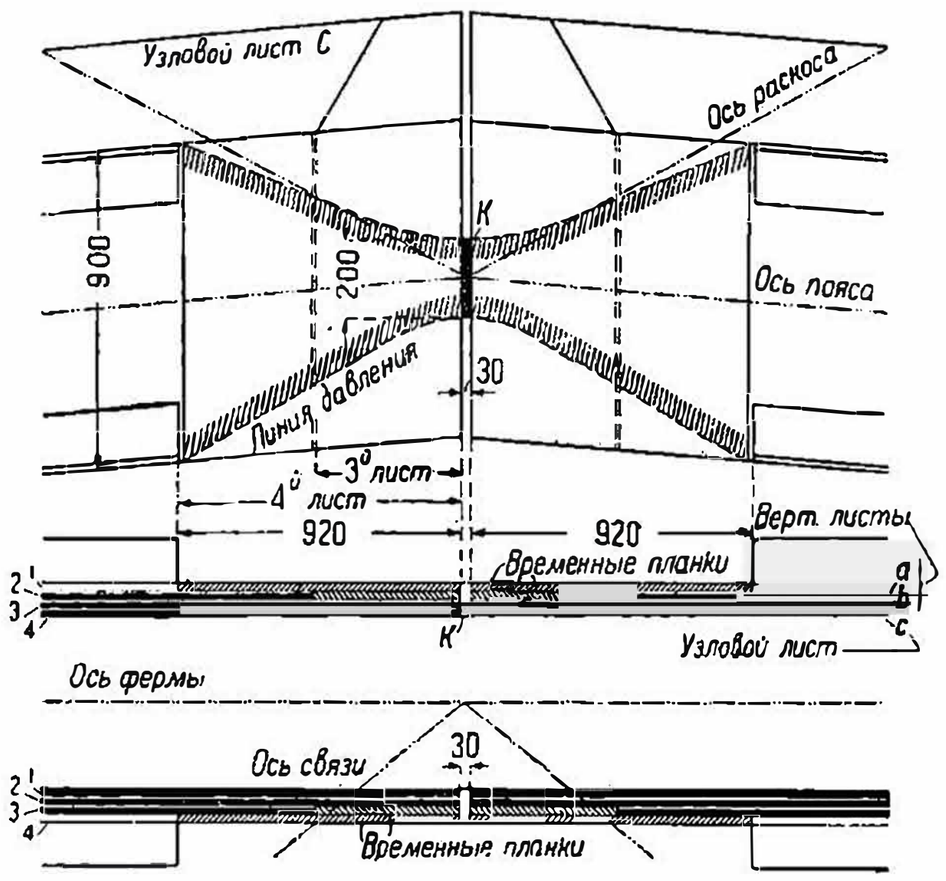


Рис. 432.

Так, например, если статически неопределимая система представляет собою комбинированную систему (балочную ферму с дополнительным шпренгелем или аркой), то целесообразно собрать систему как простую балочную ферму, причем эту сборку можно выполнить на подмостях, опустить ферму на опоры и уже после этого включить в работу шпренгельную часть, сделав смычку где-либо по ее длине (рис. 429).

Если статически неопределимая система представляет собою двухшарнирную арку, то целесообразно провести сборку ее как трехшарнирной арки, т. е. имея шарниры в пятах, замкнуть ее в узловом соединении у ключа. Без постановки стержня противоположного пояса этот узел будет играть роль как бы временного третьего шарнира; после чего в другой пояс арки вводится помощью соответствующих устройств распор и пояс замыкается, чем арка приводится к виду двухшарнирной.

Введение третьего шарнира путем замыкания одного из узловых соединений фермы, как указано выше, хотя бы даже на болтах, не соответствует назначению действительного шарнира и должно сопровождаться возникновением дополнительных напряжений в момент введения искусственного распора. Более правильным представляется образование действительного шарнира, хотя бы введением в стыковое образование временной короткой прокладки, как показано на схеме рис. 432, которая центрирует давление по оси пояса и облегчает деформацию смыкаемых частей в момент введения в них искусственного распора.

Смыкание систем с несколькими лишними неизвестными делается последовательно путем перехода от системы статически определимой к системе с одним или

НБ УДУНТ (ДІІТ)

двумя добавочными стержнями, а затем к системе с тремя добавочными стержнями и т. д. Примером проведения такого смыкания может служить смычка бесшарнирных арочных ферм моста через р. Вуппер в Германии.

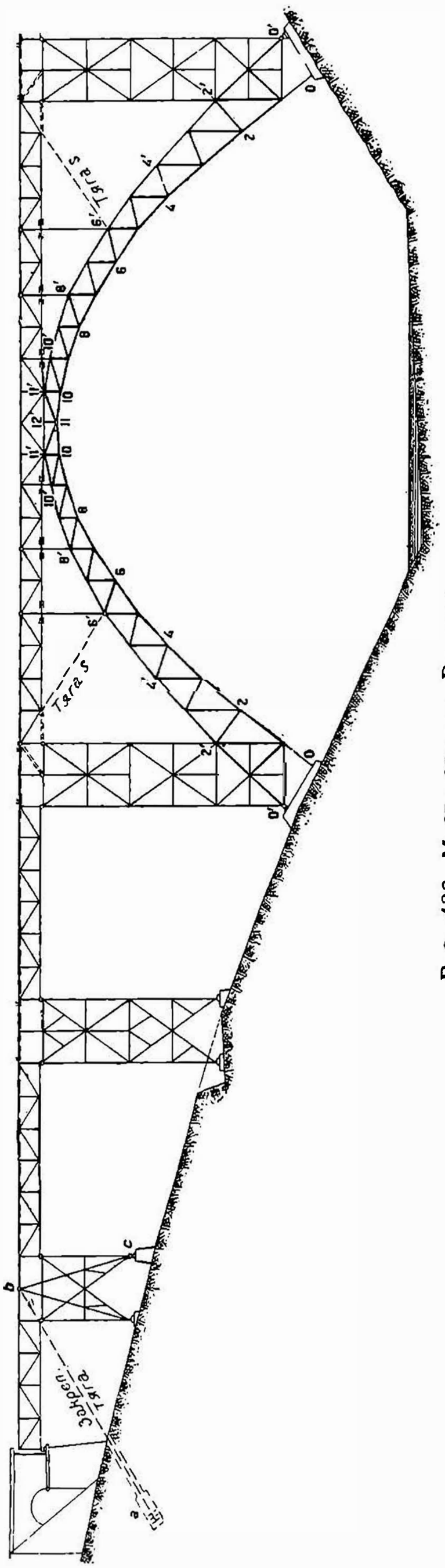


Рис. 433. Мост через р. Вуппер.

По окончании сборки обеих половин арки этого моста (рис. 433) по осям стержней верхнего и нижнего пояса, в ключевой части арки, были установлены гидравлические домкраты. 15 марта 1897 г. началось накачивание цилиндров домкратов, что вызвало соответствующее распирание обеих половинок арки и отклонение их к берегам. К полдню того же дня отклонение арок достигло такой величины, что представилось возможным расклинить стержни 0—1 и привести арку к виду как бы шарнирной в пятах. Путем последующего медленного ослабления давления в домкратах началось сведение обеих половинок арок до полного соприкасания их в узле (II) нижнего пояса, в месте смычки которого была заложена прокладка *k* размерами 200·50·30 *мм* (рис. 432), игравшая роль шарнира; одновременно с ослаблением домкратов, изменением длины закрепительных тяг, выверялось взаимное положение осей обеих половин арки. Сведение обеих половин было закончено к полдню 17-го марта. С ослаблением домкрата в верхнем поясе арки весь распор был передан на арку в узел (II), и явилась возможность ослабить и снять закрепительные тяги S (рис. 433). Таким образом арка была приведена к виду трехшарнирной (0′—11—0′). С полдня 18-го марта началось преобразование арки в двухшарнирную. Последнее не представляло особых затруднений, так как из расчета следовало, что при постоянной нагрузке стержни 11′—12′ в двухшарнирной арке не работают, благодаря чему смычка их могла быть сделана без соответствующего искусственного напряжения их. По окончании пригонки и склепки стержней 11′·12′ и 12′—11′ в ключе арки, 21-го марта утром было начато приведение двухшарнирной арки к виду бесшарнирной, для чего требовалось ввести стержни 0—1. Нажимом гидравлических домкратов по оси этих стержней было возбуждено расчетное давление в 560 *т*, соответственно усилию в стержне от постоянной нагрузки и влияния температуры. Величина давления поверялась манометрами, введенными в цилиндры домкратов; кроме того приборами наблюдалась величина усилий, возникающих при давлениях домкратов в стержнях 0—1, 11′—12′ и др. Закрепление стержней 0—1 было сделано, когда усилия в вышеуказанных стержнях были доведены до расчетных и отличались от них не более $2^0/_0$—$3^0/_0$. Постановкой

НБ УДУНТ (ДІІТ)

стержней 0—1 заканчивалось приведение арки к виду бесшарнирной, что и было закончено к полдню 21-го марта. Оставалось сделать окончательное закрепление всех стыковых соединений в местах смыкания.

Особые случаи сборок.

§ 47. Сборка висячих пролетных строений. Сборка висячих пролетных строений состоит из укладки на место цепи или каната, входящих в основную систему моста, и сборки остальной части, подвешенной к цепям или канатам. Можно различать два способа укладки цепей и канатов: 1) когда они изготовляются в стороне от места установки и кладутся на место в готовом виде, 2) когда канаты изготовляются на месте их укладки.

В готовом виде обычно укладываются на место цепи и витые канаты, которые требуют предварительной обработки и изготовления в мастерских. Канаты, составляемые из параллельных проволок, вяжутся на месте работ, и только заготовка отдельных прядей их может быть выполняема в стороне от места укладки.

Укладка цепей и витых канатов. Сборка мостов с цепными звеньями нередко начинается со сборки ферм жесткости, входящих в состав их, что выполняется при помощи сборочных подмостей или путем навесной сборки, и уже потом

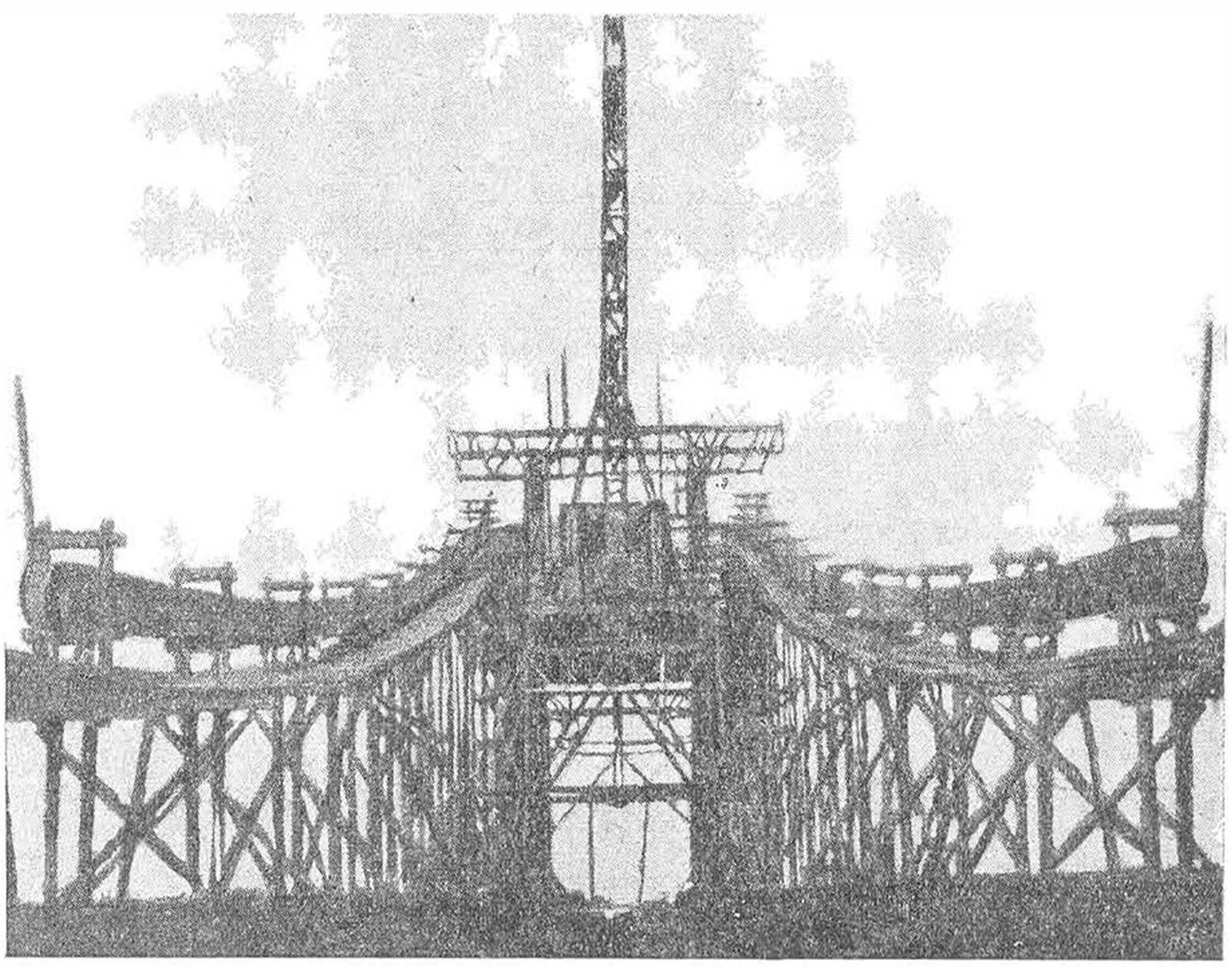


Рис. 434.

над собранными фермами жесткости или на них самих устраиваются вторые подмости, которые служат для сборки собственно цепи (рис. 434). Этим вторым подмостям дается очертание по контуру цепи; конструкция их ничем не отличается от конструкции обычных сборочных подмостей. Работа по сборке цепи обслуживается кранами, имеющими движение по основным подмостям или по собранным фермам жесткости. Сама сборка по производству ее близка к сборкам обычных пролетных строений.

В целом виде цепи поднимаются на опоры только в мостах с небольшими пролетами, когда вес цепей невелик. Собранные цепи укладываются рядом с мостовыми опорами, одним своим концом закрепляются в кладку берегового устоя,

НБ УДУНТ (ДІІТ)

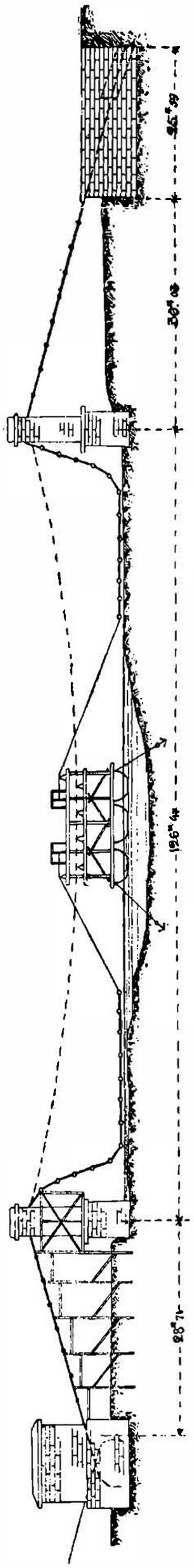


Рис. 436. Укладка цепей на мосту через р. Молдаву.

другим концом скрепляются с канатом лебедки, установленной на противоположном берегу. Подъемка цепи производится лебедками с подмостей, устраиваемых над промежуточными опорами (рис. 435).

В больших пролетах цепи разделяются и укладываются на место или по частям, или отдельными звеньями. Примером установки цепи по частям может служить укладка рабочей цепи через р. Молдаву в Праге (рис. 436). Береговые закрепительные цепи этого моста были собраны на подмостях. Цепь среднего пролета собиралась на обеих боковых опорах. На каждой опоре было собрано несколько меньше половины цепи. Обе половины цепи свободно свешивались с опор и располагались на плотах, удерживаемых на оси моста якорями. Средняя часть цепи была собрана на пловучем помосте, установленном в середине пролета. На этом же помосте помещались две лебедки, помощью которых были подняты на помост концы крайних частей цепи; на этом же помосте была сделана смычка двух крайних частей цепи со средней, и таким образом образована сплошная цепь.

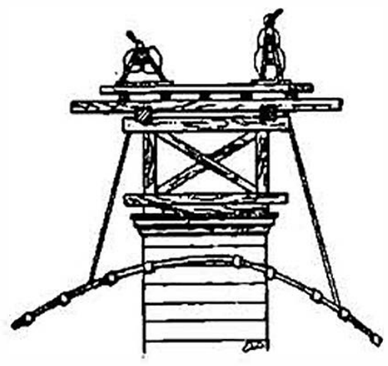


Рис. 435.

Укладка витых канатов. Канаты витые изготовляются на специальных заводах и доставляются к месту намотанными на барабаны.

Наблюдения показали, что витые канаты при загружении их, после укладки на мосту, получают некоторое остаточное удлинение, независимое от деформаций его под нагрузкой, как упругого тела. Величина этого удлинения зависит от размеров поперечного сечения канатов, их длины, формы сечения, числа проволок и пр.; появление его объясняется тем, что под влиянием нагрузки изгибы по длине каната выправляются, проволоки в нем уплотняются и т. д. Так как все эти причины имеют случайный характер, то учет величины возможного удлинения каната от них после укладки его на мосту не может быть сделан, поэтому рекомендуется большие канаты подвергать предварительному растяжению после доставки их к мосту. Это растяжение должно производиться усилием, превосходящим расчетное усилие в канате, под его действием канат должен выдерживаться от $1^1/_2$ до 2 часов и после этого храниться в расправленном состоянии до укладки на место. Всякие последующие операции с канатом, как то: переправка к месту укладки,

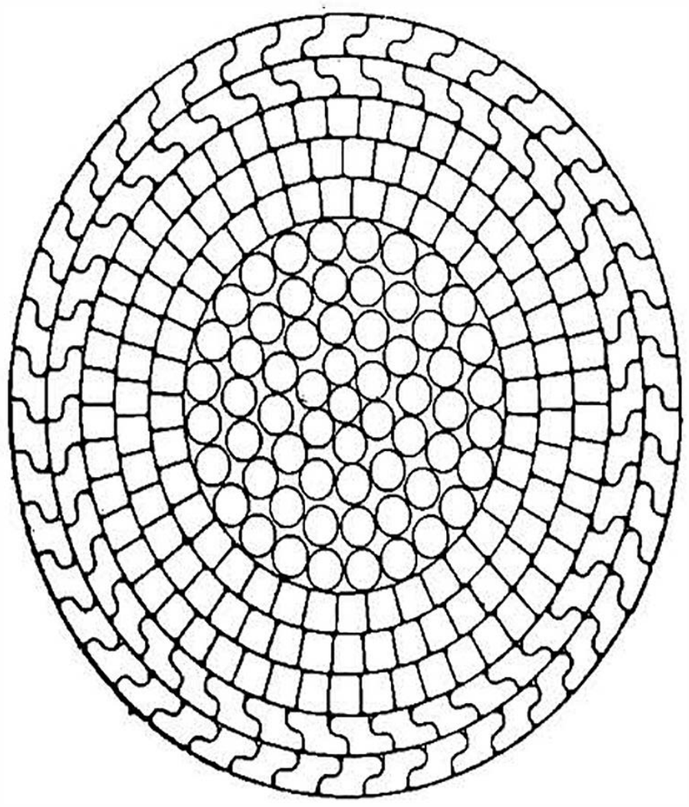


Рис. 437. Поперечное сечение витого кабеля для моста в Кельне.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

окраска и пр., вызывают новое укорочение длины, но если эти операции производятся осторожно, то они не так значительны.

При постройке моста через Рейн в Кельне были применены витые канаты, сечение которых показано на рис. 437; оно имеет диаметр 80 *см* и состоит из 277 проволок разных профилей размерами от 4,1 до 4,7 *мм*, расположенных 9 кругами вокруг мягкой сердцевины. Длина этих канатов 550 *м*.

Для выправления этих канатов была устроена около моста площадка длиной 551 *м*. Поперечный разрез этой площадки показан на рис. 438. Она состоит из площади для развертывания канатов прибывающих с завода, двух бетонных узких площадок в средней части и площадки для хранения выправленных канатов. Канаты, развернутые на первой площадке, передавались на бетонную площадку (правую на рис. 438), где они подвергались растяжению гидравлическим прессом силою 300 *т*. Для производства этой операции на одном конце стенки было устроено неподвижное приспособление для закрепления каната, а на другом конце были установлены специальные гидравлические пресса.

Канаты подвергались растяжению силою 240 *т*, что превосходило расчетное усилие в них в 209 *т*, и выдерживались под этой нагрузкой в течение 2 часов. Увеличение длины канатов под этой нагрузкой достигало 0,00072 их длины. При последующих операциях: переноска, окраска и пр. происходило укорочение на 0,0003 общей длины. Однако после укладки на пилоны и обтяжки происходило новое увеличение длины, полученное при предварительном растяжении [1]).

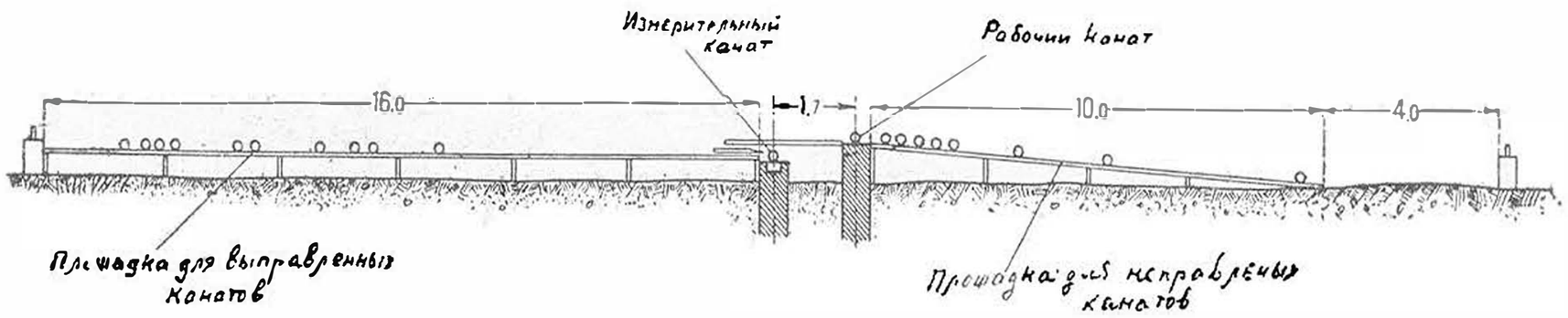


Рис. 438. Поперечный разрез площадки для выправления витого кабеля.

После описанного предварительного растяжения производилась разметка канатов на той же площадке, состоявшая в нанесении на канаты осей пилонов, точек положения подвесок и пр. Мерилом, постоянным для разметки всех канатов, служил особый канат, лежавший на другой бетонной площадке, параллельной первой (левая на рис. 438). Так как необходимо было сохранить теоретическую расчетную схему каната незагруженного моста, то разметка канатов производилась при растяжении его расчетным усилием 147,2 *т* и при температуре 10°; при изменении этой температуры под влиянием окружающего воздуха вводилась соответствующая поправка в разметку каната.

После производства разметки канаты поступали на площадку для хранения, где находились в расправленном состоянии. С этой площадки канаты должны подаваться к мосту в растянутом виде или на вагонетках по подмостям или по реке на баржах.

Укладка витых канатов на пилоны моста производится различными способами в зависимости от веса каната.

При небольшом весе каната укладка его производится непосредственным протаскиванием его через блоки, установленные на промежуточных пилонах или опорах моста. Для производства этой работы барабаны с канатами помещаются на одном из берегов сзади устоя моста; на противоположном берегу помещается лебедка, проволока от которой пропускается через блоки, установленные на промежуточных опо-

---

[1]) Подробное описание всех этих работ помещено в журналах: Die Bautechnik 1929, № 50 и Der Bauingenieur 1929, № 47.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

рах [1]). Проволока доводится до барабана и скрепляется с канатом, после чего канат помощью проволоки перетаскивается через мостовые опоры. Вместо блоков на промежуточных опорах ставят также лебедки, и тогда канат протаскивают последовательно с опоры на опору.

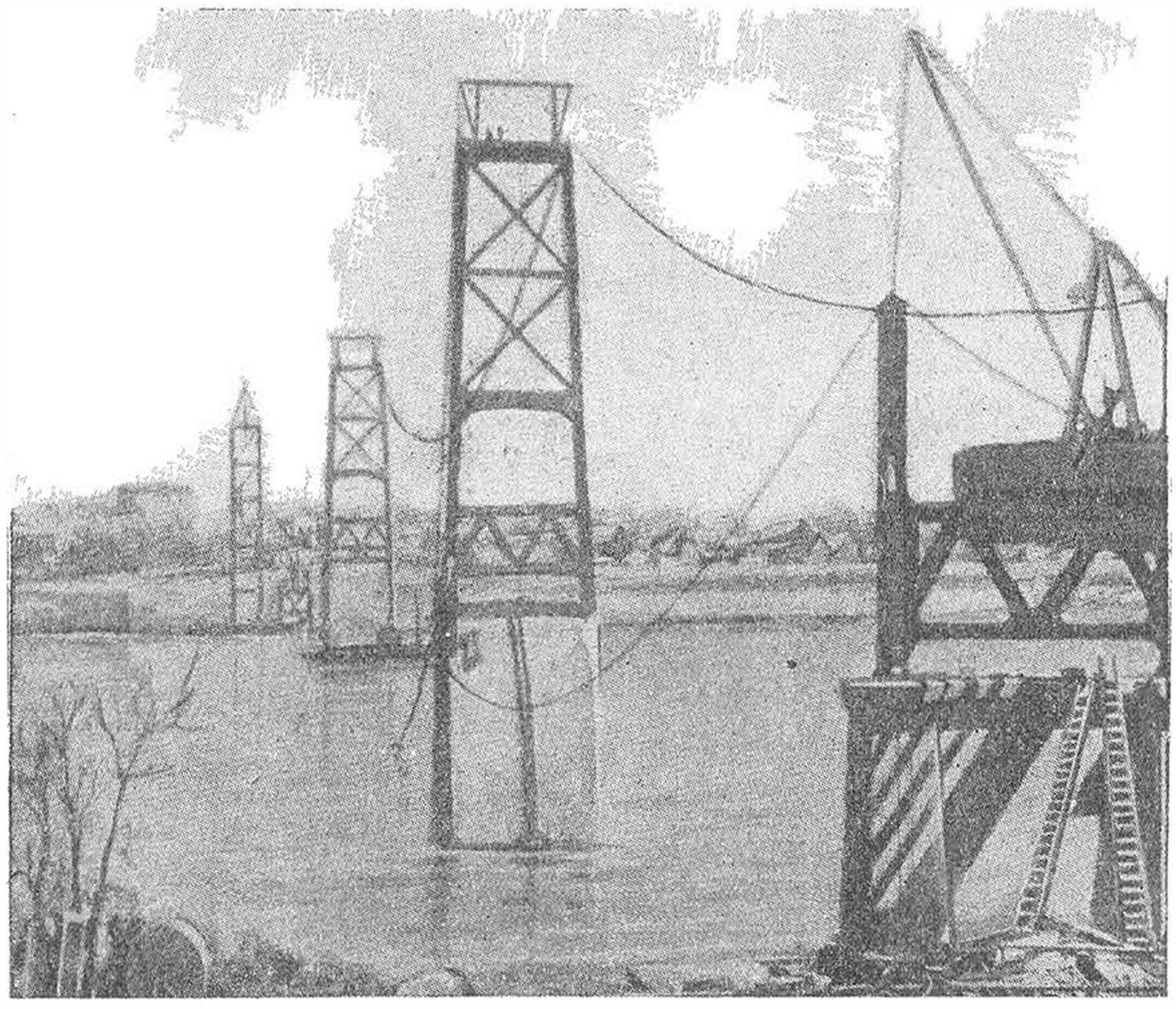


Рис. 439. Укладка каната на мосту через р. Охио.

При большом весе каната такое протаскивание каната становится невозможным, и укладку каната приходится производить путем подъема его на опоры при помощи кранов или лебедок, установленных на верху опор (рис. 439), после того как сам канат будет уложен вдоль моста на плотах или по дну реки [2]).

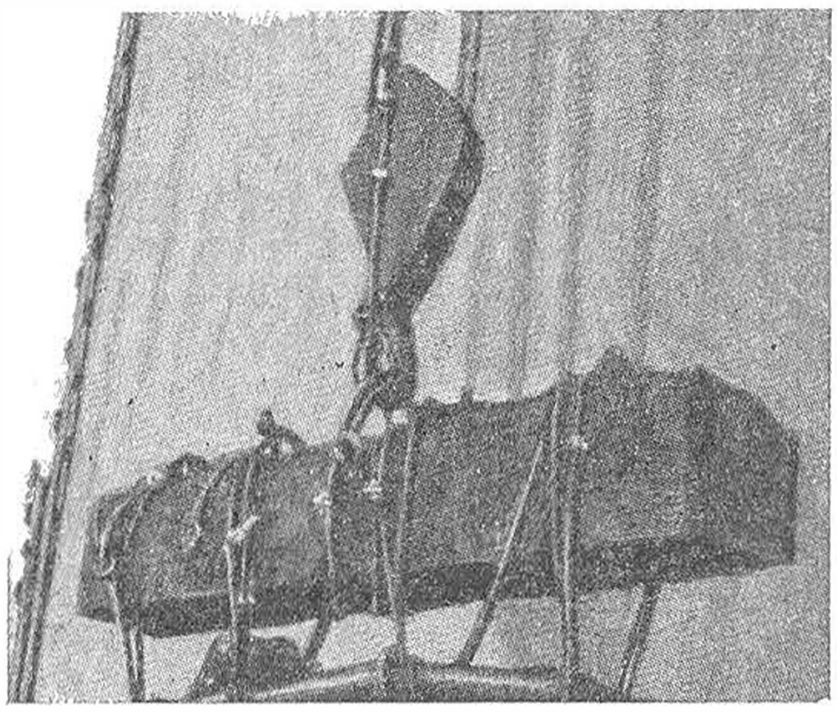


Рис. 440. Брус для подъемки кабеля при укладке на опоры.

Эта подъемка производится после того, как сам канат будет уложен вдоль моста по подмостям, или на плотах, или по дну реки, и концы его будут закреплены в анкерных устройствах. Подъемка каната должна производиться с принятием мер предосторожности против выгибов его, для чего канат у места подъемки его подвешивается в нескольких местах к жестким брусьям (рис. 440). После укладки канатов на пилонные подушки, длина их и положение частично регулируются

[1]) При прокладке рабочего каната Вильямбургского моста в Нью-Йорке подъемка каната из воды на высоту 46 *м* над уровнем воды потребовала три минуты времени (Engineering, 1905, I, стр. 775).

[2]) При постройке висячего моста через Ниагарский водопад передача каната была сделана помощью змея, пущенного при благоприятном ветре. Заставив змея опуститься на противоположном берегу, помощью его нити перетянули проволоку, а помощью последней—канат. При устройстве канатной передачи для сборки моста через р. Замбези главный кабель был

НБ УДУНТ (ДІІТ)

натяжными приспособлениями, предусматриваемыми проектом моста в его анкерных устройствах.

После того как основная цепь или канат моста уложены на место, сборка ферм жесткости и мостового настила ведется навесным путем с обоих концов моста, для чего используются сами канаты и подвески моста (см. ниже рис. 461).

Вязка канатов из параллельных проволок. Канаты для больших мостов изготовляются из отдельных прядей, а эти последние из ряда параллельных проволок [1]).

Пряди канатов вяжутся из проволок диаметром до 5 *мм*. Они делаются без стыковых соединений, и длина их определяется длиной каната между местами закрепления концов его. Всякое соединение проволок представляет собою слабое место конструкции и потому избегается.

Если обстоятельства заставляют делать сращивание отдельных проволок, то рекомендуется делать его механическим путем, для чего концы проволок или на протяжении 5 — 7 *см* слегка расплющиваются, накладываются один на другой плоскими сторонами и в таком виде обвертываются тонкой проволокой, или они на длине — 2,5 — 3 *см* осаживаются, снабжаются нарезкой, соединяются муфтой (рис. 441). Первый тип соединения по своей прочности соответствует примерно 80% сопротивления проволоки, второй — 95% сопротивления проволоки, чем имеет несомненное преимущество перед первым.

Проволока, поступающая на изготовление прядей, должна быть защищена против ржавления. Вопрос о необходимости оцинкования проволоки может считаться в настоящее время отпавшим, так как осмотр проволок Ниагарского моста, простоявшего около 50 лет, и наблюдения над проволоками Вильямбургского моста, пересекающего морской канал, показали, что они не пострадали от ржавления [2]), хотя они не были оцинкованы. Можно считать достаточным покрытие проволоки два—три раза олифой, делая каждое покрытие после полного высыхания предыдущего.

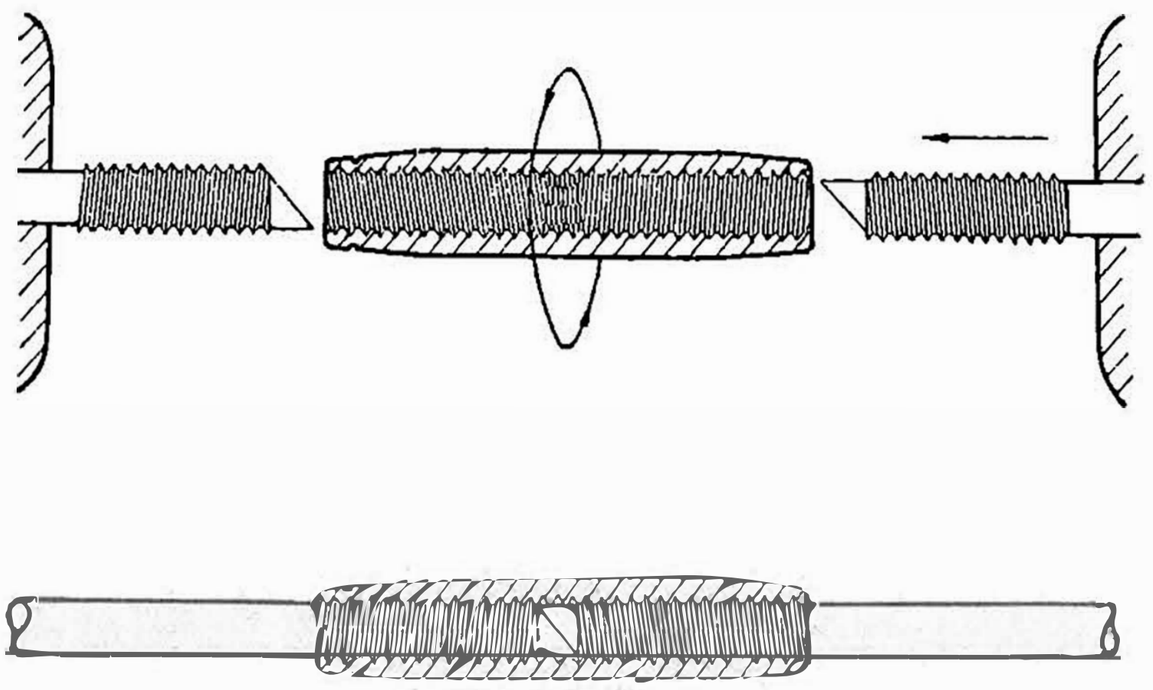


Рис. 441.

По опыту производства работ в Америке, для мостов с основным пролетом до 210 *м* выполняют вязку прядей на берегу; для мостов с бо́льшими пролетами вязку прядей делают на месте установки.

При изготовлении прядей на берегу принимаются особые меры к тому, чтобы проволоки, их образующие, имели разную длину, так как при укладке пряди на место она провиснет, и нижние проволоки будут испытывать дополнительные напряжения от этого провисания, если длина их не будет больше длины верхних.

уложен помощью более тонкого вспомогательного, который в свою очередь был перетащен помощью тонкой проволоки; для передачи последней с берега на берег была пущена ракета.

[1]) Канаты Бруклинского моста состоят из 19 прядей по 326 проволок в пряди, или 6 224 проволоки в канате. Канаты Вильямбургского моста состоят из 37 прядей по 208 проволок в пряди, или по 7 693 проволок в канате. Канаты Мангатанского моста состоят из 37 прядей по 256 проволок, или по 9 472 проволок в канате. Канаты Делаварского моста состоят из 61 пряди по 306 проволок в каждой, или 18 666 проволок диаметром 4,98 *мм*.

[2]) Bautechnik, 1928, № 20, стр. 267.—Eng. News Rec.. 1927, № 16.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Изготовление прядей для моста через р. Охио в Портсмуте, производившееся на берегу, было сделано при помощи следующего устройства.

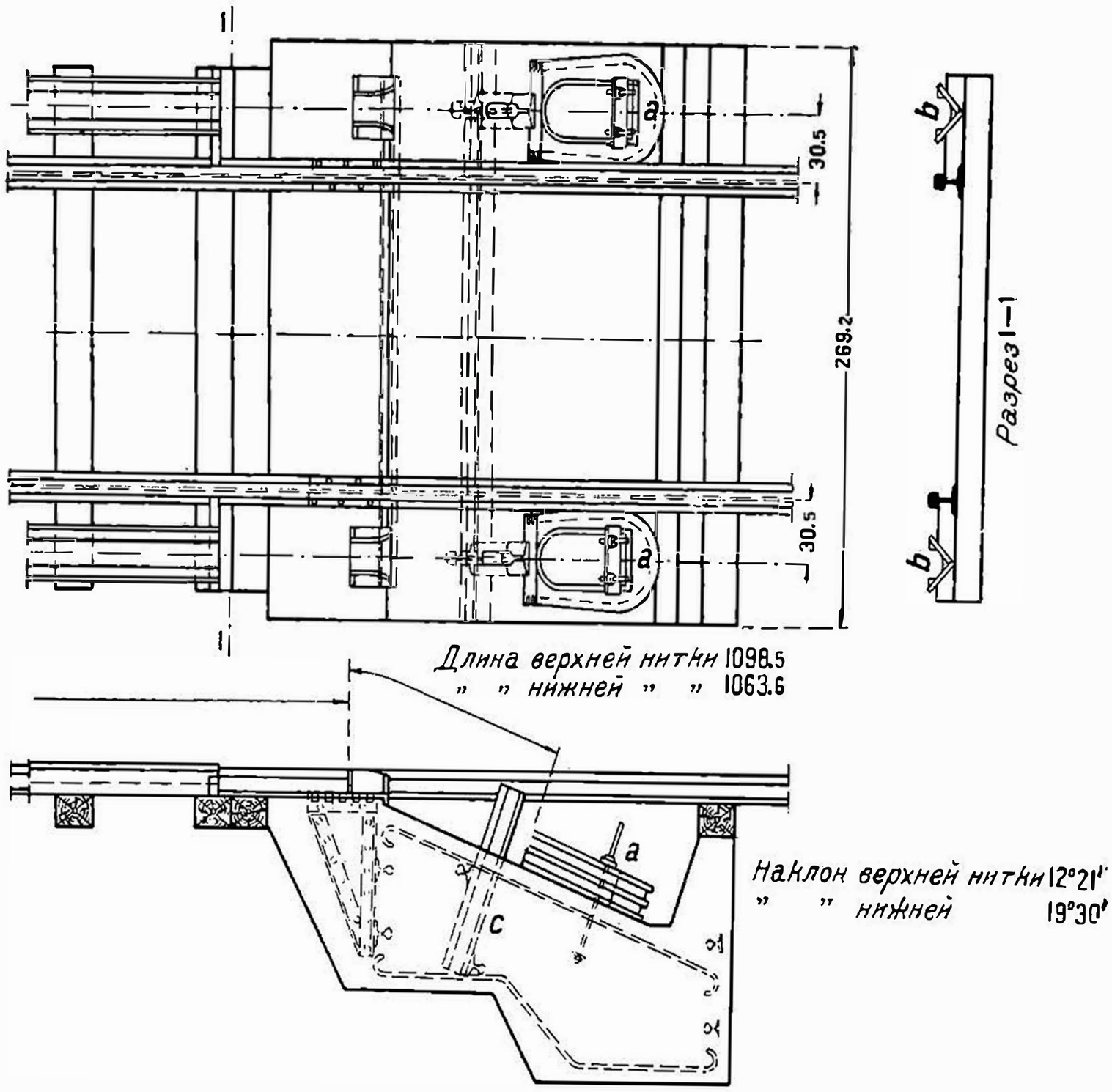


Рис. 442. Приспособление для плетения канатов на берегу на мосту через р. Охио.

На берегу была проложена рельсовая колея, по которой ходила специальная моторная тележка, служившая для укладки проволоки. Проволока укладывалась в желоба *b*, устроенные с обеих сторон пути (рис. 442), заканчивающиеся с обеих сторон специальными бетонными углублениями, внутри которых помещались подковообразные башмаки *a*, служившие для огибания вокруг них укладываемой проволоки. Эти башмаки были сделаны с двумя желобами так, что проволока, огибавшаяся вокруг верхнего желоба, имела угол наклона 12°21', а вокруг нижнего—19°30', чем достигалось изменение в длинах этих проволок. Изменение длины в отдельных прядях могло быть достигнуто соответственной урстановкой бшмака, положение которого могло быть изменено путем закладки прокладок разной толщины между башмаком и упорным рельсом *c*, заложенным наглухо в бетонное основание.

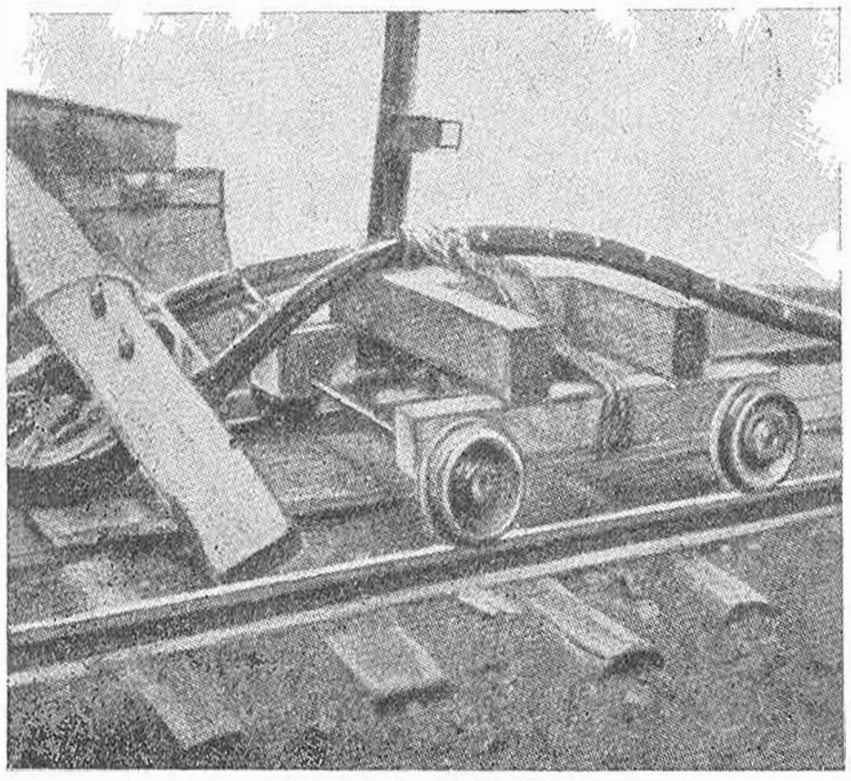


Рис. 443.

Плетение каната производилось при помощи моторной вагонетки, ходившей по рельсовому пути с уложенными на ней барабанами с проволокой. При каждом

НБ УДУНТ (ДІІТ)

движении вперед и назад укладывались две проволоки (по одной в желоб). Для укладки 486 проволок, входивших в состав каждой пряди, требовалось 243 пробега вперед и назад. Каждый такой пробег занимал 15 минут, так что на плетение одной пряди требовалось около 7 рабочих дней.

В целях предохранения прядей, изготовляемых на берегу, от загрязнения, следует желоба *b*, в которые укладываются проволоки, покрывать парафинированной

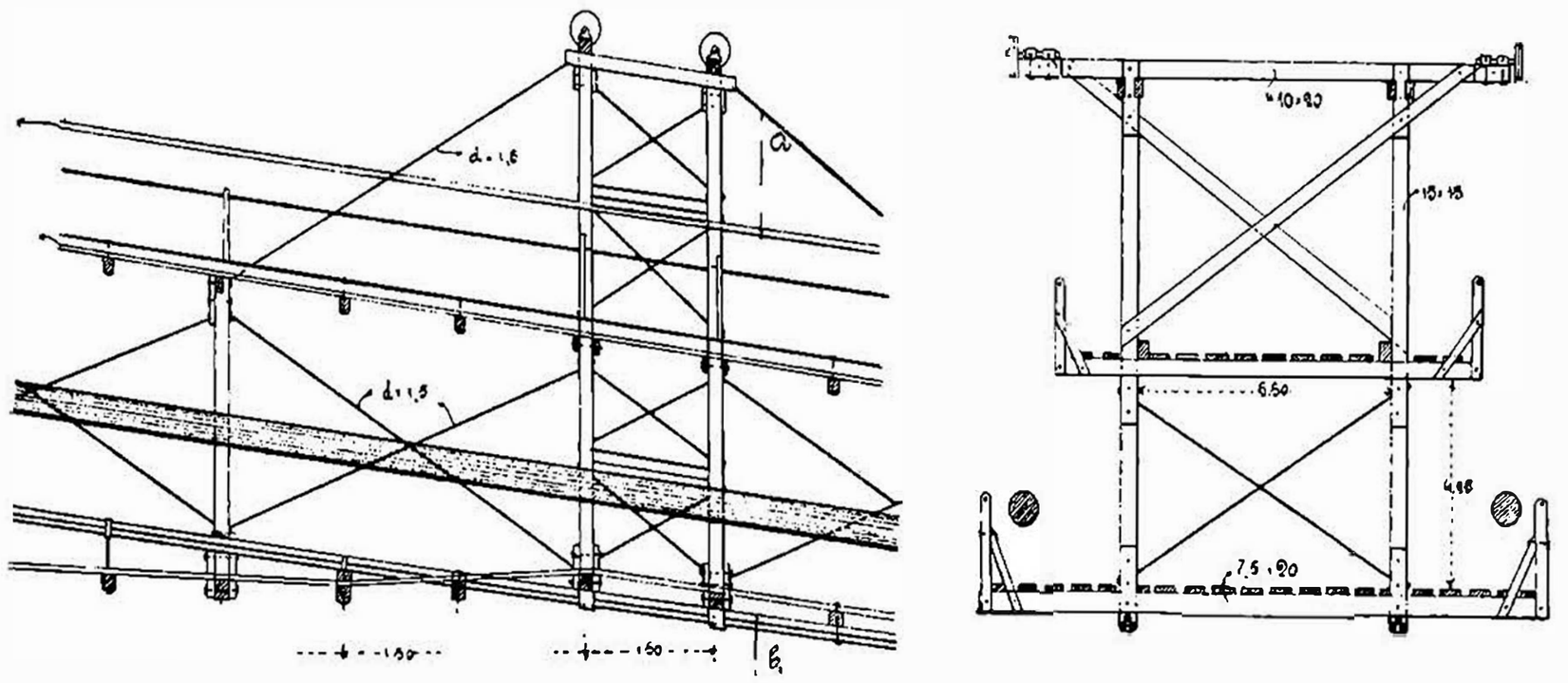


Рис. 444. Подмости для укладки канатов на Вильямбургском мосту.

бумагой с таким расчетом, чтобы в нее могла быть завернута прядь после укладки всех проволок, после чего прядь стягивается особыми сжимами (рис. 443) и связывается хомутами примерно на расстоянии 0,75 — 1,0 *м*.

Изготовленные таким образом пряди каната вынимаются из желобов и в таком виде доставляются при помощи паромов или баржей к месту, где протягиваются поперек реки. После закрепления башмаков прядей в местах заякоривания канатов на береговых опорах пряди при помощи лебедок или кранов поднимаются

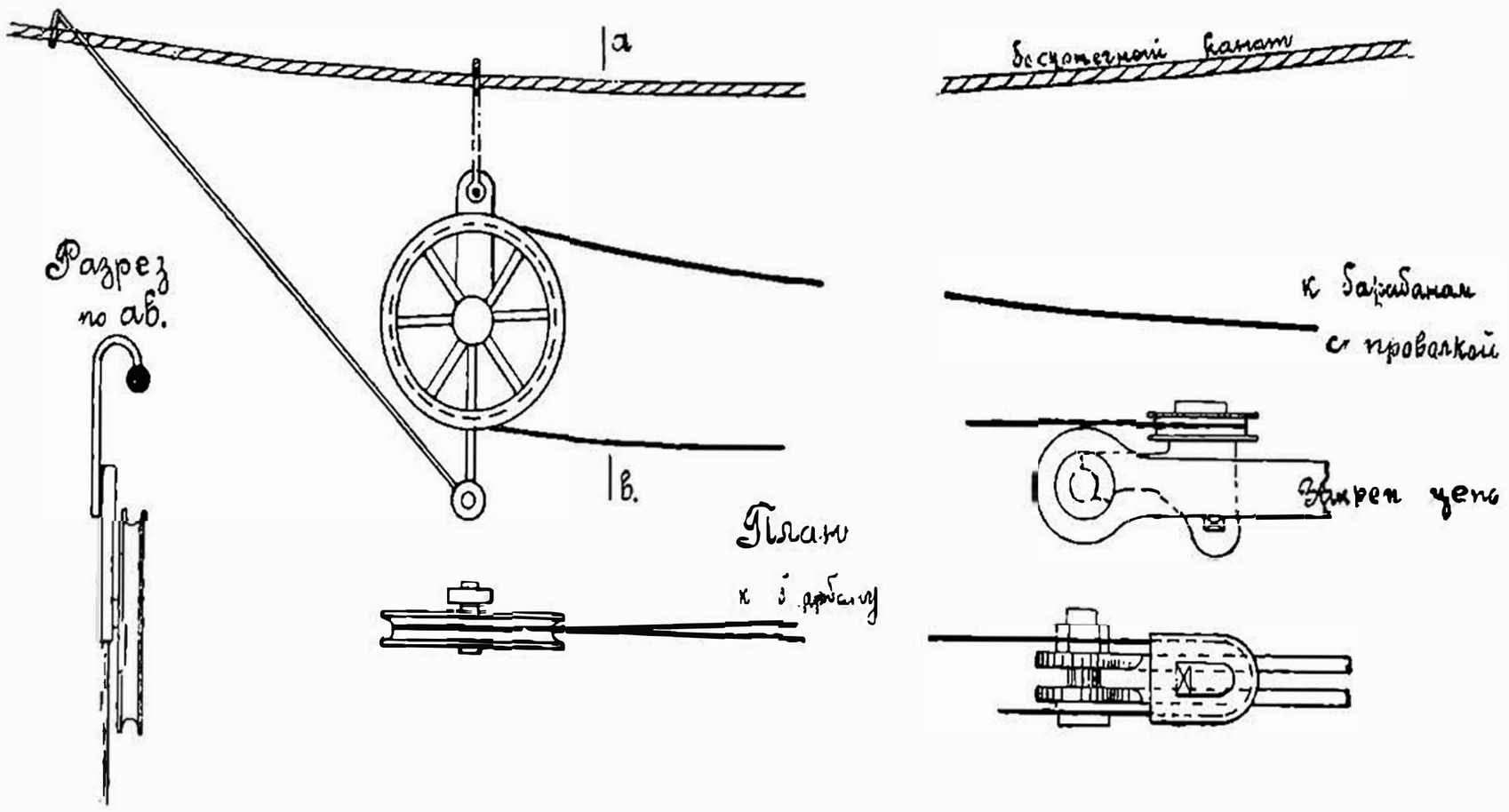


Рис. 445. Схема плетения канатов из продольных проволок на самом мосту.

на промежуточные опоры (рис. 439), где укладываются в опорные подушки. Для того чтобы во время подъемки прядь не могла получить излома, ее поднимают при помощи особых брусьев или балок достаточной длины, к которым прядь подвешивается несколькими хомутами разной длины (рис. 440).

После того как все пряди подняты и уложены на место, с них снимаются обвязочные хомуты, и они соединяются в один целый канат так же, как это делается при изготовлении прядей непосредственно на месте, о чем см. ниже.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При изготовлении канатов на месте укладки их, прежде всего возникает вопрос о способе укладки проволок с одного берега на другой. Укладка производится отдельными проволоками, и если принять во внимание, что число проволок в канате доходит до нескольких тысяч, то становится ясным, что работа по укладке всех проволок должна отличаться большой продолжительностью. Как на наилучшее решение этого вопроса следует указать на прием плетения, применяемый в Америке.

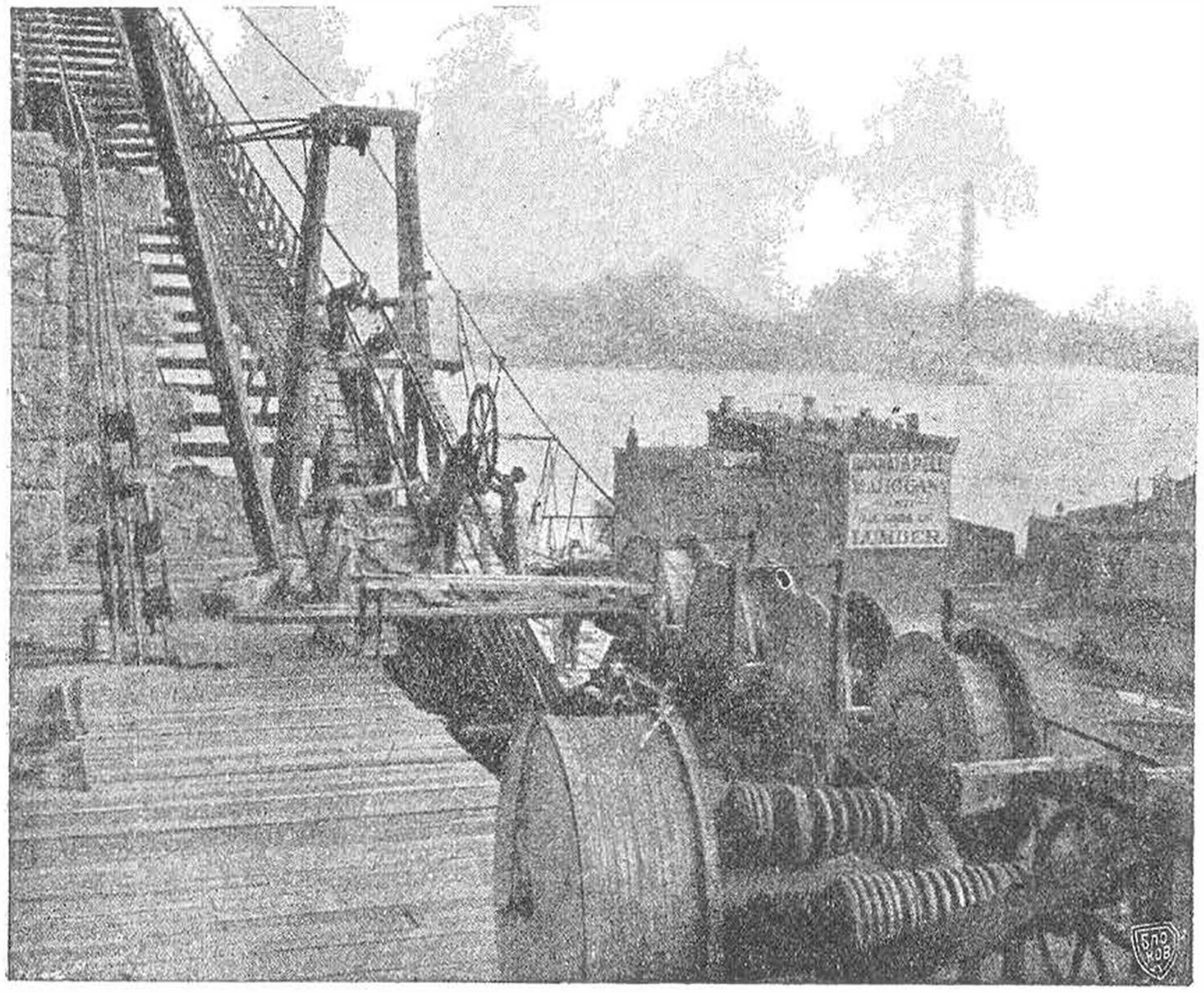


Рис. 446. Расположение барабанов с проволокой на Мангатанском мосту.

На некотором расстоянии выше сборочного настила прокладывается бесконечный канат подвесной передачи, проходящий от места закрепления канатов на одном берегу через промежуточные опоры к месту закрепления на другом берегу и обратно, образуя собой бесконечную нить, приводимую в движение моторами или паровыми машинами. На опорах и в промежутках между ними бесконечный канат поддерживается специальными башнями или козелками (рис. 444), устанавливаемыми на сборочном настиле. В верхней части этих башен, несколько в сторону от оси основных канатов, на консолях подвешиваются блоки для пропуска бесконечного каната.

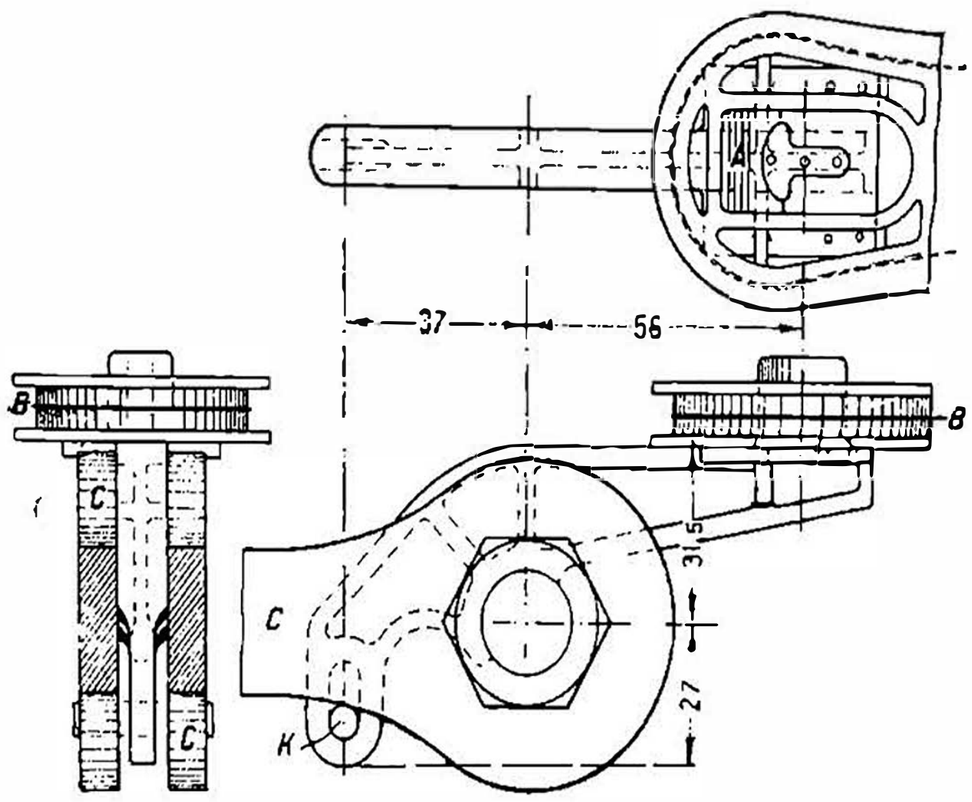


Рис. 447.

К бесконечному канату в двух взаимопротивоположных пунктах по его длине прикрепляются колеса с желобом по ободу, на который надевается петля проволоки (рис. 445); колесо, влекомое бесконечным канатом, протаскивает за собой проволоку, укладывая ее сразу в две нити, а так как бесконечным канатом одновременно протаскиваются два колеса, то с каждым оборотом бесконечного каната вдоль моста укладываются 4 проволоки. О скорости, с которой перемещаются колеса и укладывается проволока, можно судить по нижеследующим примерам:

НБ УДУНТ (ДІІТ)

а) При укладке проволок на Бруклинском мосту, длиною между береговыми опорами $283{,}5 + 486{,}5 + 283{,}5 = 1\,053{,}5$ *м*, бесконечный канат перемещался со скоростью 1,28 *м/сек*, и на проход колеса от одного устоя до другого требовалось 14 минут времени.

б) При укладке каната на Мангатанском мосту, длиною $221 + 448 + 221 = 890$ *м*, на проход колеса от одного берега до другого требовалось 7 минут времени. Наибольшее число проволок, укладывавшихся по направлению четырех канатов этого моста в течение 8 часов, доходило до 812 длин.

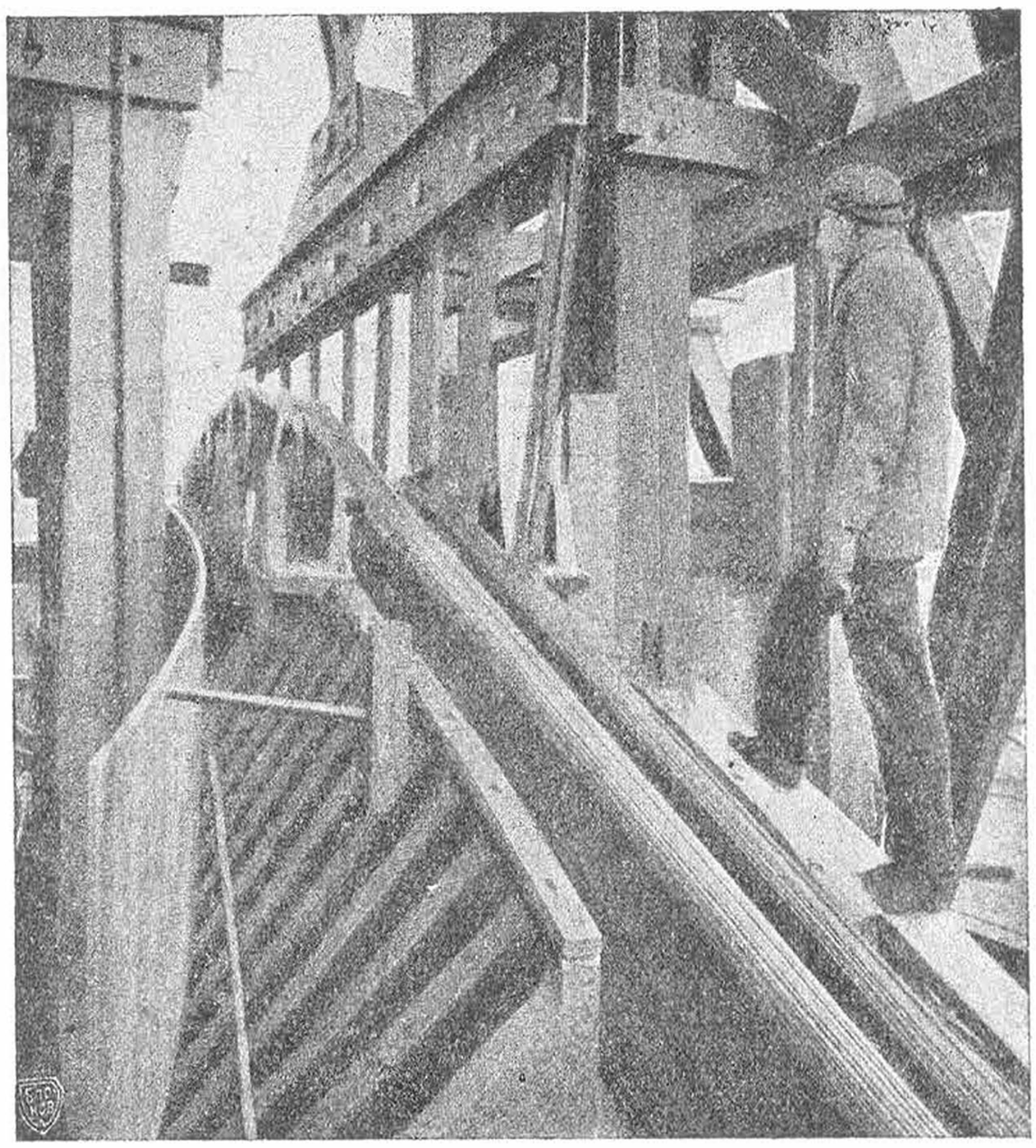


Рис. 448. Пропуск канатов над промежуточными опорами и захваты для укладки их на опоры.

Проволока подается к месту работ намотанная на деревянные барабаны, которые устанавливаются один за другим на берегу за местом закрепления каната в устои (рис. 446). Концы проволоки, по мере укладки их в пролете, своими петлями, снимаемыми с колес бесконечного каната, надеваются на подковообразные башмаки, неподвижно укрепляемые у места их соединения со звеньями якорной цепи. Муфты своим цилиндрическим отверстием надеваются на башмак, охватывающий болт соединительного звена цепи (рис. 447); нижняя удлиненная часть башмака пропускается между звеньями цепи; в отверстие этой части башмака закладывается болт, своим нажимом на звенья препятствующий опрокидыванию башмака. При проходе над береговыми и промежуточными опорами проволоки пропускаются по желобчатым роликам (рис. 448). По мере укладки проволоки поверяются в своем положении рабочими, размещаемыми на всех опорах и вдоль линии укладки. Правильность укладки поверяется по строго выверенной контрольной проволоке, удерживаемой в своем положении стяжными муфтами, помещающимися на ее концах.

Рис. 449.

Очертание контрольной или шаблонной проволоки выбирается с таким расчетом, чтобы сплетенные по ней пряди основного каната, после деформации их под влиянием расчетной нагрузки, заняли проектное положение. Происходящее при этом удлинение канатов вызывает провисание их на величину *df*, на которую должна быть уменьшена стрела прогиба контрольной проволоки и которая должна быть задана проектом.

По окончании укладки всех проволок одной пряди концы проволок наглухо соединяются, и все проволоки по своей длине схватываются временными хомутами, располагаемыми в пролетах на взаимном расстоянии от 1,3 до 1,6 *м*, а над опорами — на расстоянии 0,40 до 0,60 *м*. Постановкой хомутов заканчивается плетение

НБ УДУНТ (ДІІТ)

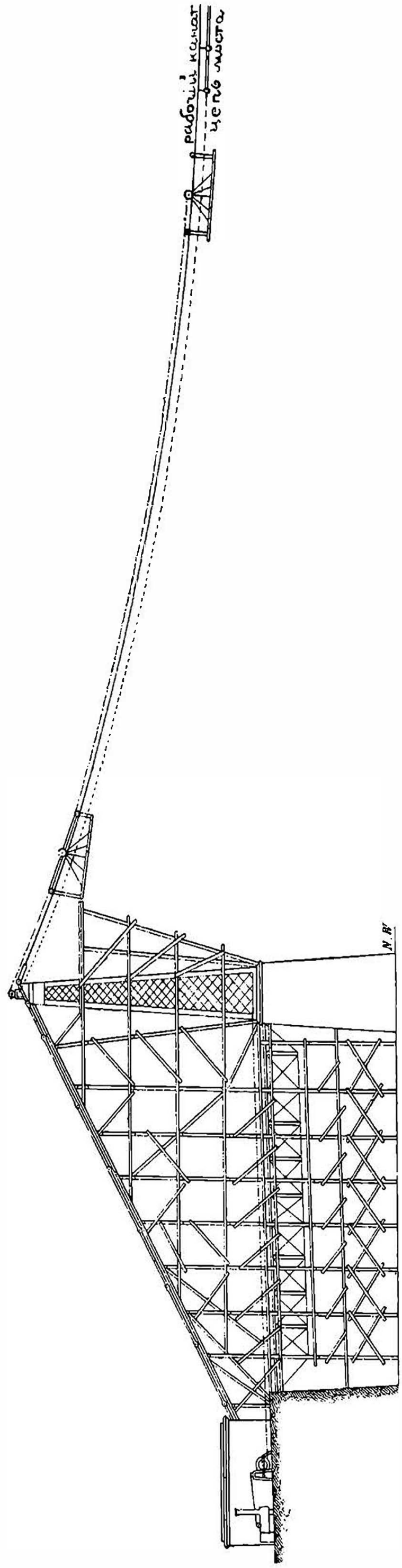


Рис. 450. Сборка висячего моста через р. Моонгахела.

пряди, и она укладывается на ось основного каната. Первоначально концы ее соединяются со звеньями закрепительных цепей, для чего концевые подковообразные муфты пряди оттягиваются гидравлическими прессами в сторону берега, снимаются с башмаков (рис. 447), поворачиваются на 90° и надеваются на болт соединительной цепи. После закреплення муфт пряди снимаются с блоков на промежуточных опорах и опускаются на опорные подушки основного каната. Снятие прядей с блоков производится помощью ряда захватов, расположенных по всей длине перегиба каната над опорой (рис. 449) и укрепленных к одной общей балке *a*. Балка снабжена винтом с гайкой *b*, помощью которого изменяется положение балки относительно горизонта. Винт поддерживается подушкой *d*, имеющей скольжение по поперечным брусьям *c*; с движением подушки *d* смещается балка *a* вместе с подвешенными к ней прядями.

На рис. 448 показано подобное приспособление, примененное для укладки прядей на Вильямбургском мосту в Нью-Йорке. В этом случае балка *a* была составлена из двух железных корыт, в промежутке между которыми на болтах были укреплены захваты для прядей.

Описанными приспособлениями пряди канатов в случае надобности могут быть вновь приподняты с подушек и опущены на них.

Перед опусканием пряди на подушку выверяется положение ее относительно оси опоры. Под влиянием возрастающей во время сборки нагрузки пряди деформируются, и длина их изменяется; вследствие изменения длины прядей среднего пролета изменяется стрела ее провисания, под влиянием же изменения длины береговых закрепительных прядей происходит смещение опорных подушек в сторону среднего пролета. Величина этого смещения, а равно возможность смещения их под влиянием колебания температуры должны быть приняты во внимание при установке подушки на опору; положение их должно быть выбрано так, чтобы они занимали центральное положение на опоре в момент загружения каната полной постоянной нагрузкой и при средней температуре местности.

При укладке прядей трудно достигнуть того, чтобы все они имели одинако-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

вую стрелу провисания. Соответствие в провисании отдельных прядей каната достигается регулированием натяжения их, для чего в концевые муфты между цапфой соединительного болта (рис. 447) и задней стенкой ее закладываются прокладки различной толщины, изменяемой в пределах от 3 до 20 *мм*. Изменением числа и толщины прокладок достигается изменение длины пряди и соответственно этому — стрелы ее провисания.

Прядь под влиянием равномерно распределенной по ее длине нагрузки собственного веса принимает вид цепной линии; при этом условии зависимость между изменением длины ее — ds и изменением стрелы провисания — df с достаточной степенью точности определяется уравнением:

$$df = \left(0{,}75\frac{f}{l} + 0{,}7005\frac{l}{f}\right)ds. \qquad (118)$$

При укладке прядей Вильямбургского моста, в котором отношение $f:l = 1\ 10$, наблюдалось, что закладки в башмаки прокладок толщиной в 3 *мм* вызывали изменение стрелы провисания на 25 *мм*. По формуле 118 это изменение длины должно было иметь величину $df = (0{,}075 + 7{,}05)\cdot 3 = 21{,}24$ *мм*. Следует иметь в виду, что выверка стрелы провисания канатов должна производиться в несолнечные дни при более или менее равномерной температуре воздуха. Опыт показал, что под влиянием нагрева солнца и действия ветра разница в стреле провисания доходит до 15 *см* [1]).

Настилы для вязки канатов. Вязка канатов из отдельных прядей, а этих последних из отдельных проволок на месте укладки обусловливает устройство сборочного настила вдоль всего пролета.

Такие настилы устраиваются при помощи временных рабочих канатов, укладываемых на мосту. Рабочие канаты несут меньшую нагрузку, чем основные цепи и канаты моста, благодаря чему размеры их и вес значительно меньше, а, следовательно, укладка их на место значительно проще. Им дают ту же стрелу провисания, как и основным канатам, но, смотря по предполагаемому способу производства работ, их помещают выше (рис. 449) или ниже (рис. 450) основного каната, так что в окончательном положении рабочий канат занимает положение, параллельное основному.

На рис. 450 показано укрепление рабочего каната S выше основной цепи A моста. Укрепление сделано к стойке, установленной на опор-

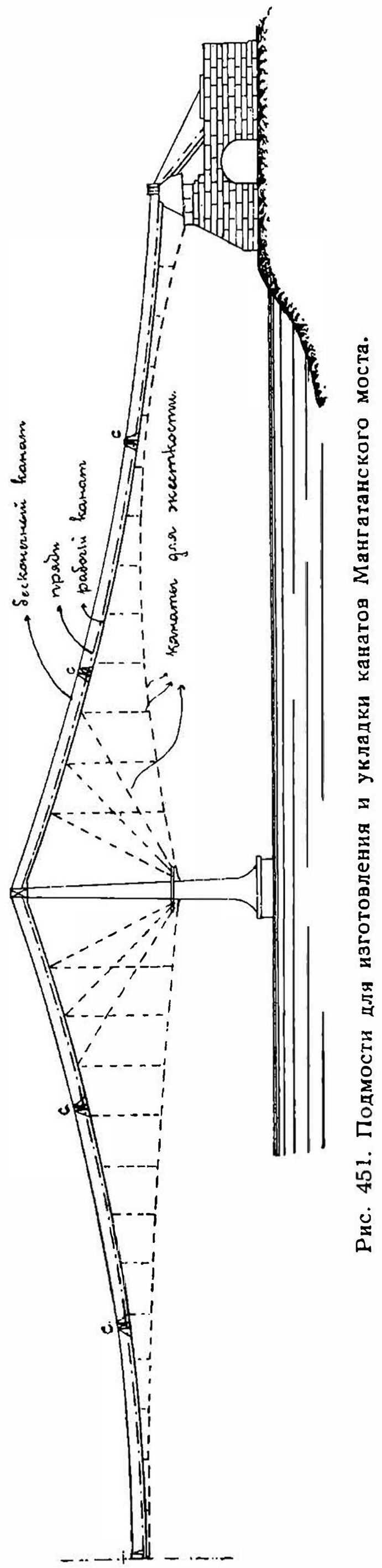


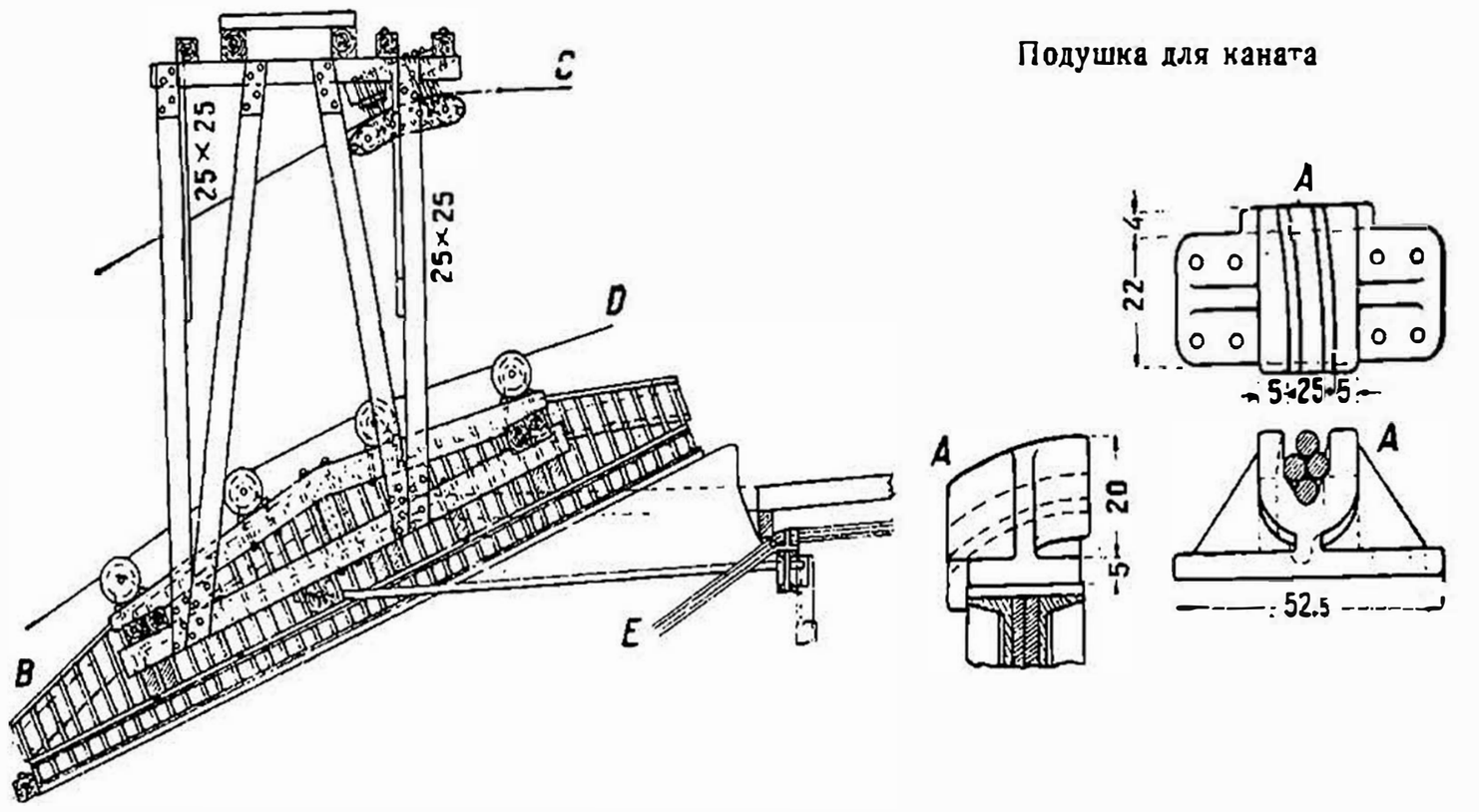
Рис. 451. Подмости для изготовления и укладки канатов Мангатанского моста.

[1]) Engin. Record, 1908, XLVIII, стр. 639.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ной подушке основной цепи; верхний конец стойки соединен дополнительным звеном с задней закрепительной цепью *B*. В конце рабочего каната помещается стяжной болт *C*, помощью которого изменяется и регулируется их взаимное положение.

Рабочий канат Монгатанского моста в Нью-Йорке был уложен ниже основного кабеля (рис. 451). Для пропуска рабочего каната над опорами как на береговых



A—подушка для каната, B—подушка основного каната, C—бесконечный канат, Д—прядь основного каната, E—канат для подмостей.

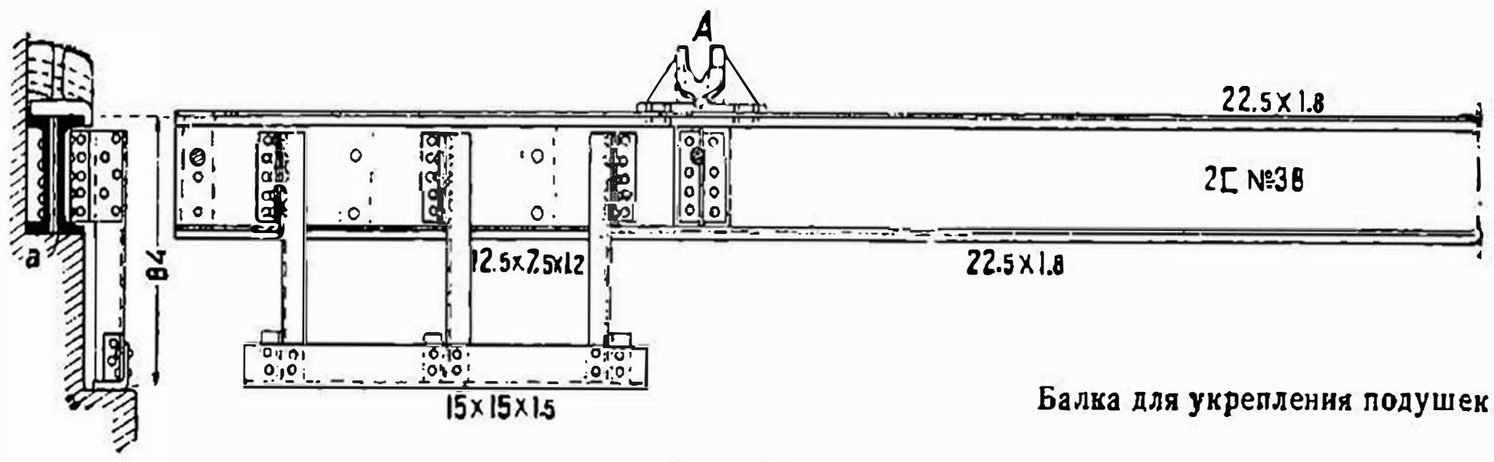


Рис. 452.

так и на промежуточных опорах были уложены литые подушки, укреплявшиеся на металлических балках, заделанных в кладку опор. На береговой опоре (рис. 452) эта металлическая балка *a*, склепанная из корытного железа, была уложена поперек опоры с речной стороны ее; балка удерживалась в неизменном положении двумя долевыми болтами, пропущенными сквозь кладку опоры. На этой балке помещалась

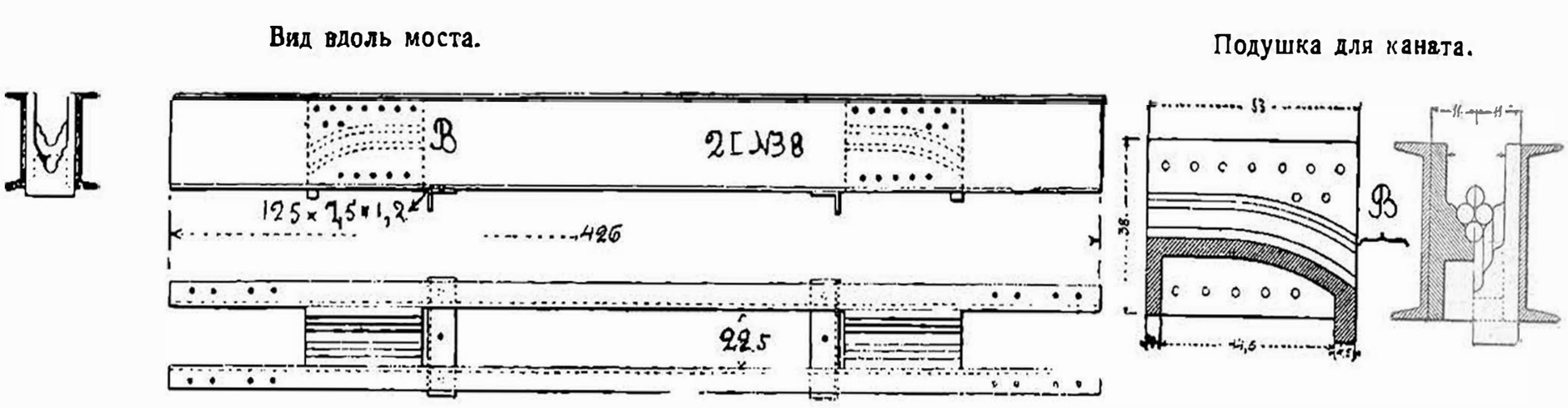


Рис. 452-bis. Балки для поддержания каната подмостей на промежуточных опорах.

фасонная литая подушка *A*, служившая опорой для рабочего каната. На промежуточной опоре (рис. 440) балки, составленные из корытного железа № 38, были уложены вдоль оси моста по направлению оси рабочего каната. Между корытным железом этих балок помещались две подушки *B*, служившие для пропуска рабочего каната.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Устройство сборочного настила вдоль рабочего каната производится помощью люлек или тележек, передвигаемых по канату (рис. 453).

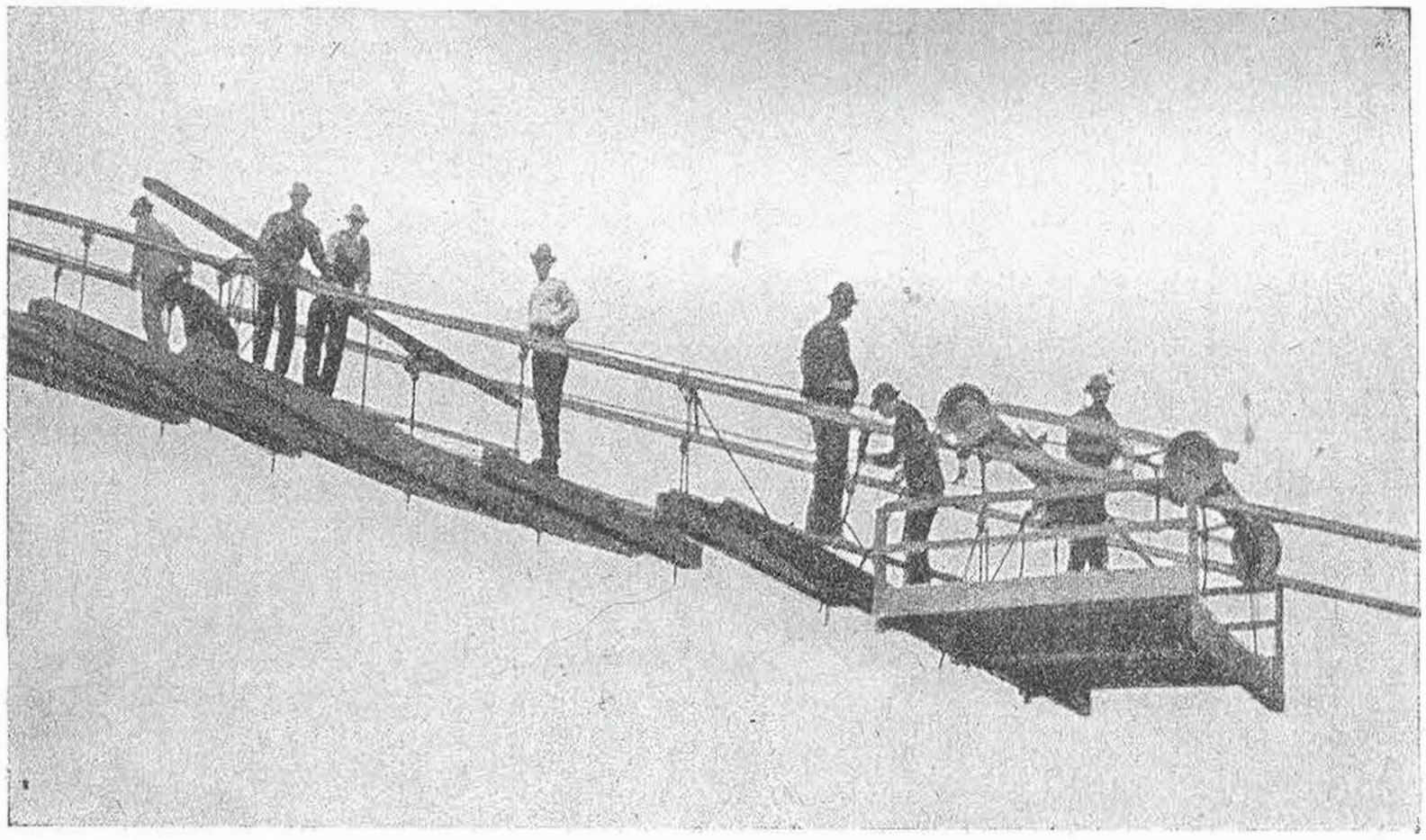


Рис. 453. Укладка настила по рабочему канату.

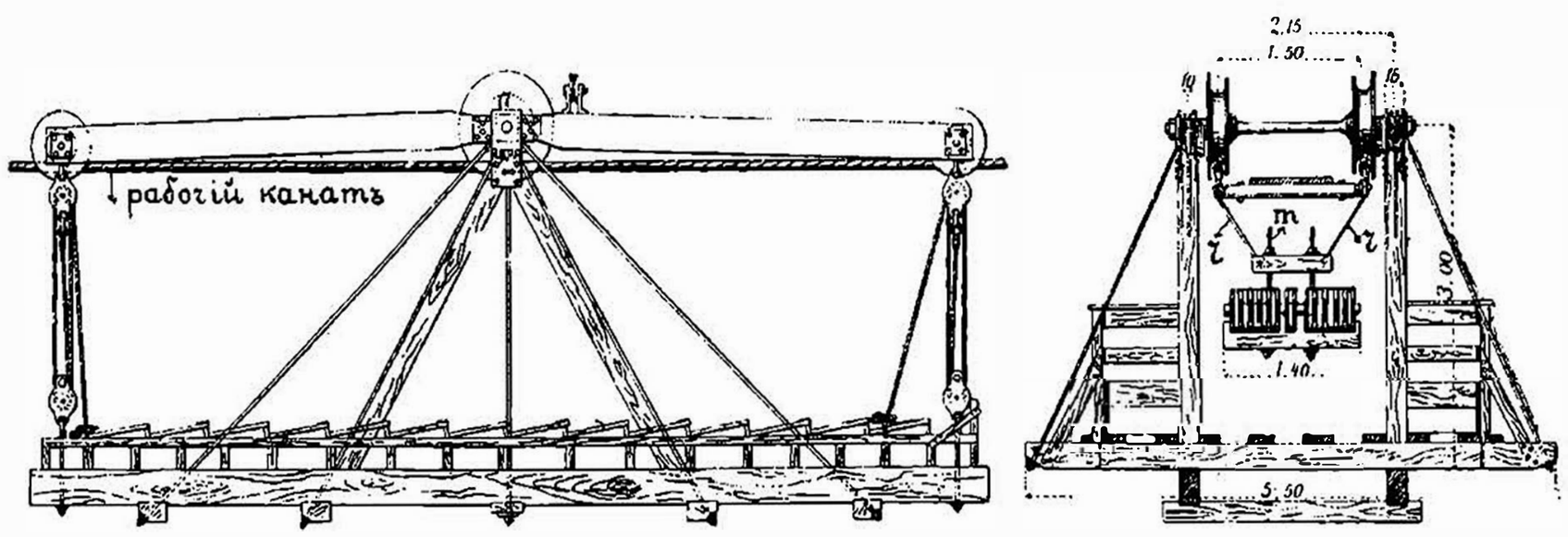


Рис. 454. Подвижная люлька для сборки моста через р. Монангахела.

На рис. 454 показана конструкция тележки, служившей для навешивания звеньев основной цепи моста вдоль каната [1]). Тележка перемещается по канату на шести роликах, связанных между собой рамою с шарнирами у средних роликов. Благодаря шарнирному соединению рамы ролики мо-

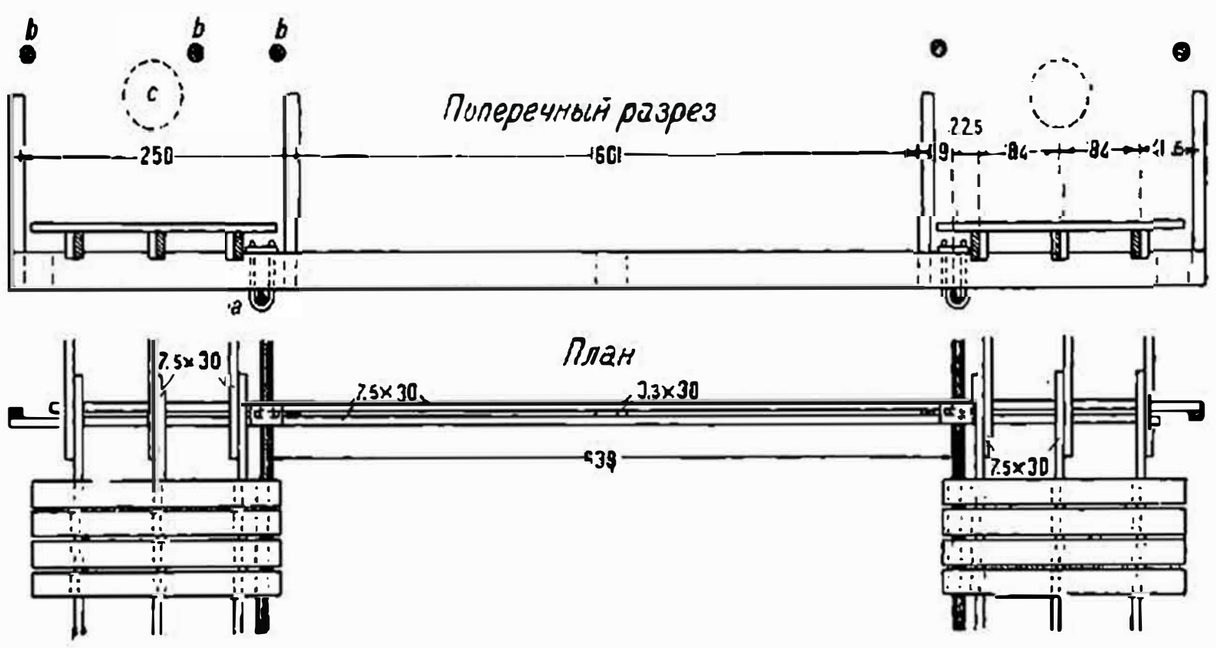


Рис. 455. Сборочный настил на Мангатанском мосту.

[1]) Тележка передвигалась от середины пролета к опорам (рис. 450). Движение ее совершалось натяжением веревки, проходившей от тележки через передаточный блок *k* на верху опоры к лебедке, установленной на берегу. По мере движения тележки к рабочему канату хомутами *r* (рис. 454) подвешивались на болтах *m* отдельные звенья цепи; изменением длины болтов регулировалось положение звеньев.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

гут изменять свое положение один относительно другого, следуя за изгибом каната. Концы пола тележки подвешены к крайним роликам помощью канатов с перемен-

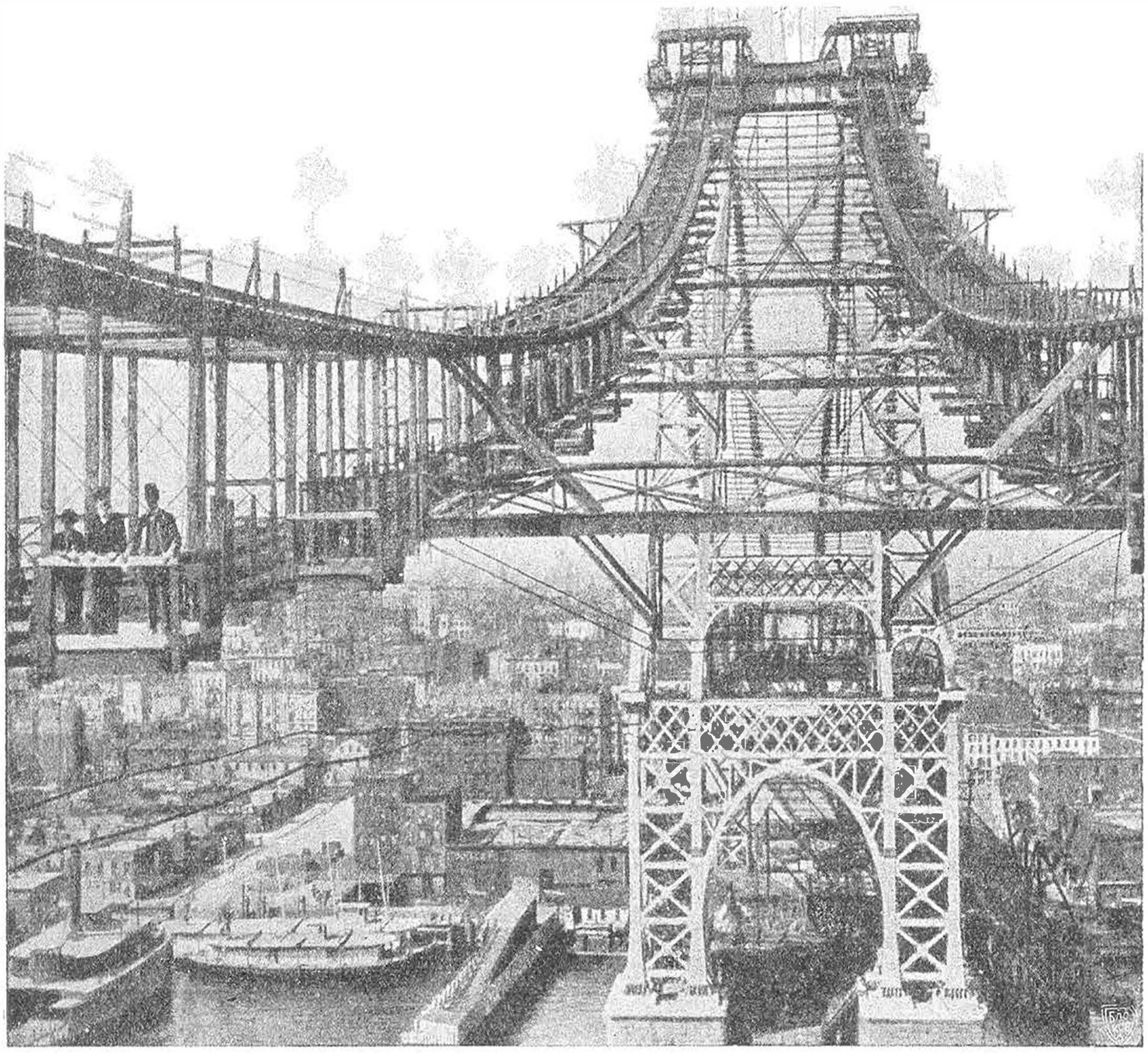


Рис. 456. Подмости для сборки канатов на Вильямбургском мосту.

ной длиной, что дает возможность сохранить всегда горизонтальное положение пола тележки.

Сборочный настил укладывается или непосредственно на рабочие канаты (рис. 455) и скрепляется с ними хомутами *a*, или же он подвешивается к канатам на болтах (рис. 444). По канатам укладываются или к ним подвешиваются поперечные брусья, расстояние между которыми изменяется в пределах от 1,3 до 1,6 *м*. На каждые два поперечные бруска кладутся продольные лежни, по которым делается настилка из досок. Если работы предполагается вести в двух плоскостях, например вязку прядей выше уровня вязки канатов, сборочный настил проектируется в два яруса (рис. 444), из которых нижний настилается описанным способом по рабочему канату, верхний же основывается на нижнем помощью стоек, приведенных во взаимную связь продольными и поперечными диагональными тягами.

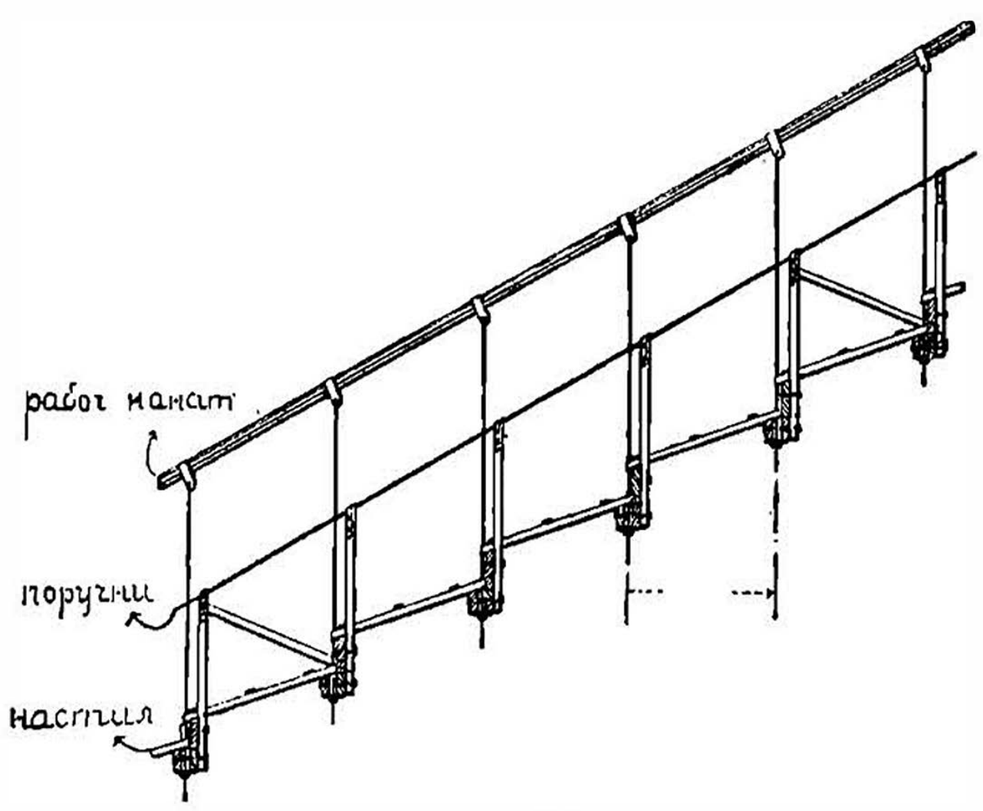


Рис. 457.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Ширина сборочного настила выбирается с таким расчетом, чтобы каждым настилом обслуживалась укладка одного основного каната, так что для каждого моста делается не менее двух настилов (рис. 456). Все сборочные настилы приводятся во взаимную связь рядом поперечных балок или ферм, шарнирно скрепляемых с балками настила, благодаря чему увеличивается боковая жесткость настилов и, вместе с тем, сохраняется свобода их деформаций. В предупреждение развития боковых колебаний весь настил в нескольких пунктах расчаливается канатами.

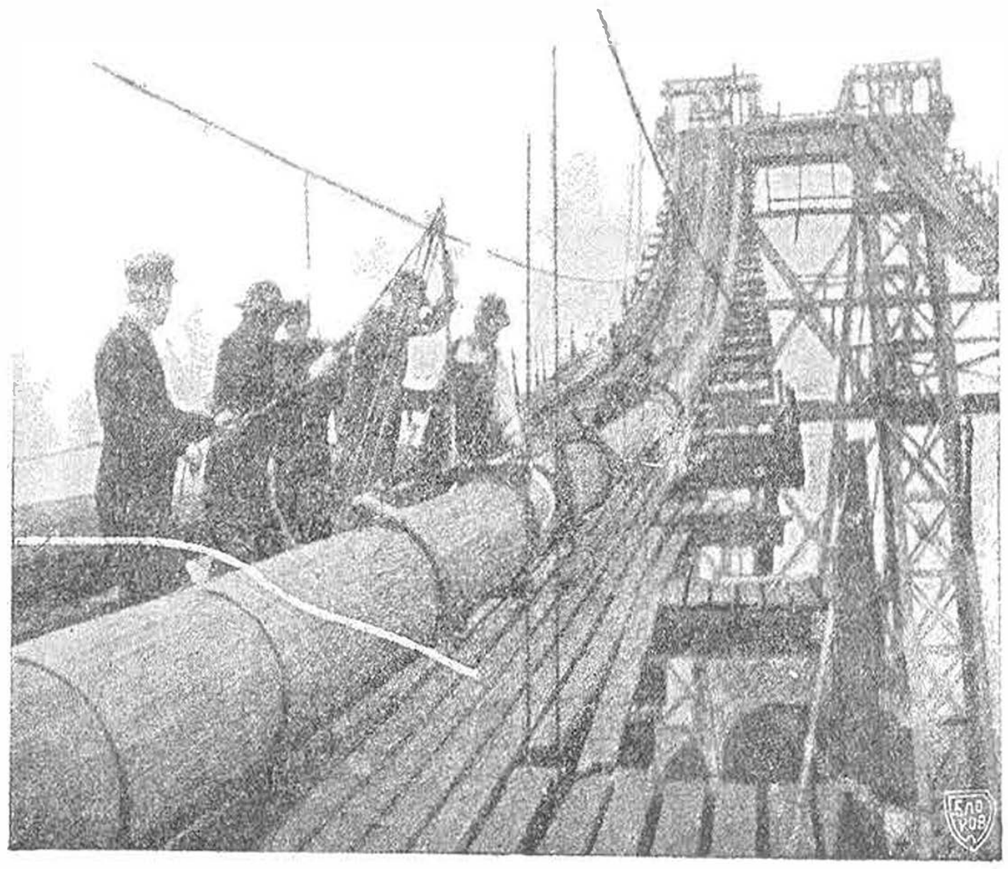


Рис. 458. Вязка канатов на Вильямбурском мосту.

В местах с крутым подъемом канатов подъем настила смягчается приданием ему ступенчатой формы (рис. 457), для чего поперечные брусья настила проектируются составными из двух брусьев: высокого и низкого, которые последовательно перекрываются досками.

Вязка основных канатов. Приготовленные вышеописанным способом пряди служат для изготовления основных канатов. Часть прядей группируется как основа всего каната, остальные пряди располагаются вокруг них. Так, например, при укладке канатов на Мангатанском мосту семь прядей из тридцати

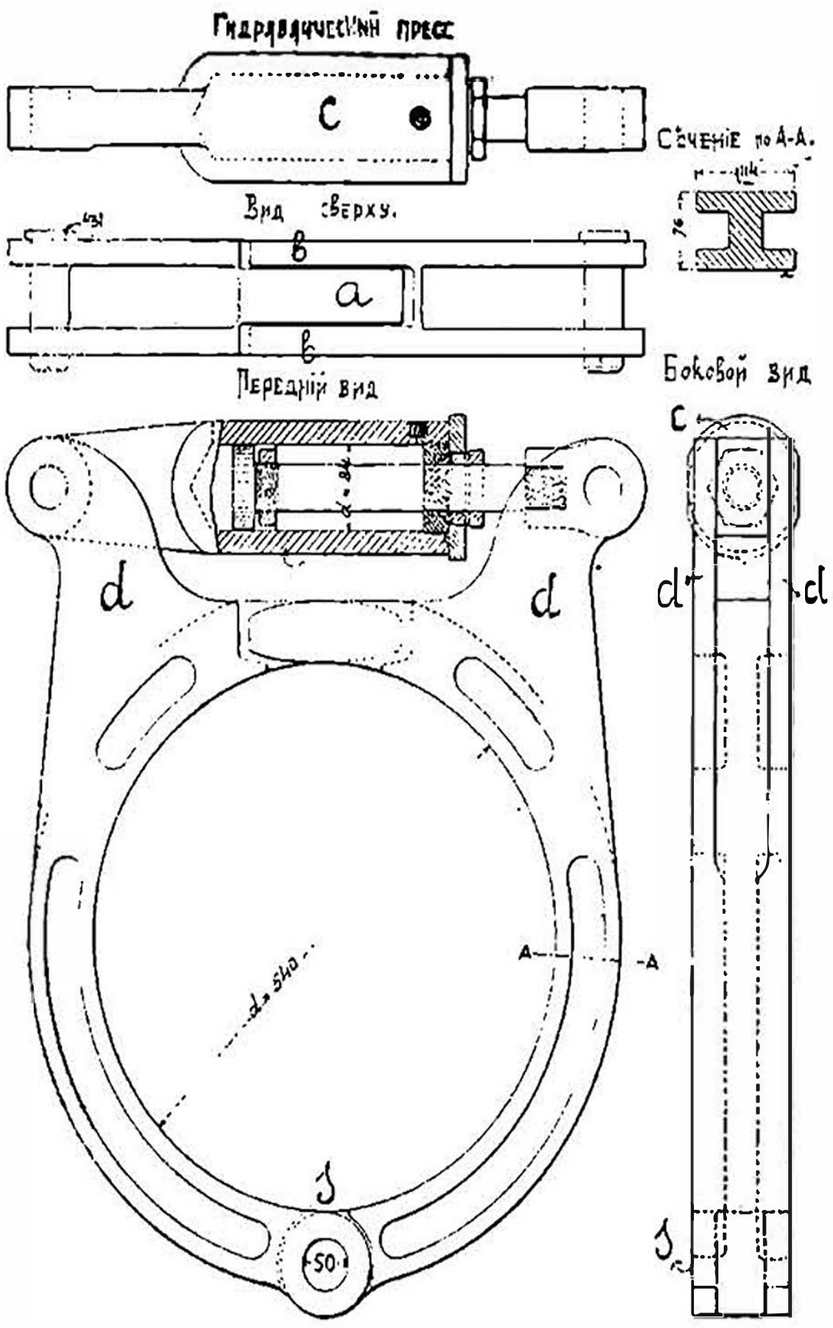


Рис. 459. Сжимы для вязки канатов.

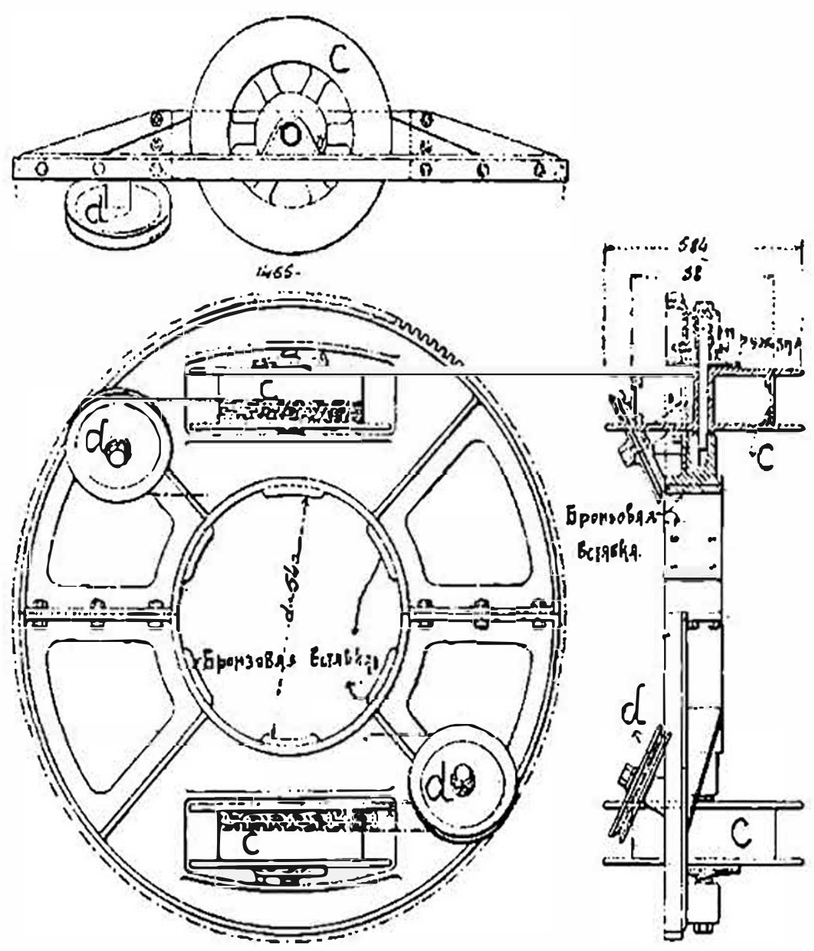


Рис. 459-а. Прибор для производства обмотки канатов на Мангатанском мосту.

семи были положены в основу всего каната, образовав собой цилиндр диаметром 235 *мм*, вокруг которого были расположены остальные 30 прядей [1]). Хомуты на

[1]) Engin. Record, 1909, LX, стр. 116.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

отдельных прядях, не входящих в состав основы каната, снимаются с проволоки всех прядей, охватываются временными обвязками (рис. 458), для чего они предварительно обжимаются вокруг основы каната помощью специальных цилиндрических сжимов (рис. 458). Временные обвязки канатов располагаются примерно на расстоянии от 0,5 до 0,6 *м* одна от другой и делаются из проволоки диаметром в 3—4 *мм*, обвертываемой 10—12 раз вокруг всех проволок.

На рис. 459 показан тип гидравлического сжима для обжатия проволок вокруг основы. Сжим состоит из двух полуколец, связанных в нижнем конце шарниром *S*, в верхнем конце соединяющихся между собой языком *a*, закладываемым между двух пальцев *b*. В верхней части обоих полуколец имеются приливы *d*, между которыми на шарнирах укреплены цилиндр *c* и поршень гидравлического пресса; благодаря шарнирам оси поршня и цилиндра сохраняют параллельность при любом положении полуколец сжимов. Помощью этого пресса обе половинки сжима сводятся между собой и таким образом обжимают проволоки.

Гидравлические прессы сжимов, примененных при укладке канатов Мангатанского моста, приводились в действие ручными насосами, развивавшими давление

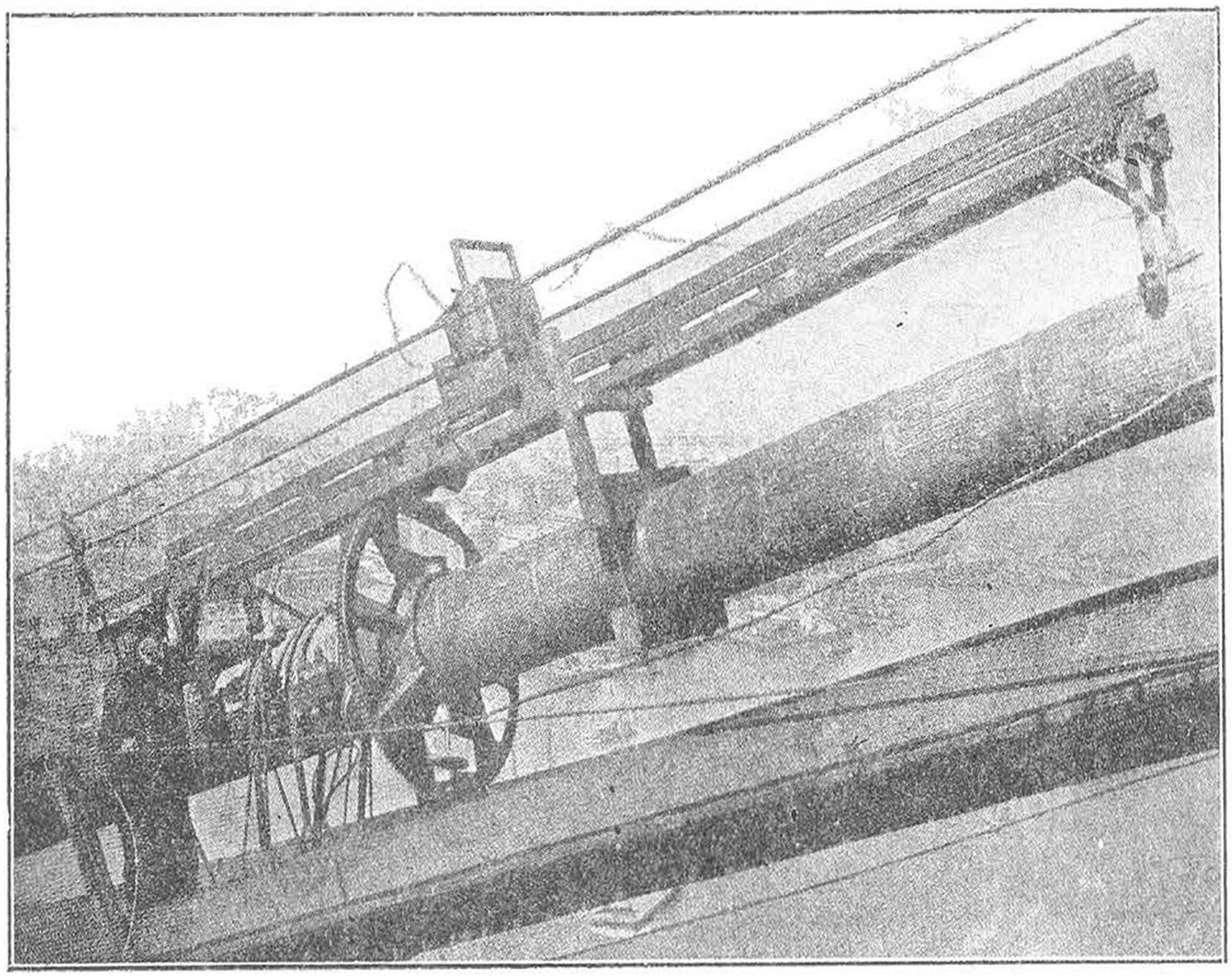


Рис. 460. Производство обмотки канатов.

в 350 *кг/см*^{2}. Помощью 16 таких сжимов четыре каната этого моста, длиной каждый около 973 *м*, были обвязаны в течение нескольких недель.

По окончании вязки канатов на них устанавливаются подушки для подвесок, и сам канат по всей длине обматывается проволокой.

Предварительно на месте обмотки часть сжимов снимается, проволоки очищаются от грязи и обмазываются свинцовой мастикой на глубину, доступную прониканию щеток, после чего весь канат обматывается гальванизированной проволокой, диаметром от 4 до 5 *мм*. Обматывание производится помощью специальных приборов (рис. 460), производящих не только обмотку, но и автоматически перемещающихся по канату.

При постройке Мангатанского моста для намотки проволоки были применены приборы, приводившиеся в движение электрическими моторами. Сам прибор (рис. 459-а) состоит из двух стальных полуцилиндров, охватывающих канат и сбалчиваемых между собой. В средней части обоих полуцилиндров сделаны отверстия, в которых поме-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

щаются барабаны *c* с навитой на них проволокой. Конец проволоки с барабанов пропускается через блоки *d* и направляется к канату. Полуцилиндры по своему периметру снабжены зубьями и приводятся во вращательное движение шестерней электрического мотора. При вращении полуцилиндров проволока навивается на канат и по мере навивания продвигает прибор по канату.

В течение одной минуты прибор делал в среднем 10 оборотов вокруг каната и укладывал в среднем 20 рядов проволок. На обмотку каната, протяжением от 5,5 до 6,0 *м* между двумя подушками подвесок, требовалось 58 минут [1]). Каждый прибор обслуживался шестью рабочими.

Сборка подвесной части. Процессом укладки каната заканчивается первый период сборки и начинается сборка подвесной части моста. Для сборки подвесной части пролетного строения используют методы навесных сборок. Сама по себе подвесная часть моста недостаточно жестка, чтобы выдержать собственный вес, ввиду чего сборка ее ведется при посредстве подвешивания ее к основному канату, для чего служат проектные подвески моста. Сборка производится кранами, своей конструкцией ничем не отличающимися от описанных в § 42.

Хотя процесс работы по сборке подвесной части вполне сходен с обычными методами навесных сборок (§ 41), но при производстве ее необходимо считаться с условиями работы каната, нагрузка на который возрастает в течение всей сборки. При неравномерной, односторонней нагрузке канаты моста будут изменять не только стрелу прогиба, но и форму своего продольного очертания, что нерационально. Во избежание этого загружение каната должно производиться постепенно, более или менее равномерно по всей длине и при этом вполне симметрично (рис. 461);

Рис. 461. Сборка проезжей части на Делаварском мосту

с этой целью сборка ведется или с середины к концам (рис. 462) или, что чаще, с обоих концов, и работа обоих кранов вполне согласуется (рис. 461). Так как достигнуть равномерного загружения канатов сразу нельзя то при первом ходе кранов рекомендуется собирать и подвешивать к ним только часть ферм жесткости и проезжей части, которые необходимы для прохода кранов, и уже после смычки в середине пролета производить дальнейшую сборку, причем последующая постановка частей на место опять-таки производится не сразу, а в несколько приемов, продвигая сборочные краны по нескольку раз вдоль моста.

Так, например, сборка подвесной части Вильямбурского моста производилась по следующей программе [2]): при первом движении кранов от опор к середине должна была быть собрана проезжая часть весом 1,365 *m*. При обратном движении должна быть установлена консольная проезжая часть для экипажной езды, весом 606 *m*. При втором движении от опор к середине должна была быть сделана развозка материала по пролету. При обратном движении должны были быть поставлены на место решетка и верхние пояса ферм жесткости, весом до 1,127 *m*. При третьем движении от опор к середине должна была быть окончена сборка всего пролетного строения и поставлено до 1,679 *m*.

---

[1]) Engineer. Record, 1909, LX, стр. 117.
[2]) Engin., 1905 г., стр. 788—789.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Несмотря на принимаемые меры к возможно равномерному загружению каната при последовательном ходе сборки, он сильно деформируется, о чем можно судить по схемам рис. 463, на котором показаны деформации ферм жесткости в различные моменты сборки на Делаварском мосту в Америке. Наличие этих деформаций не позволяет делать одновременно со сборкой наводку стыковых соединений, что составляет характерную особенность сборки канатных мостов.

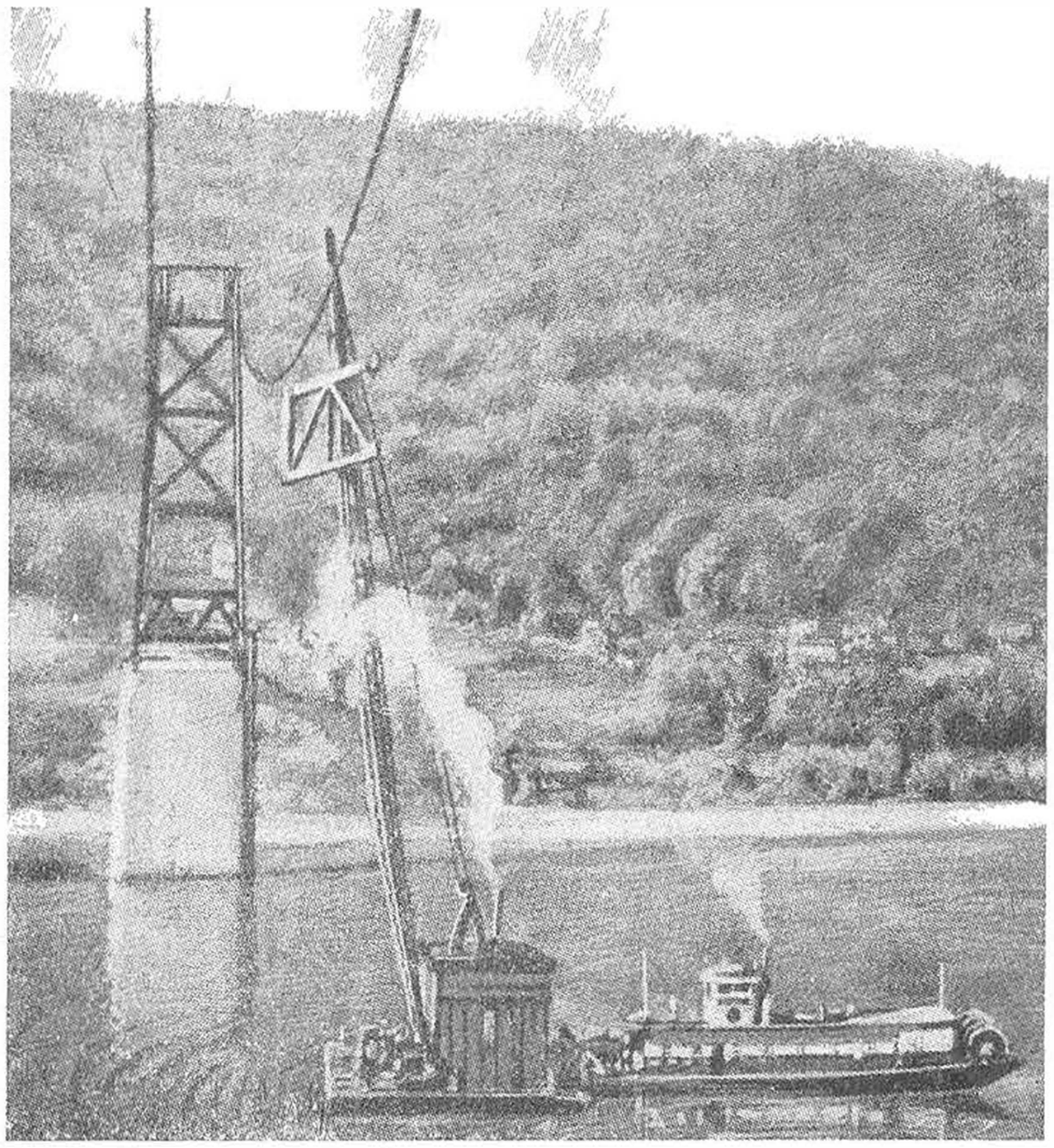


Рис. 462. Подвеска ферм жесткости на мосту через р. Охио.

Для того, чтобы достигнуть сведения стыковых соединений в поясах ферм жесткости, прибегают к искусственному загружению их.

Сначала загружают крайние пролеты, что вызывает выгиб их книзу и выгиб среднего пролета кверху (рис. 464, *A*), чему соответствует развитие сжимающих усилий в верхних поясах крайних пролетов и в нижнем поясе среднего пролета. Это позволяет достигнуть сведения стыков в указанных поясах и склепать их.

Затем начинают загружать средний пролет с одного из концов его (рис. 464, *B*), что вызывает волнообразный изгиб средней фермы и сжатие в верхнем поясе вблизи

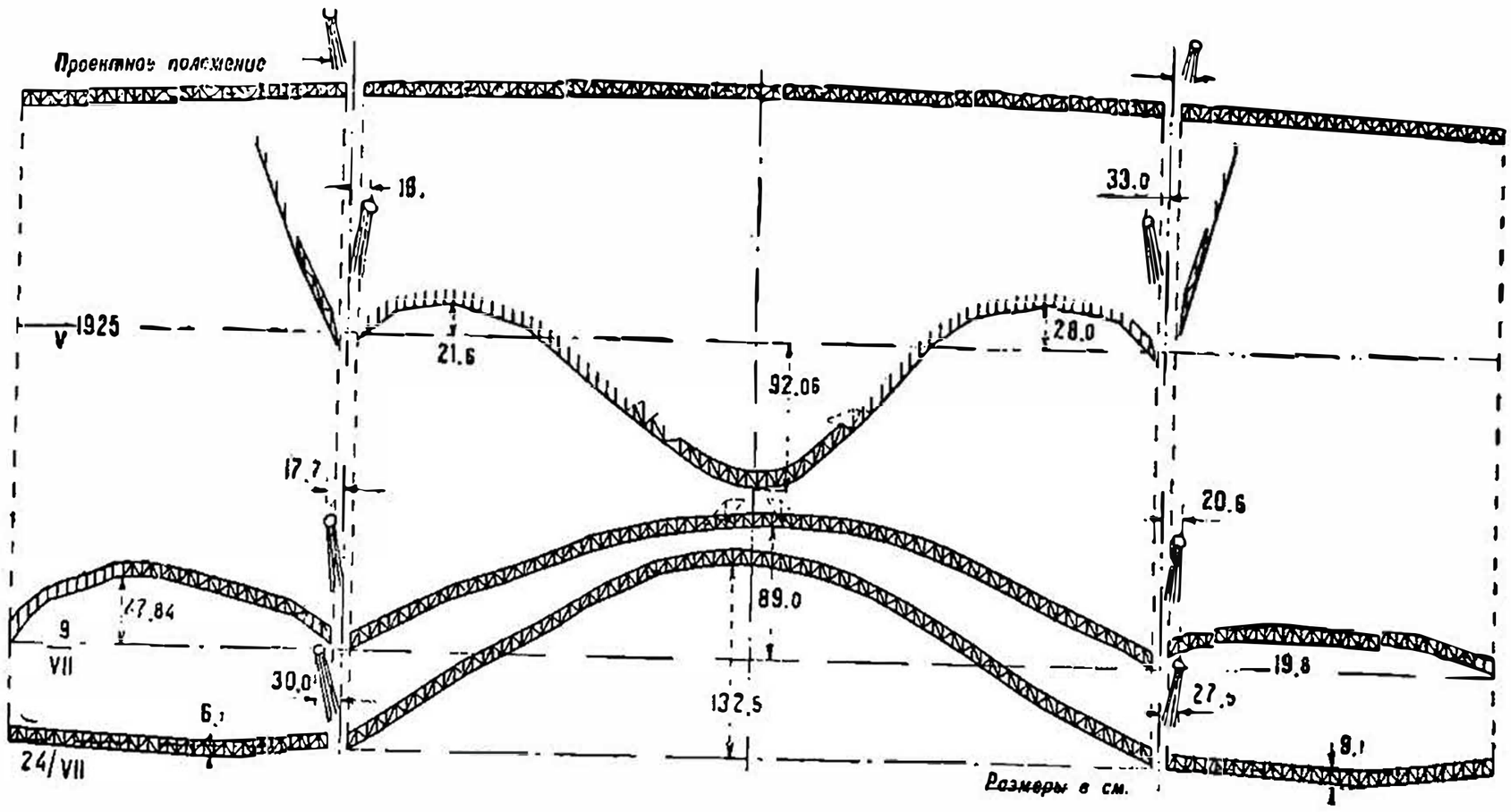


Рис. 463. Схемы последовательности сборки подвесной части на Делаварском мосту.

места загружения, что позволяет делать наводку стыков в этой части пояса. Такое сведение стыков возможно, пока загружение не дойдет до середины пролета, после чего начинается загружение второй половины среднего пролета и сведение стыков

НБ УДУНТ (ДІІТ)

верхнего пояса в ней, причем нагрузку в этой половине приходится делать большего веса, чем в первом.

При загружении среднего пролета происходит разгрузка крайних пролетов, что, сопровождается выгибом их кверху (рис. 464, *C*) и развитием сжимающих усилий в нижнем поясе, что позволяет сделать сведение стыков в нем.

После того как будет закончена наводка стыков в поясах ферм жесткости, и им будет придано очертание до проектной линии, производится наводка стыков раскосов и выклепка всех стыковых соединений в фермах жесткости.

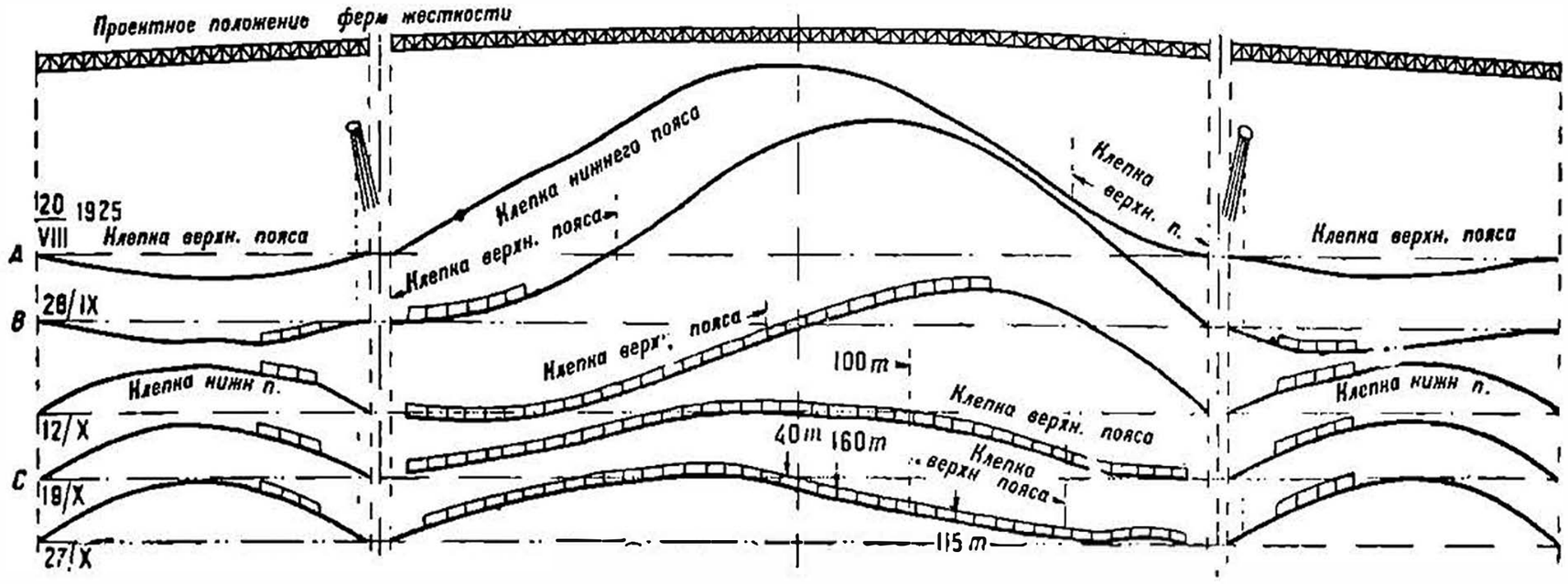


Рис. 464. Порядок выклепки ферм жесткости на Делаварском мосту.

Выклепка стыковых соединений в продольных балках проезжей части производится по окончании клепки главных ферм, чем исключается возможность участия их в работе ферм жесткости от действия постоянной нагрузки.

§ 48. Сборка металлических опор. Существенное отличие сборки металлических опор от сборки пролетных строений заключается в том, что сборка ведется постепенным наращиванием вверх, благодаря чему не представляется возможным заранее разбить ось, по которой можно было бы поверять положение собираемой конструкции. При этом условии правильность положения опоры относительно оси моста и соседних опор в большой степени зависит от точности разбивки фундаментных подушек и правильности заводской пригонки составных частей опоры. Большое влияние на положение опор оказывают неправильности в отметках подошв их, а также неточности сведения стыковых соединений их. Ошибки, делаемые в этом направлении и выражающиеся в миллиметрах, могут вызвать отклонение вершины опоры на величину, выражающуюся уже в сантиметрах. Правильность взаимного положения граней опоры относительно оси ее поверяется во время сборки натяжением диагональных нитей как в горизонтальной, так и в вертикальных плоскостях.

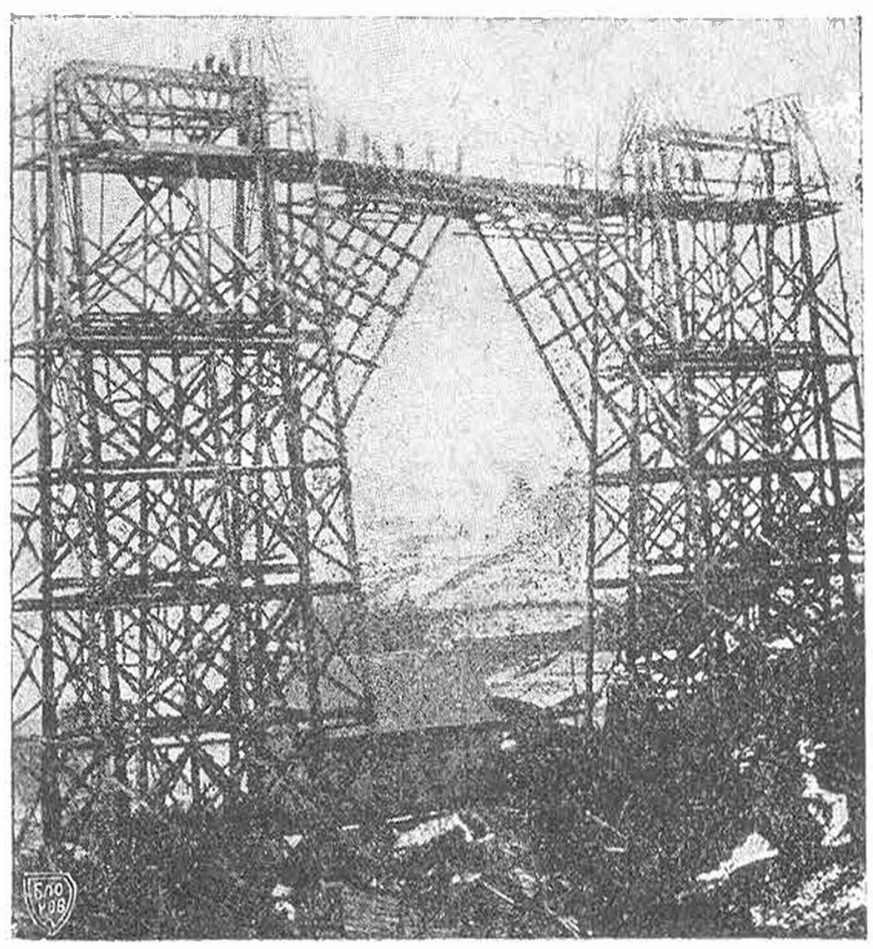


Рис. 465. Сбор опор моста близ Миттвейда.

Характерная особенность сборки металлических опор заключается в том, что они с самого начала сборки не только не нуждаются ни в поддерживающих их подмостях, ни в специальных укреплениях навесных сборок, но даже сами служат для помещения на них сборочных приспособлений: в виде кранов, лебедок и пр.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Подмости для сборки опор применяются в тех случаях, когда устройство их вызывается условиями производства работ, как, например, необходимостью опереть на них подмости для сборки пролетного строения (рис. 465) и т. п. По всей конструкции подмости для сборки ничем не отличаются от описанных в § 23. Они могут быть устраиваемы вокруг опоры (рис. 465) и внутри ее (рис. 466), смотря по удобству работ. Внутренние подмости компанктнее внешних, проще приспособляются для установки сборочных кранов; некоторое неудобство применения их заключается в условиях пересечения их с поперечными связями самой опоры.

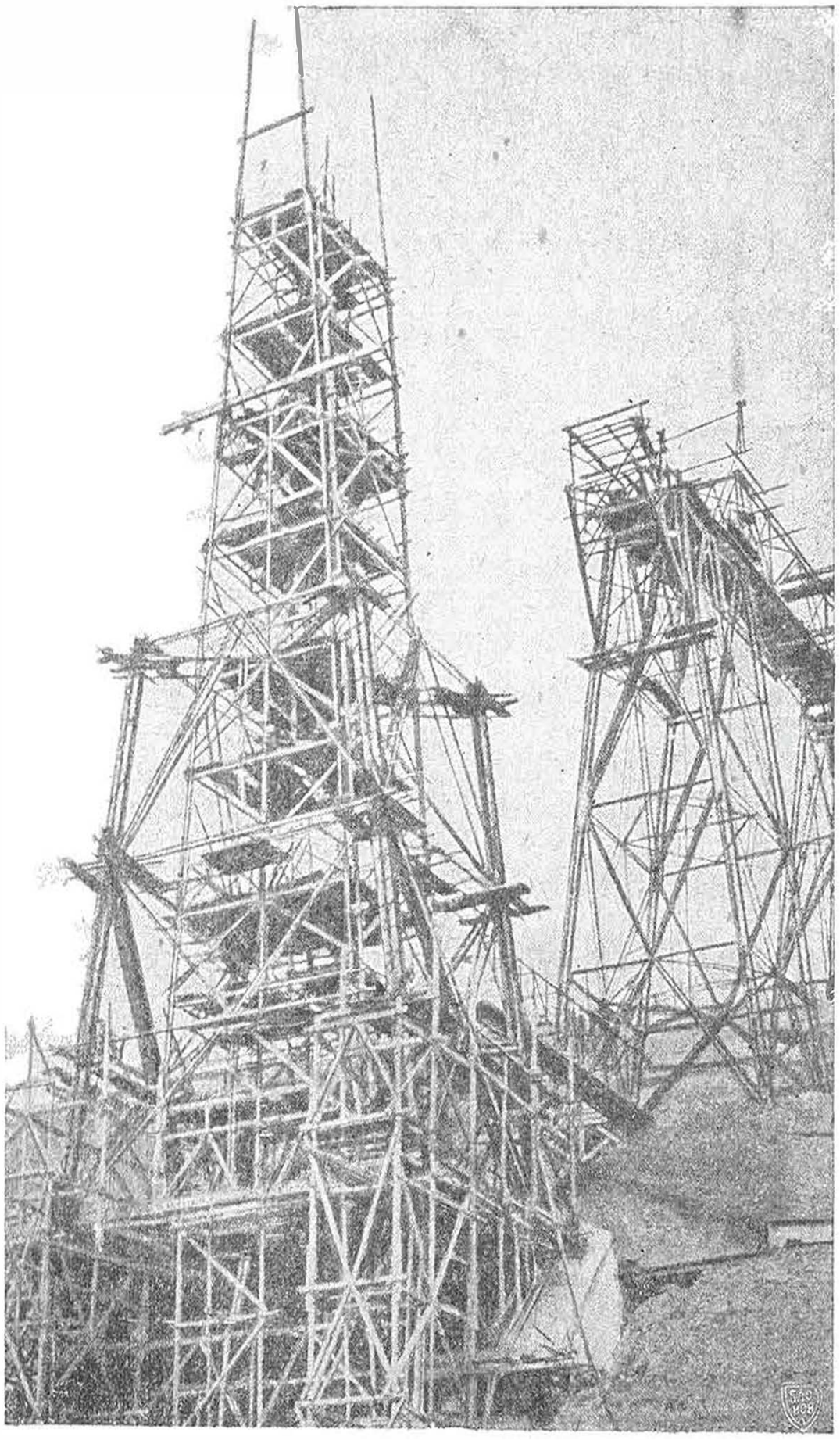


Рис. 466. Сборка опор моста через р. Вуппер.

Сборка опор обычно производится журавлевыми кранами (Деррик, рис. 467). Реже для этого приспособляются консольные краны, вращающиеся вокруг вертикальной оси. Как те, так и другие устанавливают или непосредственно на самой опоре, или на возводимых для сего подмостях.

На рис. 468 показана схема сборки металлической опоры краном, помещающимся в середине ее. Подошва крана укреплена на балках a и b, лежащих на поперечных связях опоры. По окончании сборки каждого из звеньев опоры вверху собранной части делается новая выстилка, куда помощью талей m и n переставляется кран, и производится сборка следующего звена опоры и т. д. Кран имеет вращение вокруг вертикальной оси и может производить сборку со всех сторон вокруг места своей установки.

В Америке для сборки нешарнирных высоких опор, на которых невозможна непосредственная установка кранов, стали применять ползучие журавлевые краны. Нижняя металлическая основа этих кранов представляет собой не что иное, как консоль, которая укрепляется или на стойках самой опоры (рис. 470), или на специально для сего устраиваемых направляющих (рис. 469) и удерживается от сползания захватами или подушками. Эти консоли устанавливаются на опору после того, как нижняя часть ее уже собрана кранами, работающими с уровня фундамента (рис. 470). Кранами, помещающимися на этой консольной основе, производится сборка последующей части опоры, по окончании которой закрепления, удерживающие консоль, ослабляются, и она вместе с краном при помощи особых полиспастов или талей продвигается вверх, где вновь укрепляется и дает возможность производить последующую сборку вышележащей части.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Подобного рода кран был применен для сборки колонн опор Мангатанского моста (рис. 471). Он имел вращающуюся деревянную стойку длиной, 9,1 *м* с укрепленной к ней металлической стрелкой длиной 13,7 *м*, рассчитанной на усилие 85 *т*; верхний конец стрелы соединялся со стойкой крана полиспастом; подъемка груза стрелой и изменение выноса стрелы крана обслуживалось машинными лебедками, установленными у подошвы колонн. Весь кран помещался на особой платформе и был связан с ней на

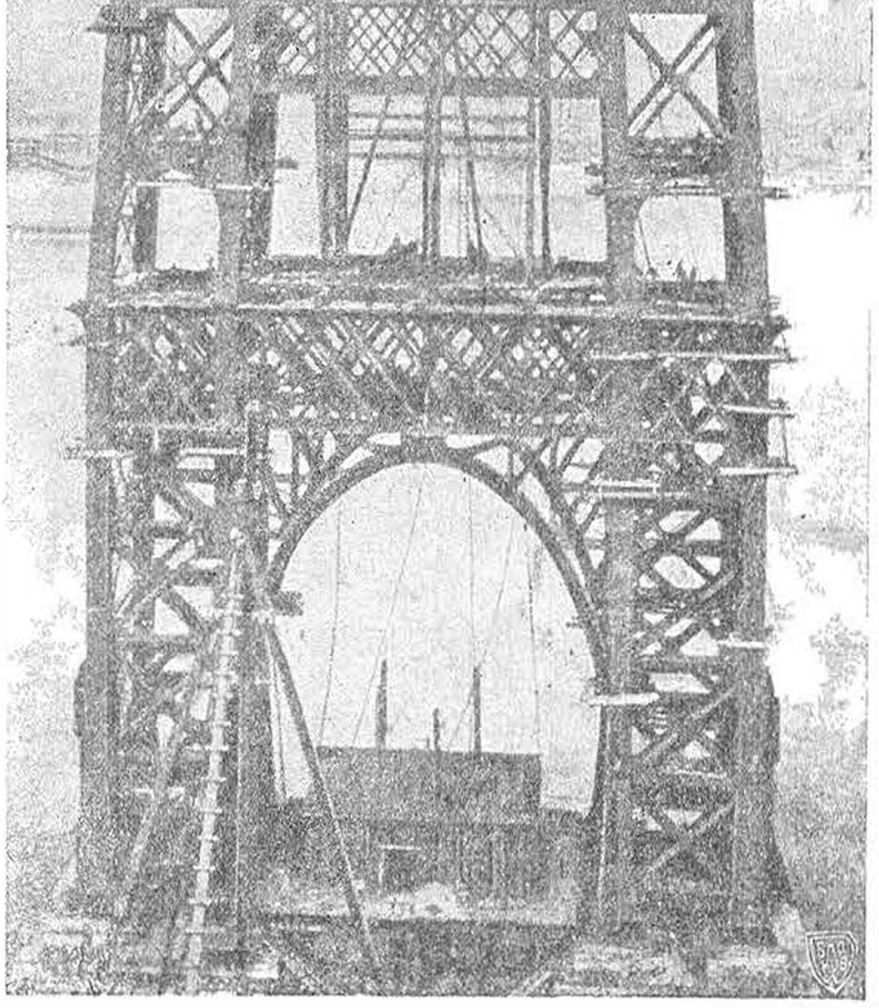


Рис. 467. Сборка опор Вилльямбурского моста.

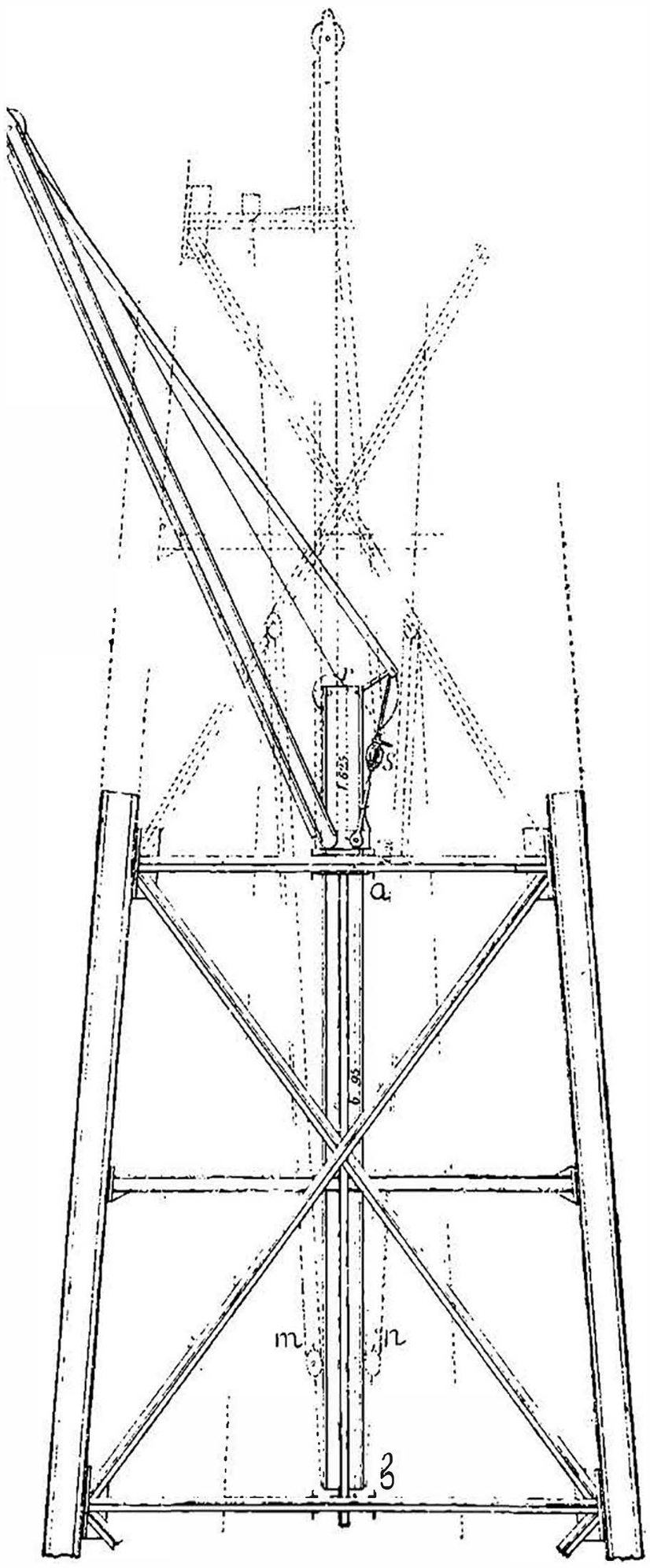


Рис. 468. Журавлевый вращающийся кран для сборки опор.

своем заднем конце шарнирным устройством *A*. Платформа, поддерживающая кран, была склепана из металлических профилей, имела ширину около 6 *м* и длину около 11 *м*. В общем она имела форму треугольной призмы, которая удерживалась от опрокидывания в верхнем конце направляющими брусьями *B*, а в нижнем конце упором *C* в колонну; в обоих этих местах она плотно закреплялась на время производства работ краном.

Передвижка платформы с краном вдоль по колоннам обеспечивалась рамками *R* (диаметром 20 *мм*), помещавшимися в нижних концах стоек основной рамы платформы; эти ролики имели движение по направляющим, укреплявшимся к колоннам опоры верхнего конца рамы в процессе ее движения обеспечивалось выступающими концами балок *B*, скользившими вдоль уже

НБ УДУНТ (ДІІТ)

установленной части колонны. Подъемка платформы с краном производилась при помощи двух талей F, верхний конец которых укреплялся к верхушкам собранных частей колонн, а нижний к нижним концам рамы платформы; тали работали при помощи лебедок W, обслуживавших работу всего крана. После подъемки на требуемую высоту рама платформы плотно закреплялась к колонне в точке C и болтами $d = 23$ *мм* к фасонным листам колонны. Кран же, кроме того, расчаливался канатами $d = 28$ *мм* к верхушкам колонн.

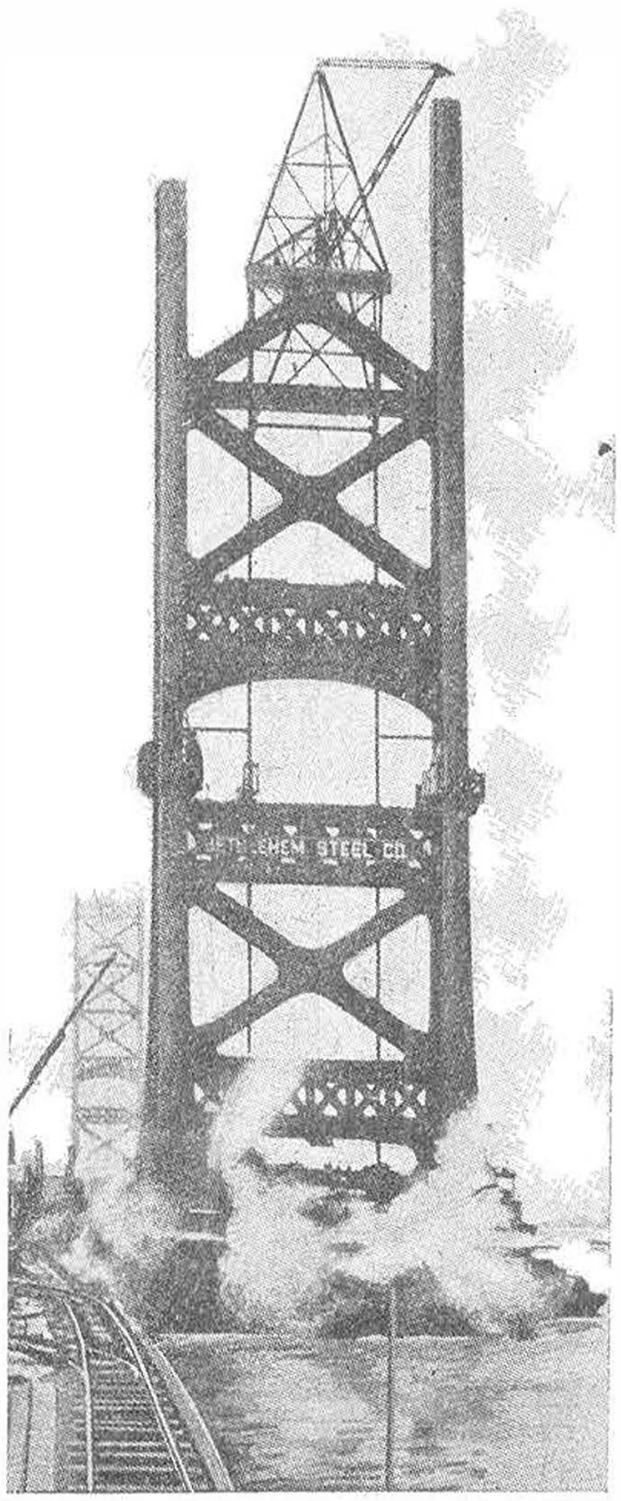


Рис. 469. Сборка ползучим краном опор Делаварского моста.

Весь кран с платформой весил около 59 *т*; подъемка их на высоту $7^1/_2$ *м* производилась в течение 2—3 минут.

О производительности такого устройства можно судить по тому, что в течение 16 дней февраля месяца было собрано 1 800 *т* металла.

Выклепка колонн производилась с особых переносных подмостей, укреплявшихся к колоннам болтами, пропускавшимися в свободные заклепочные отверстия.

Для сборки металлических опор с успехом применяются также методы навесных сборок, производимых журавлевыми или консольными кранами, имеющими движение по пролетным строениям, укладываемым на эти опоры.

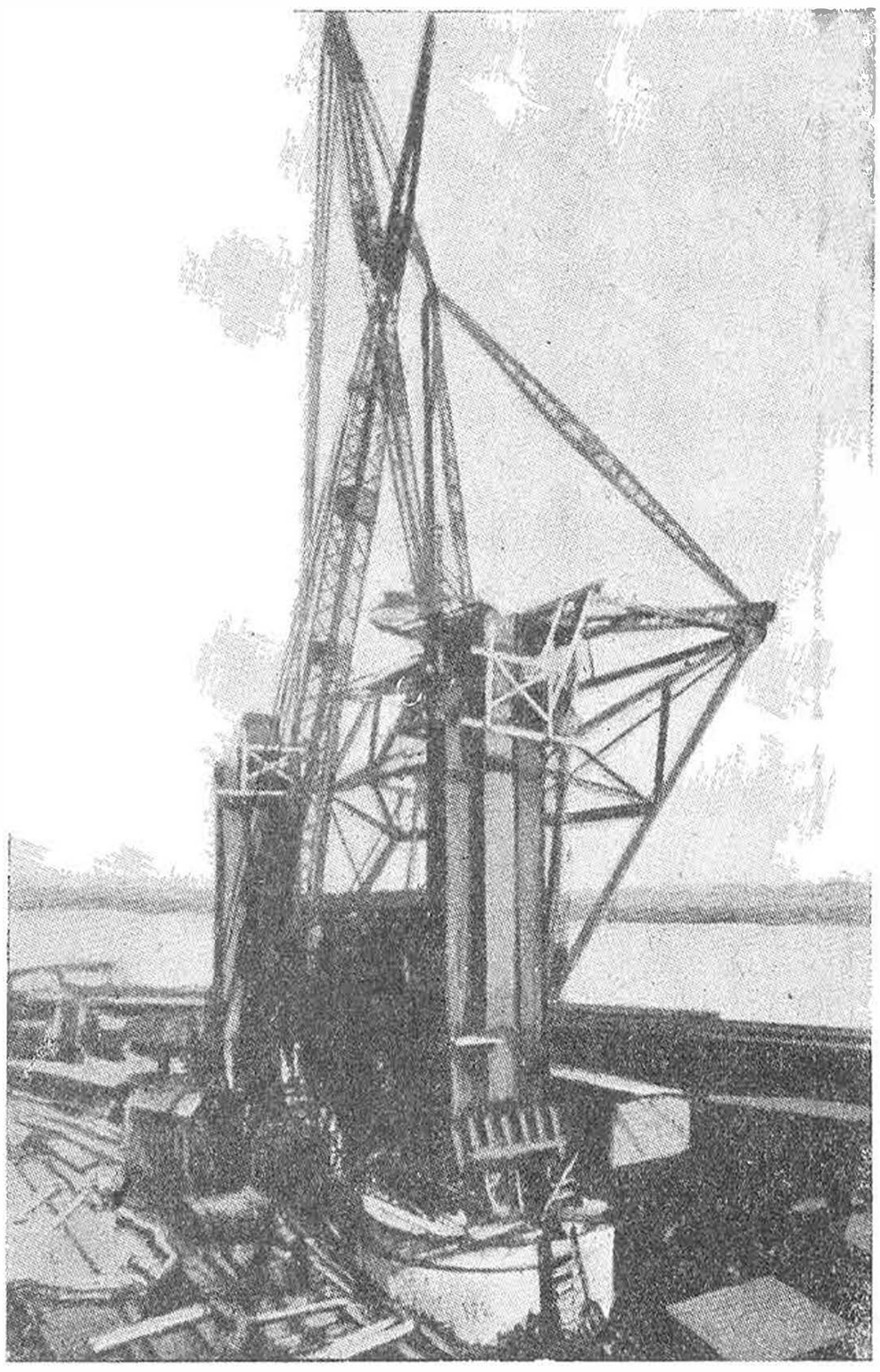


Рис. 470.

На рис. 472 показано производство сборки металлической опоры с краном, установленным на неразрезных фермах пролетного строения, выдвинутого вперед и усиленного дополнительными тягами.

На рис. 473 показан другой вид такой сборки, производившейся с пролетных строений, приведенных к виду консольных путем соединения верхних концов разрезных пролетных строений стяжными хомутами и закладкой металлических листов между торцами нижних поясов. Опрокидывающее действие крана на свешивающемся

НБ УДУНТ (ДІІТ)

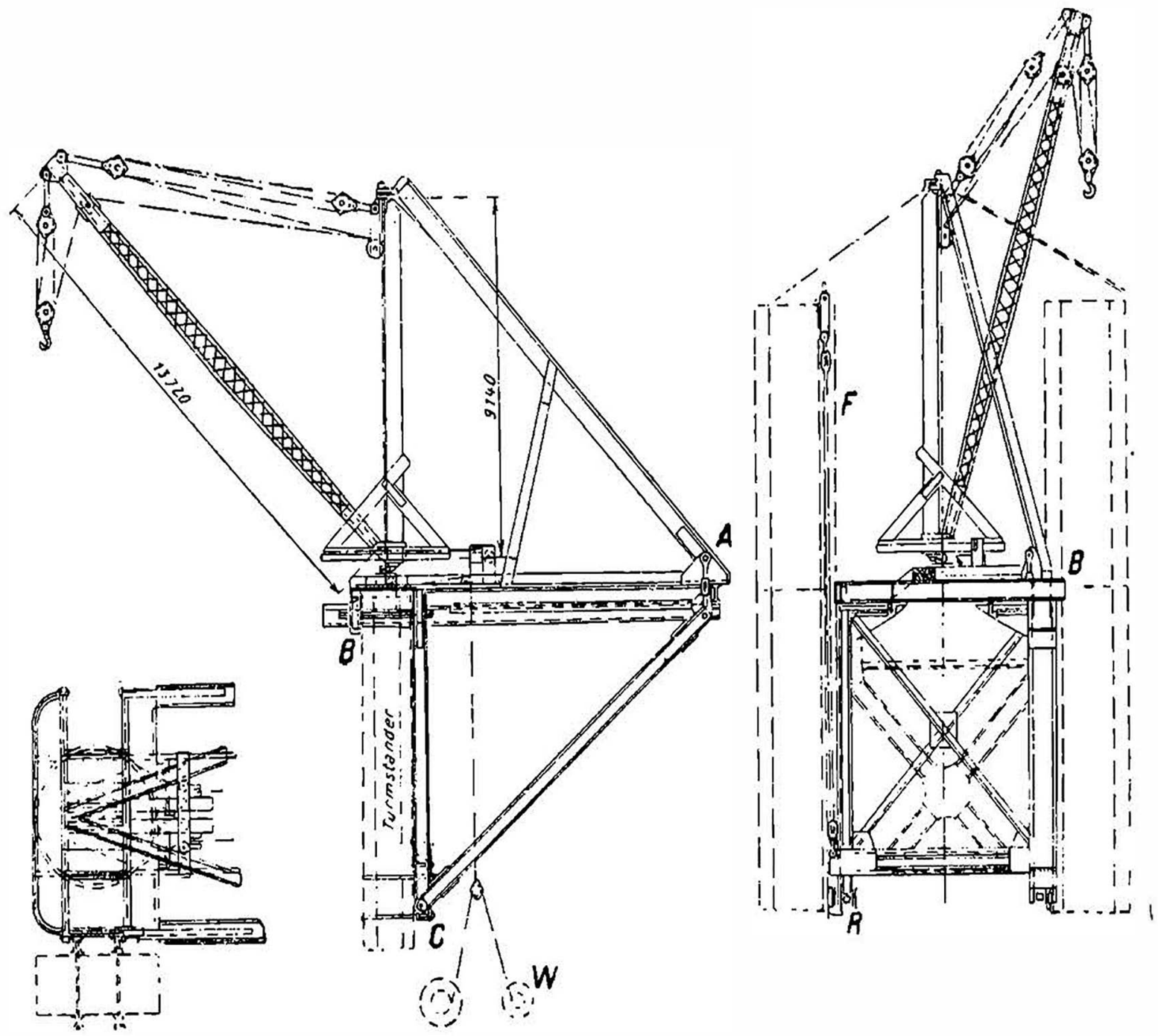


Рис. 471. Ползучий кран для сборки металлических опор.

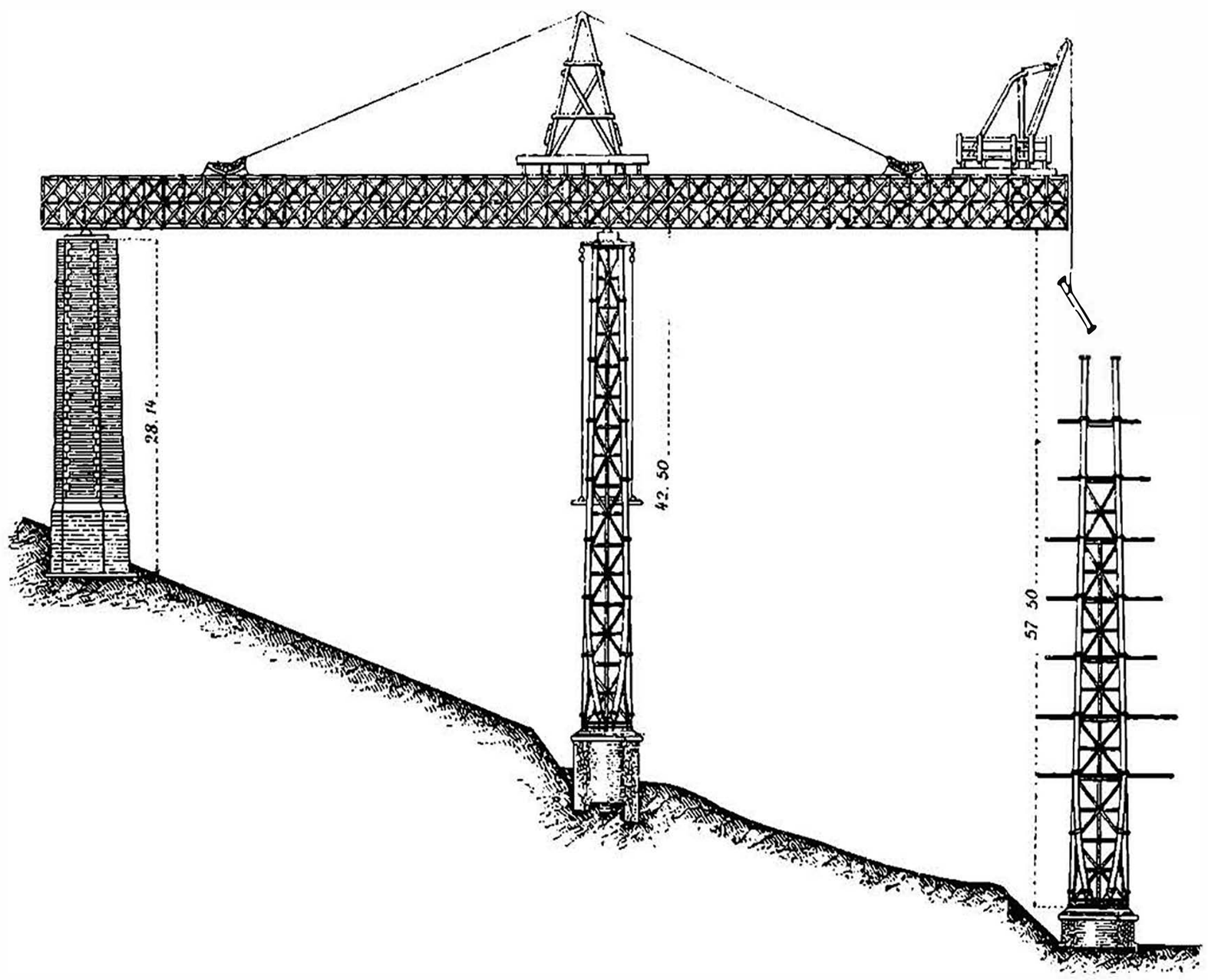


Рис. 472. Сборка опор виадука Бубль.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

конце уравновешивалось загрузкой P первого от устоя пролета рельсами. Для поддержания второго пролета была сделана временная опора.

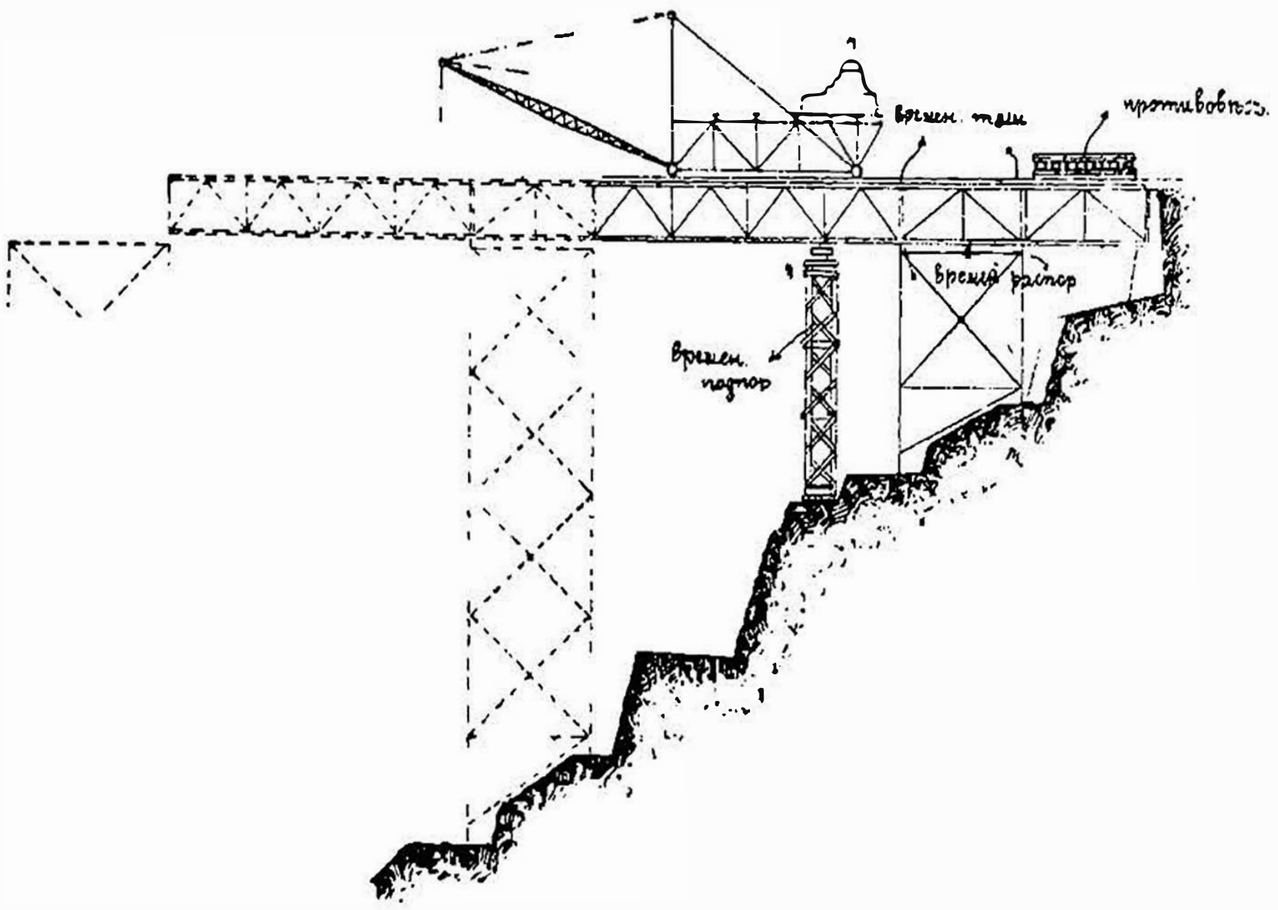


Рис. 473. Сборка опор виадука Лас-Вакас.

На рис. 474 показано производство навесной сборки металлических опор при помощи консольных кранов с большим вылетом, служащим для одновременной установки на них пролетных строений.

Можно отметить, что, благодаря сокращению времени, затрачиваемого на установку подмостей, а также благодаря большой подъемной силе кранов, дающей возможность заканчивать большую часть работы на заводе и устанавливать на место тяжелые склепанные части, работа по сборке виадуков с металлическими опорами

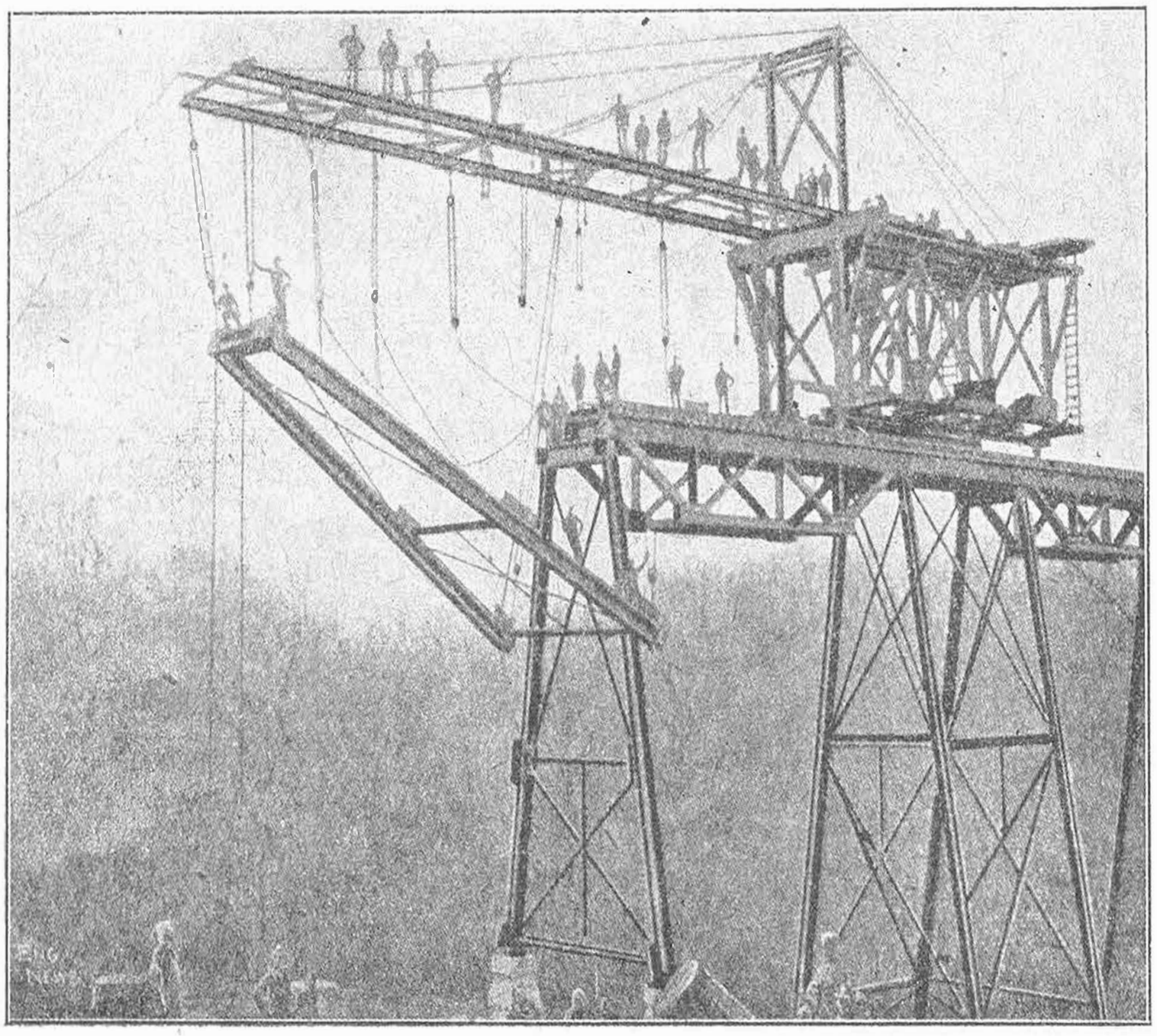


Рис. 474. Установка опор виадука Салин.

на месте сводится до минимума. Характеристикой времени, затрачиваемого при этих условиях на сборку виадуков, может служить таблица 20.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ТАБЛИЦА 20.

Наименование виадука	Общая длина *м*	Опоры: Число их	Опоры: Наибольшая высота *м*	Общий вес виадука *т*	Сборочные краны: Описание	Сборочные краны: Вылет *м*	Сборочные краны: Подъемная сила *т*	Продолжительность сборки
Виадук на линии New-York—Hartfort .	411	—	—	1 000	2 журавлев. крана.	—	30	7 дней
Виадук на реке Кау-Крик	435	12	26	—	»	—	30	18
Виадук в Ричленде	675	18	48	3 000	2 консольн. крана с 2 блоками.	54	20	50
Виадук в Техасе	662	23	97	1 660	Консольный кран.	37,4	9	Вост. 49 дней зап.—37 »
Виадук в Огейо на р. Майнес	213	39	24	907	2 журавлев. крана.	26,5	20	23 дня
Виадук Run-Ravine.	260	—	38	500	Один консол. дерик	—	30	21

§ 49. Замена существующих пролетных строений новыми. Вопрос о замене существующих пролетных строений новыми всегда связан с вопросом о производстве этой работы без нарушения движения. Этим положением в значительной степени ограничивается выбор способа производства всей работы. Хотя из практики известны случаи, когда сборка новых пролетных строений производилась на месте, т. е. на оси моста, с сохранением одновременного движения по старому мосту [1]), но такой способ производства работ всегда связан с большими осложнениями в процессе самого производства работ, заставляет соответственно приспособлять проектировку нового пролетного строения и значительно удорожает стоимость всей постройки; поэтому такой прием производства замены по возможности избегается, но он становится почти неизбежным там, где по местным условиям приходится производить навесную сборку. В обычных условиях работы по замене существующих пролетных строений новыми планируются с таким расчетом, чтобы произвести всю продолжительную работу по сборке пролетного строения изолированно от движения по старому пролетному строению, и только самую замену, т. е. устранение старого пролетного строения и введение на место него нового пролетного строения, произвести в течение перерыва движения, который можно сделать на мосту.

Этими исходными положениями непосредственно ограничиваются способы производства работ, которые возможны в следующих вариантах.

1. Новое пролетное строение подвозится к месту установки по насыпи и тем или иным способом опускается на место старого пролетного строения, которое одновременно убирается с оси моста.

2. Новое пролетное строение подвозится к месту установки на пловучих опорах и устанавливается на место старого, которое одновременно на других пловучих опорах снимается и отвозится в сторону.

3. Новое пролетное строение собирается с боку старого и путем поперечной надвижки устанавливается на место старого, которое одновременно сдвигается на другую сторону.

4. Новое пролетное строение собирается на месте по оси моста без перерыва движения по старому мосту.

---

[1]) Engin. Record, 1902, X LV, стр. 78; 1905, LI, стр. 649; 1907, LV, стр. 318, Eisenbau, 1913, № 4, стр. 149 и др.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Все виды продольной надвижки отпадают, так как они требуют сравнительно большого времени для производства самой надвижки и для производства подготовительных работ; поэтому эти виды надвигания возможны тогда, когда вопрос о перерыве движения не стоит остро. Если все-таки по каким-либо соображениям применение продольной надвижки становится необходимым, то уборка старого пролетного строения и надвижка нового соединяются между собой, и сама надвижка производится путем использования приемов надвижки неразрезных ферм (см. § 32).

1. Замена с подвозкой по насыпи. Планировка работ в этом случае делается из расчета, что новое пролетное строение будет собрано или на заводе, откуда оно может быть доставлено в целом виде, или, если последнее невозможно по размерам и весу пролетного строения, то сборка будет произведена где-либо вблизи от места работ на особой базе, и оттуда будет подвезено на специальных тележках (см. § 17).

Планировка же самой замены пролетных строений видоизменяется в зависимости от того, имеется ли на мосту однопутное или двухпутное движение, в зависи-

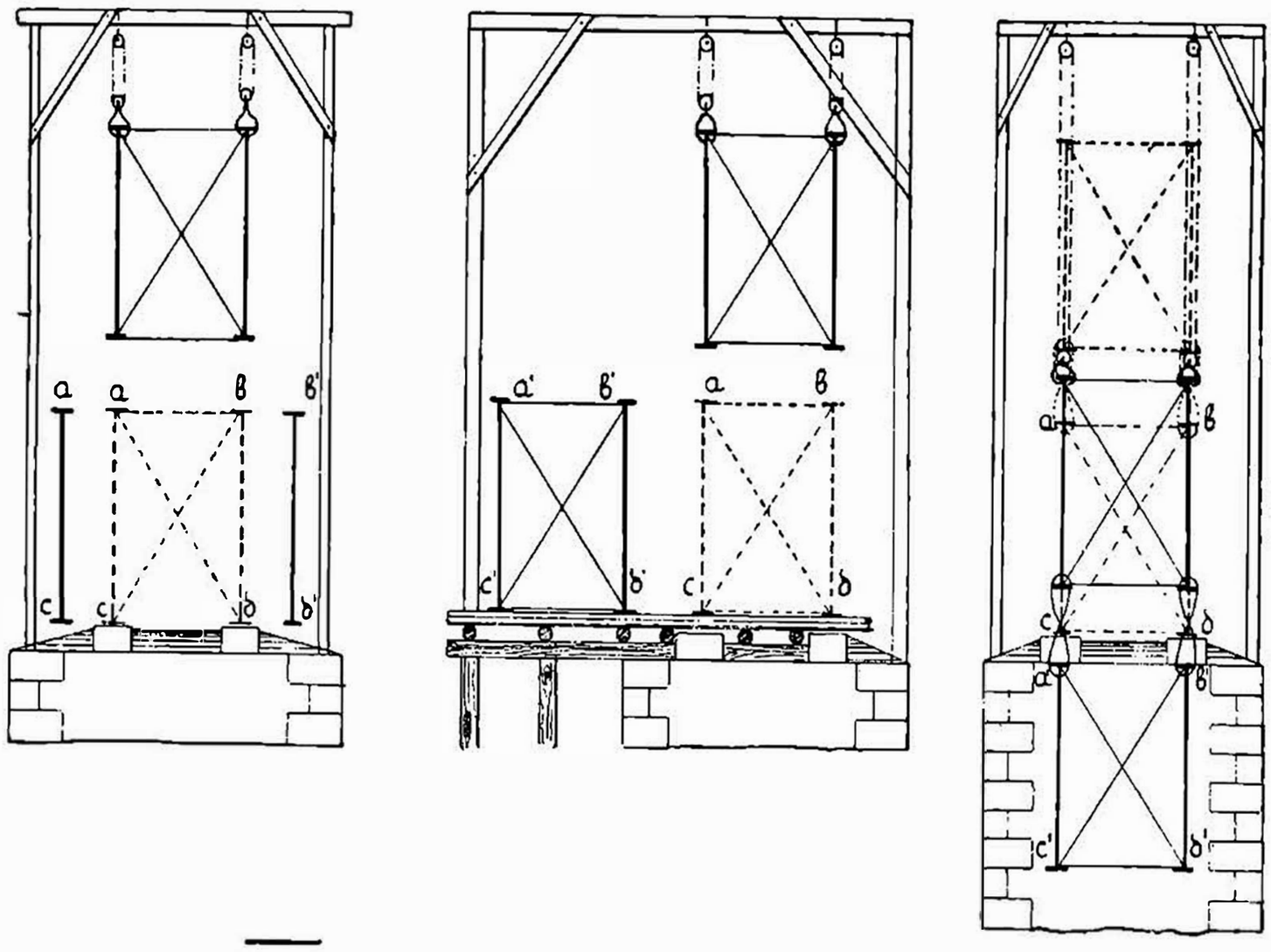


Рис. 475.

мости от величины и веса пролетного строения и, наконец, смотря по тому, производится ли замена деревянного пролетного строения или металлического.

Работа по установке на место нового пролетного строения, подвозимого по насыпи, всегда связана с опусканием его на место старого.

Здесь возможны всякого вида приемы опускания, но если учитывать кратковременность срока возможного перерыва в движении, сводящегося к нескольким часам, в течение которых должна быть сделана разборка пути, уборка старого и установка нового пролетного строения и новая укладка пути, то становится понятным, что применение для опускания пролетного строения клеточной выкладки становится невозможным, как требующее продолжительного времени [1]) (см. § 18).

Более успешный по времени процесс опускания может быть получен при использовании для опускания портальных рам (см. § 18).

Портальные рамы имеют то преимущество, что могут быть установлены на

---

[1]) По данным, приведенным проф. Патоном в книге «Восстановление мостов», 1924 г., стр. 375, смена пролетных строений, длиною около 22 *м*, с опусканием на высоту около 5 *м* и с восстановлением пути, требует перерыва движения на 60 рабочих часов.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

место и подготовлены к производству работы заблаговременно, не стесняя движения на мосту. Самое же опускание и подъемка ими, производимая талями или блочной передачей, выполняется непрерывно, что значительно сокращает время продолжительности работ.

При использовании портальных рам для замены снятие старого пролетного строения с оси моста для установки нового может быть сделано: путем разъединения его на две фермы и раздвигания в обе стороны (рис. 475a); путем сдвига его на сторону (рис. 475b) и путем опускания его вместе с новым пролетным строением в подвешенном состоянии (рис. 475c).

Из указанных способов первый связан с расклепкой и разъединением горизонтальных и поперечных связей, что требует наличия большого числа рабочих. Такая работа была произведена при смене пролетных строений моста через р. Дриссу на Двинско-Витебской ж. д., на котором расклепка 17 поперечных балок потребовала наличия 30 рабочих и заняла 1,5 часа времени [1]).

Этот способ с успехом был применен при смене пролетных строений в Греции [2]). На этих работах были применены переносные металлические рамы (рис. 476), которые при помощи особых балок подвешивались на опоры и в таком виде служили для смены пролетных строений. Новое пролетное строение подвозилось по мосту, подвешивалось на талях к портальным рамам, после чего подвижной состав убирался с моста, что позволяло приступить к разборке старого пролетного строения. Для сокращения времени замены старое пролетное строение заранее подготовлялось к разборке путем расклепки заклепок в связях с заменой их где надо болтами. После разборки поперечной конструкции фермы старого пролетного строения сдвигались при помощи второй пары талей на стороны, где устанавливались на особые балки,

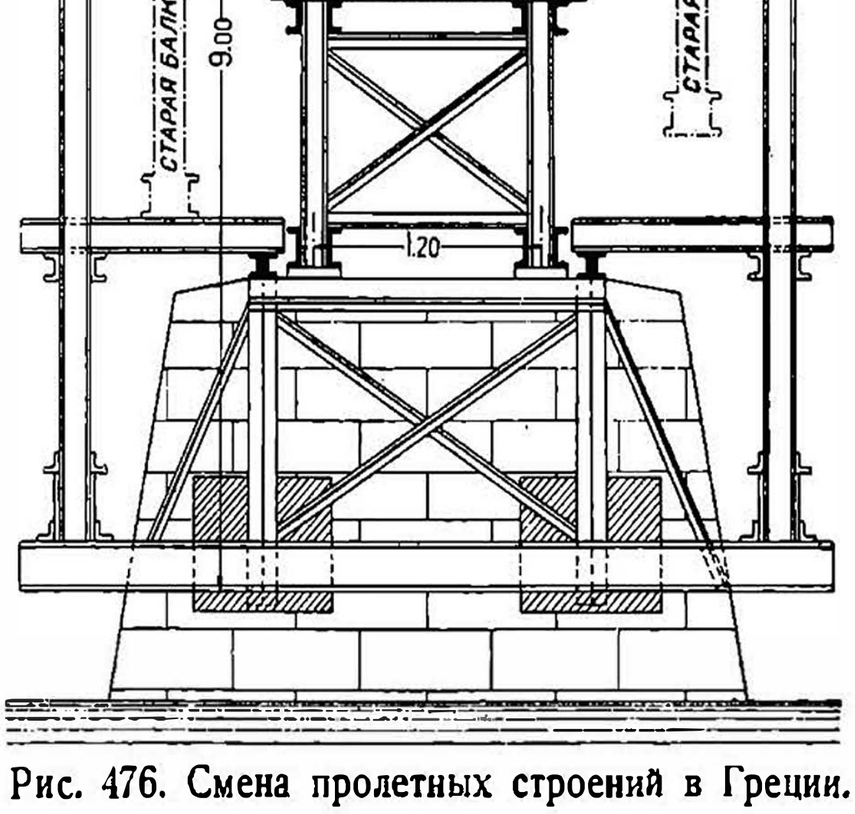


Рис. 476. Смена пролетных строений в Греции.

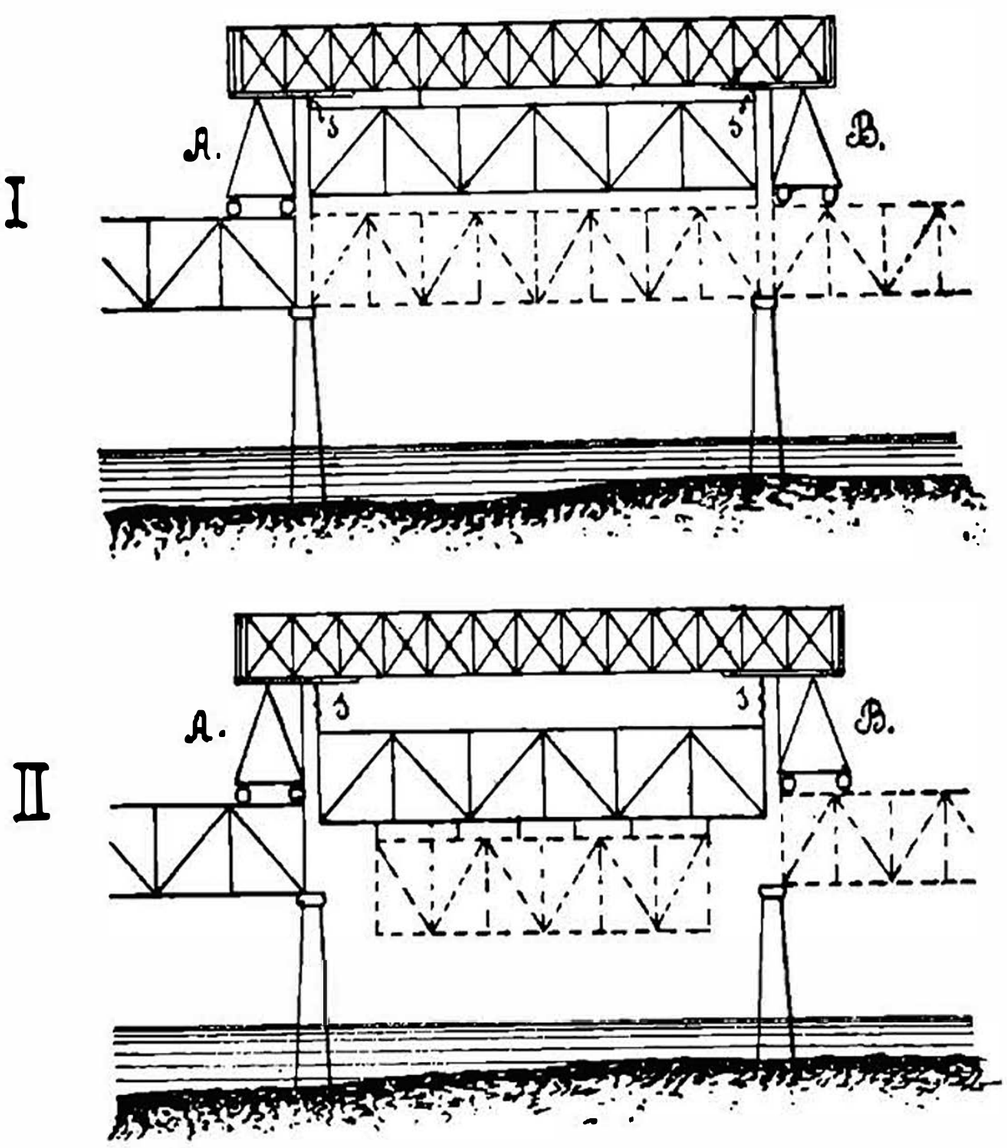


Рис. 477. Смена пролетных строений на мосту через р. Тенесси.

[1]) Перестройка мостов на Двинско-Витебском участке. — Сб. Инж. П. С., 1904 г.

[2]) Le Génie civil, 1927, № 26.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

опирающиеся на портальные рамы; после этого новое пролетное строение опускалось на опоры и по нему открывалось движение.

На замене пролетных строений на мосту через р. Галликос с пролетами 10,2 *м*, весом 11 *т*, потребовалось $2^1/_2$ часа времени. На замену пролетных строений на мосту через р. Вардар с пролетами 19,5 *м*, весом 33 *т*, потребовалось 3,5 часа времени.

Третий способ наиболее удобоприменим, когда производится замена деревянных пролетных строений, ценность которых обычно уже ничтожна, или таких металлических пролетных строений, стоимость которых оценивается только стоимостью самого металла, что позволяет обрезать концы их автогеном и в таком виде опускать

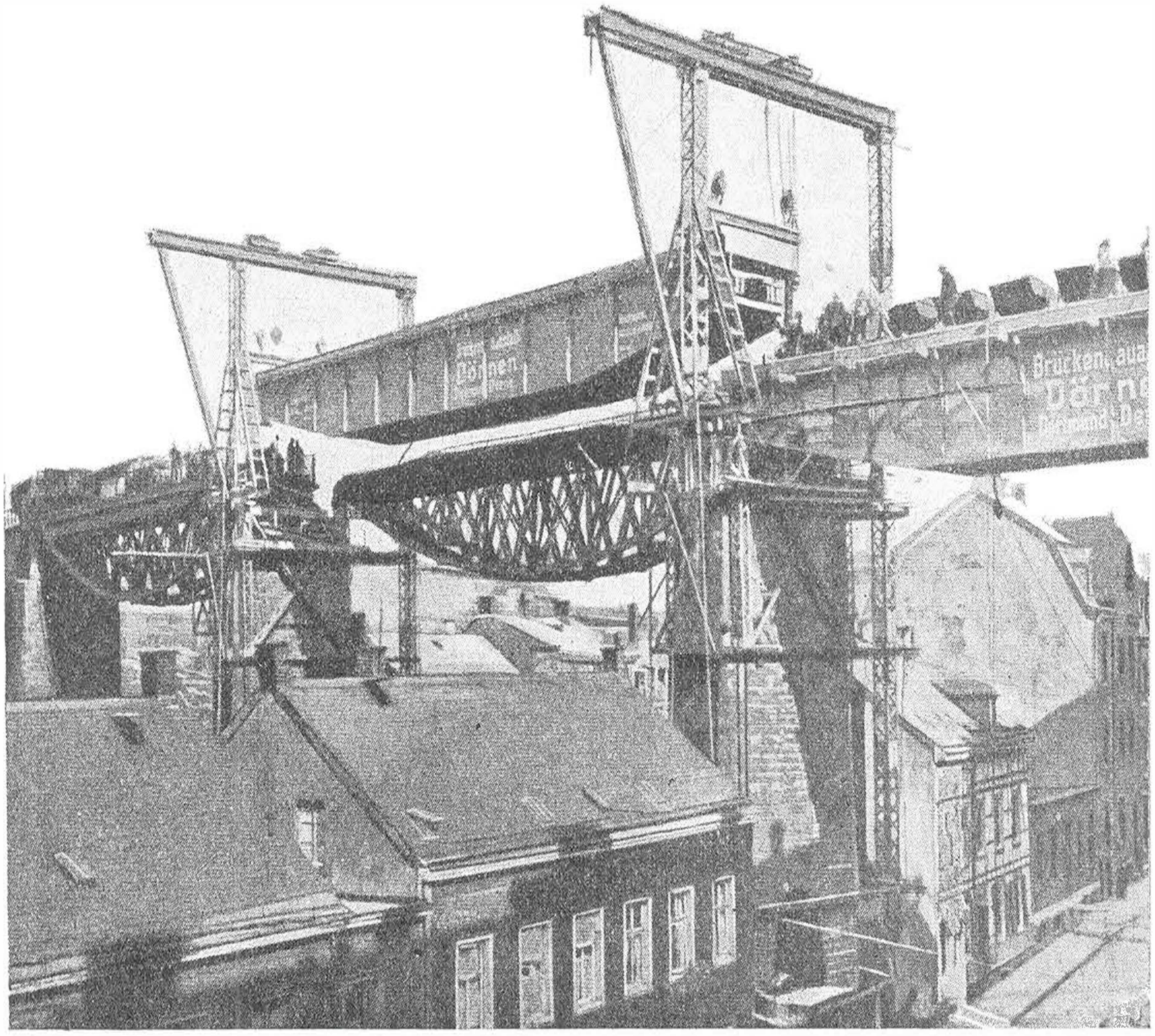


Рис. 478. Смена пролетных строений с уборкой их на смежный путь.

вместе с новым пролетным строением на подготовленные внизу подмости или баржи (рис. 477).

При знамене пролетных строений, представляющих собою известную ценность, целесообразным представляется применение второго из указанных выше способов, (рис. 478) — именно сдвиг пролетного строения в сторону, с последующей уборкой его при помощи тех же портальных рам после того, как будет открыто движение по новому пролетному строению. В предвидении этой части работы рамы проектируются более широкими, так что одна нога их опирается на временные опоры, устраиваемые для сдвига пролетного строения; ригельная же часть рамы приспособляется для движения по ней подвижных талей.

При производстве смены пролетных строений на Клевеландской ж. д. [1]) установка

---

[1]) Génie civil, 1895, XXVII, стр. 325.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

на опоры 39,6 *м* пролетного строения, весом около 64 *т*, занимала 6 часов 30 минут времени, а именно.

1) Подвозка нового пролетного строения и подвеска его к портальным рамам	2 ч. — м.
2) Разборка настила и рельс	1 ч. — м.
3) Уборка старого деревянного пролетного строения, производящаяся путем распиловки в нем пояса	— ч. 15 м.
4) Опускание нового пролетного строения, с установкой на опоры	— ч. 45 м.
5) Укладка настила и рельс	2 ч. 30 м.
Всего . .	6 ч. 30 м.

При производстве смены пролетных строений на реке Делавар [1]) пролетами ~ 32 *м*, весом ~ 31 *т*, вся замена, считая сюда: подвозку нового пролетного строения, сдвиг старого на сторону, опускание нового пролетного строения помощью портальных рам, разборку и укладку пути и пр., заканчивалась в течение 4 часов (рис. 120).

Наиболее совершенным приемом для замены пролетных строений, подвозимых по насыпи, надо считать применение кранов и крановых устройств. Среди них надо отдать предпочтение журавлевым кранам (кранам Деррик) как обладающим большой подъемной силой, большим выносом стрелы и сравнительно легко приспособляемым к передвижению по железной дороге.

На рис. 479 показан тип такого крана с подъемной силой 25 *т*, при выносе стрелы на 6,5 *м* от оси, или на 3 *м* от передней грани буфера. Кран может поворачиваться вокруг вертикальной оси на 360°. Устойчивость его в поперечном направлении повышается во время рабочего процесса постановкой с боков дополнительных упорных домкратов. Приведение крана в рабочее состояние занимает от 35 до 45 минут. Применяются также краны с переменной длиной выноса подъемного блока, с доведением подъемной силы до 60 *т*, при выносе блока на 3,50 — 4,00 *м* от передней грани буфера.

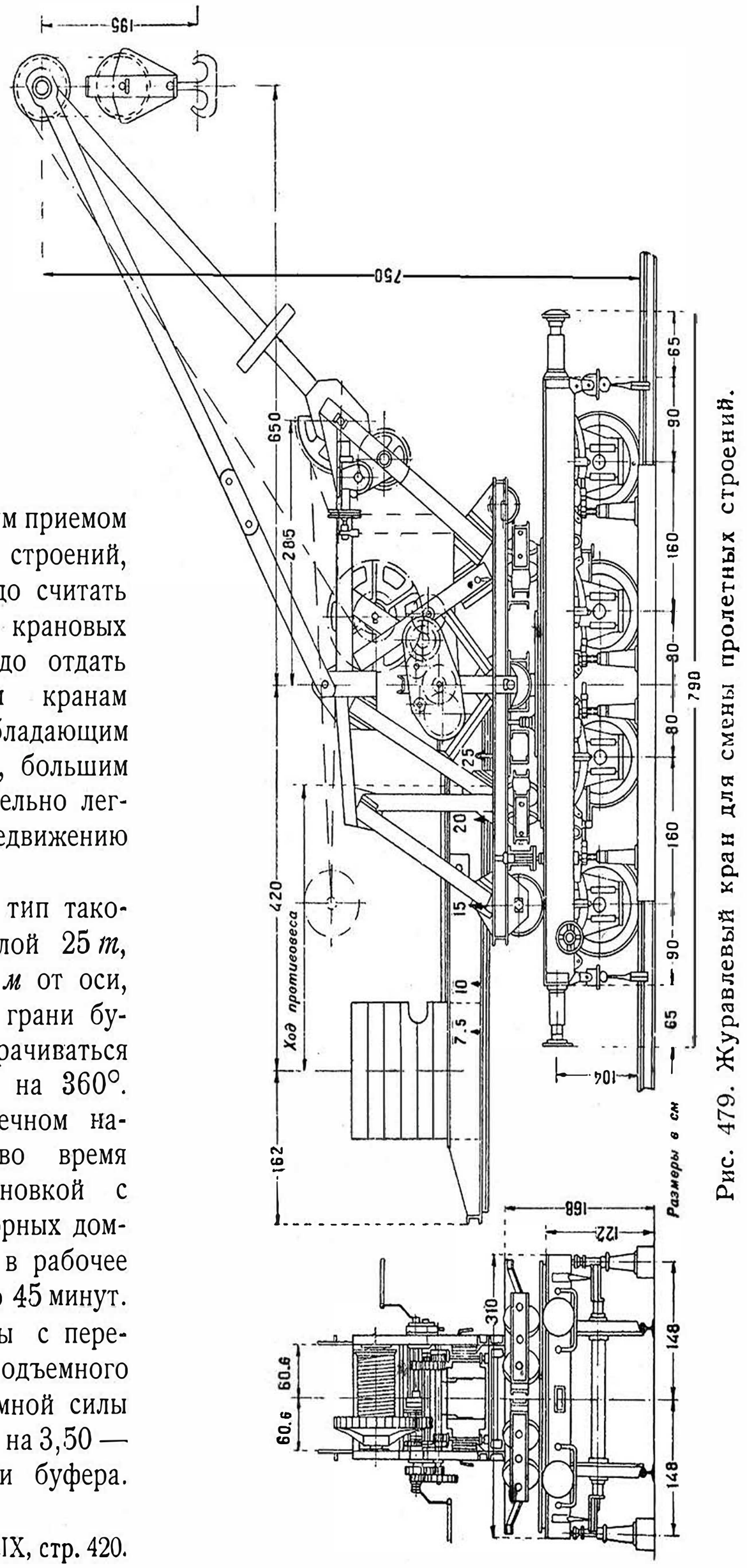


Рис. 479. Журавлевый кран для смены пролетных строений.

[1]) Engin. Record, 1909, LIX, стр. 420.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Использование этих кранов видоизменяется в зависимости от размера и веса сменяемых пролетных строений и также оттого, производится ли смена при однопутном или двухпутном движении.

Если смена производится при однопутном движении и небольших пролетных строениях с общим весом не более 15 — 18 *m*, то установка проектируется из 2 кранов с подъемной силой 10 *m* каждый, с устройством вспомогательного мостика между ними (рис. 480), служащего для поддержания устанавливаемого пролетного строения.

Вспомогательный мостик состоит из 2 шпренгельных балок *a*, концы которых могут иметь продольное движение в салазках *g*; эти последние, в свою очередь

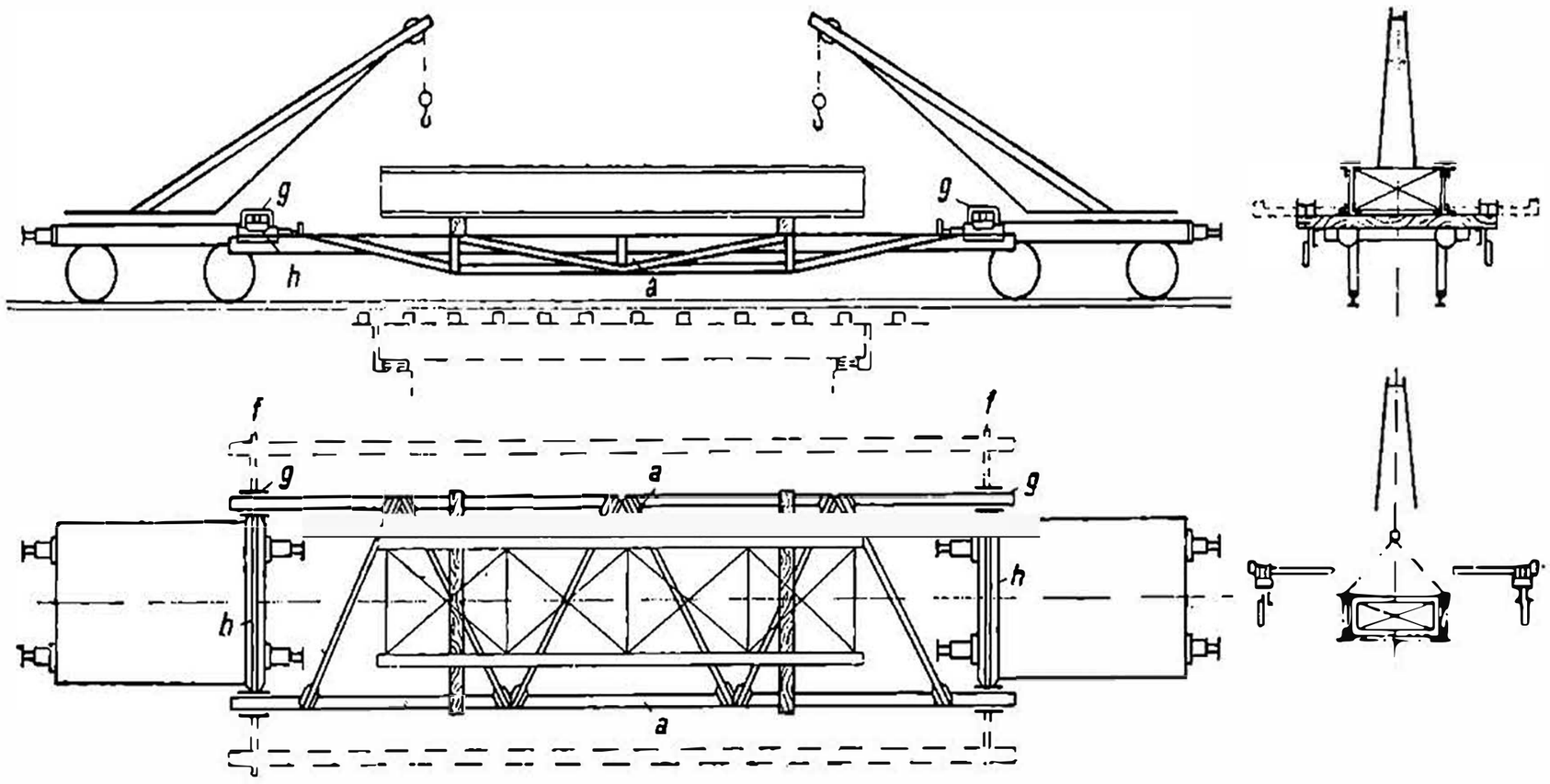


Рис. 480. Схема замены пролетных строений с малыми пролетами.

укреплены к винтам, помощью которых салазки могут быть раздвинуты в поперечном направлении до положения *f*.

Производство замены связано с отодвиганием старого пролетного строения на вспомогательные подмости, после чего новое пролетное строение приподнимается кранами, балки *a* раздвигаются в положение *f*, и пролетное строение опускается на место. По окончании установки те же краны поднимают старое пролетное строение и ставят его на тот же вспомогательный мостик для уборки на склад.

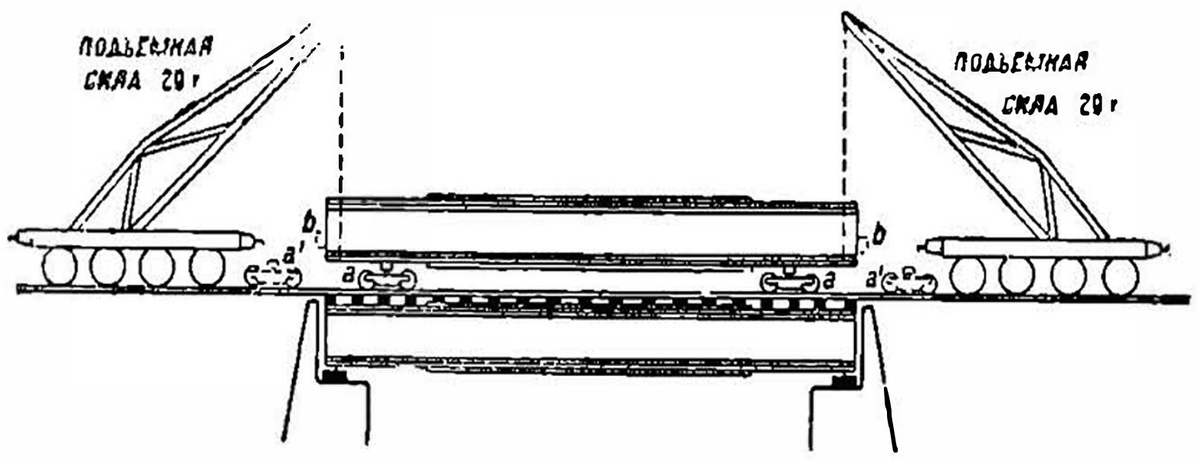


Рис. 481. Схема смены пролетных строений с большими пролетами.

При весе пролетных строений более 15 *m* и до 80 *m* подвозка новых пролетных строений делается при помощи специальных вагончиков *a* (рис. 481). После снятия нового пролетного строения с этих вагончиков и вывода последних за пределы пролета в положение *a* старое пролетное строение сдвигается в сторону, и новое опускается на место него. По окончании укладки пути вагончики *a* вновь вводятся на пролет, краны поднимают старое пролетное строение и устанавливают его для отвоза на склад. На рис. 482 показан общий вид такого рода работ.

По данным Шехтерле[1], на производство замены пролетных строений этим способом требуется от 1 до 2 часов времени при наличии 1 монтера, 2 слесарей

[1]) Schaechterle, Verstärk. Umbau u. Auswechselung, 1926 г., стр. 124.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

и 10 — 20 рабочих. Так как производство этой работы не связано с устройством каких-либо дорогих вспомогательных подмостей, то стоимость ее на тонну металла невелика.

При смене этим способом пролетных строений близь Хехингена [1]), имевших длину $\sim 24\ м$ и вес $50\ т$, вся работа по замене, производившаяся двумя 25-$т$ кранами, была закончена в течение 4 часов; из которых

$1^1/_2$ часа потрачено на производство замены, т. е. на подвозку нового пролетного строения, сдвиг старого и установку нового,
$1^1/_4$ » на укладку пути по новому пролетному строению,
$1^1/_4$ » на подъемку и погрузку старого пролетного строения.

Когда замена производится на мосту с двухпутным движением, то время производства работ значительно уменьшается, так как для подвозки нового пролетного строения может быть использован путь смежный с тем, на котором производится замена.

При работе журавлевыми кранами, необходимо обращать особое внимание на те опрокидывающие моменты, которые вызываются в кранах во время производства установки или подъемки ими, производимой на соседнем пути, или сбоку от оси моста.

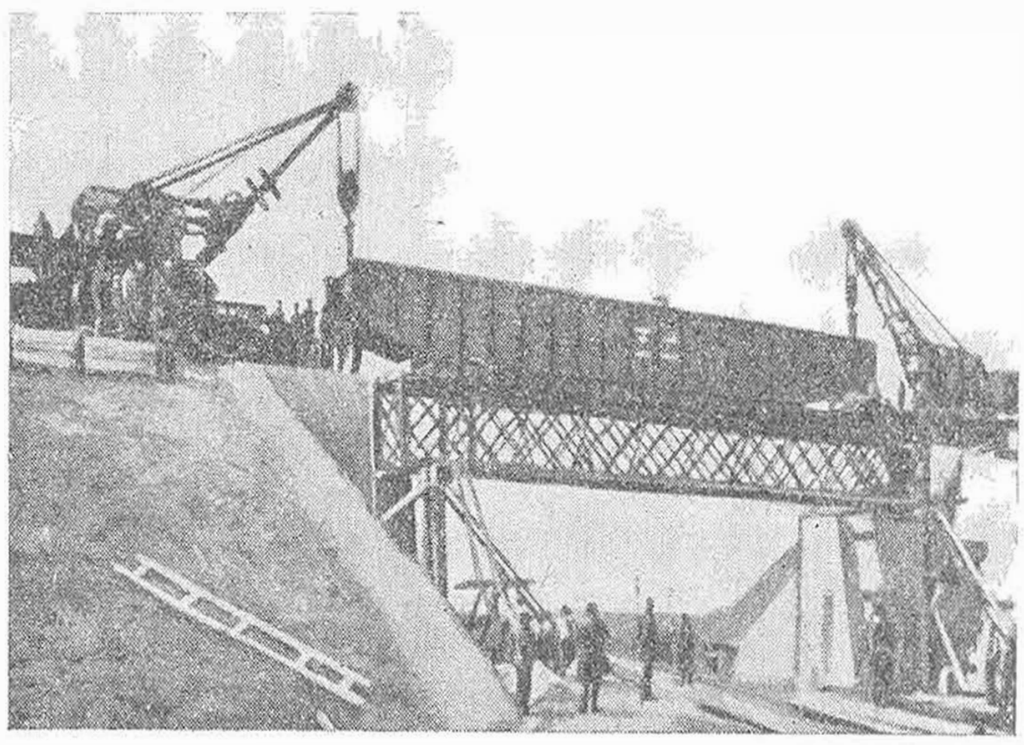


Рис. 482.

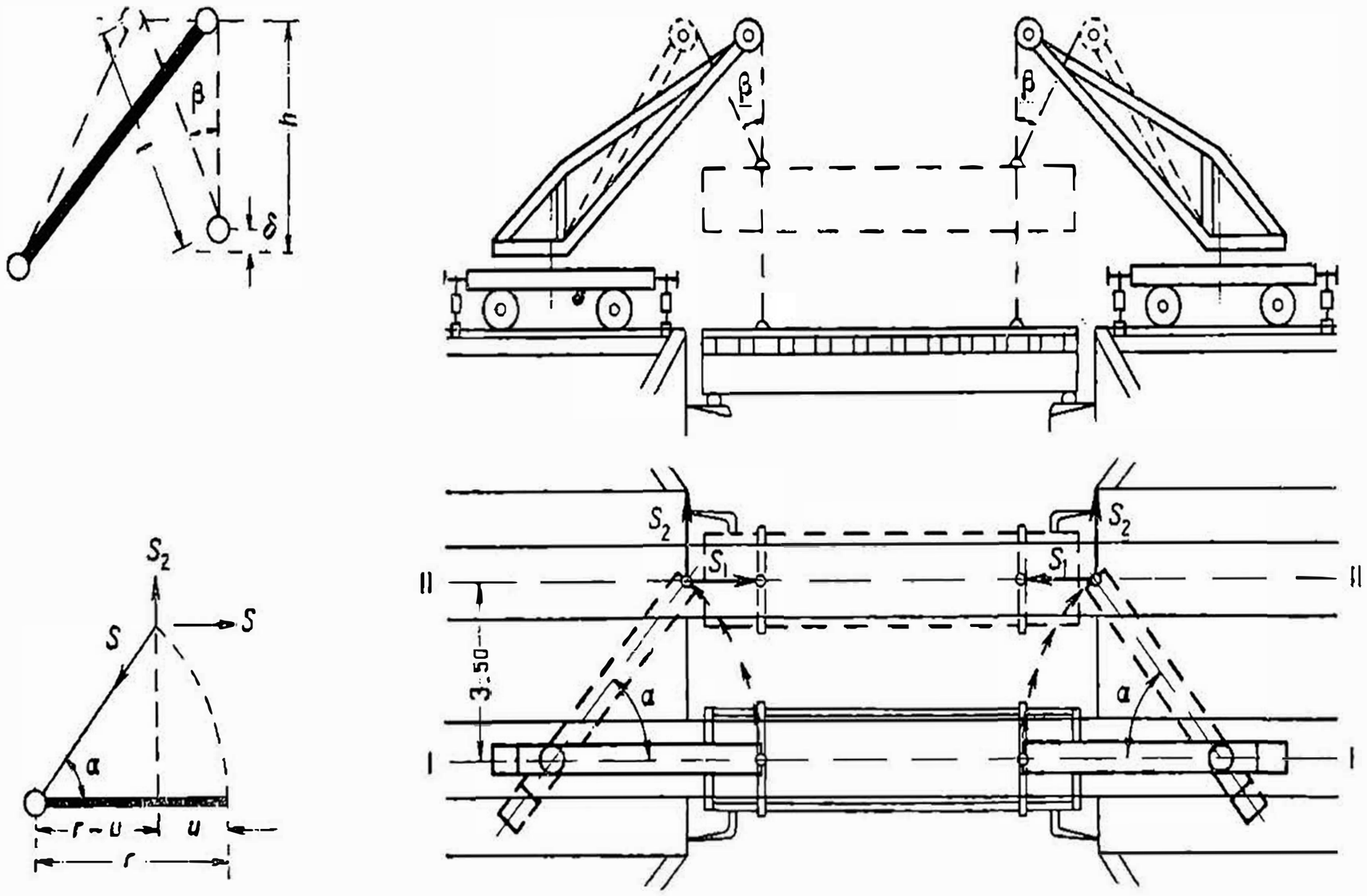


Рис. 483.

Из рассмотрения схемы на рис. 483 можно видеть, что при производстве установки, выполняемой на линии II пути кранами, стоящими на I пути, пролетное

1) Bautechnik, 1928 г., H. 46, стр. 686.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

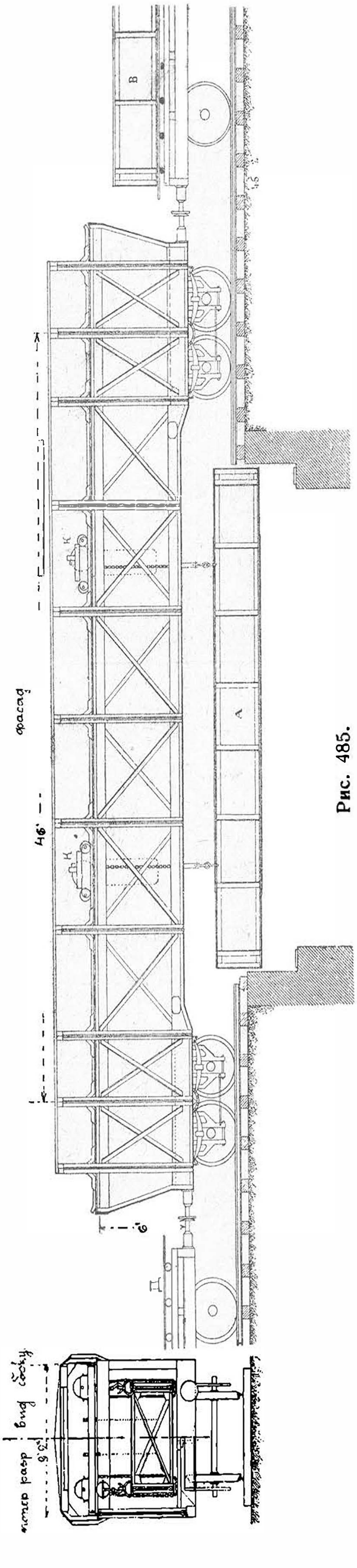


Рис. 485.

строение, поднятое канатами кранов и перенесенное ими на ось пути, должно вызвать наклонное положение канатов, которыми оно подвешено к кранам.

Усилие $S = G \cos \alpha$, развивающееся в этом случае в канате, разлагается на две слагающих силы:

$$S_1 = G \operatorname{tg} \beta \quad \text{и} \quad S_2 = G \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta,$$

углы наклона в которых связаны условием:

$$r(1 - \cos \alpha) = l \sin \beta.$$

Усилие S_1 стремится сдвинуть краны к отверстию моста, но так как при большом весе пролетного строения ($> 18\,m$) они непременно должны быть закреплены, то, следовательно, сдвиг их произойти не может, и тяговое усилие этим уничтожается.

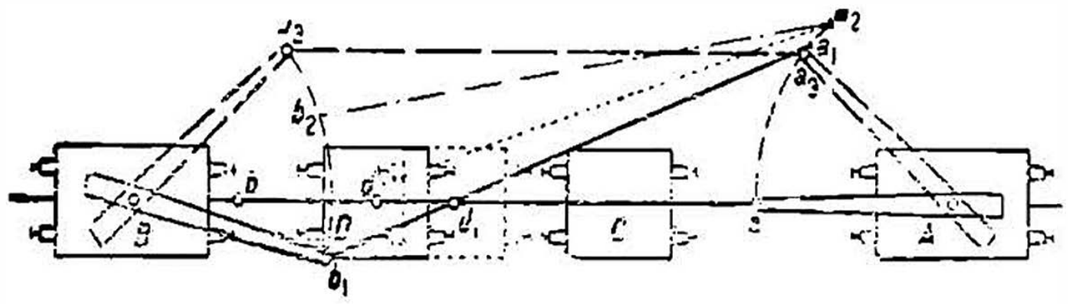


Рис. 484.

Усилие S_2 стремится опрокинуть краны на бок. Вызываемый ими опрокидывающий момент быстро нарастает и служит причиной ряда несчастных случаев [1]).

Эти соображения заставляют производить работу журавлевыми кранами с известной осмотрительностью и последовательностью. Из разных приемов производства работы наиболее удобовыполнимым является следующий.

Когда устанавливаемое пролетное строение подвезено к месту установки (рис. 484) на двух вагонах C и D и занимает положение $a - b$, — первоначально приподнимают один конец пролетного строения краном A и, освободив вагончик c, переводят пролетное строение в положение $a_1 - b_1$, что сопровождается вращением его вокруг точки d и движением вагона D вдоль пути. После чего кран B продвигают вперед, поднимают другой конец пролетного строения и медленно переводят его в положение $a_2 - b_2$ и a_3 b_3, наблюдая затем, чтобы канаты, поддержи-

---

[1]) Bautechnik, 1926 г., № 46.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ваюшие пролетное строение, были всегда вертикальны. Далее остается только опускание пролетного строения на место.

Если подвозка пролетного строения сделана на одном вагоне, то из приведенного описания способа работ видно, что для выполнения установки необходимо предвидеть возможность поворота пролетного строения вокруг одной из опорных точек его на вагоне, что должно быть предусмотрено при погрузке.

Когда замена производится на однопутном мосту, и она должна закончиться уборкой старого пролетного строения, сдвинутого набок, то вся погрузка должна производиться в порядке, обратном описанному выше, при замене на двухпутном мосту

Кроме журавлевых кранов, для производства смены пролетных строений применяют также краны мостового типа. Один из таких кранов показан на рис. 485.

Этот кран был сделан из двух ферм, опиравшихся на две вагонные тележки. В средней части нижнего пояса фермы краны не были связаны между собой и имели свободное отверстие, достаточное для пропуска сменяемых пролетных строений. По верхнему поясу крановых ферм перемещались две каретки k с подъемными блоками, служившими для подъемки и опускания пролетных строений, а также для продольной передвижки их над отверстием моста и погрузки на вагоны. Устанавливаемое пролетное строение B подвозилось вместе с краном на соседнем вагоне. По установке крана над отверстием моста и разборке пути, старое пролетное строение поднималось блоками кареток k до уровня пола вагонов и в таком состоянии продвигалось ими на вагон D. Освободившиеся каретки переводились в сторону нового пролетного строения и, приняв его с вагона, опускали на опоры.

Размеры пролетных строений, которые могли быть сменены этим краном, ограничивались длиной 11,3 *м*, высотой 1,15 *м*, шириной 2,38 *м* и весом 10 *т* [1]).

Применение кранов такого типа для замены пролетных строений с большими размерами становится возможным, если фермы крана будут поставлены на высокие ноги в виде портальных рам (рис. 478), что позволит сделать передвижение кареток по нижнему поясу ферм и подводить сменяемое пролетное строение под фермы крана.

Стоимость кранов всегда ложится большими накладными расходами на стоимость производства работ по замене, а потому применение их оправдывается только при смене большого числа пролетных строений [2]), или если этот кран используется строительной организацией и для других видов ее работ.

---

[1]) Журнал М. П. С., 1895 г., кн. V, стр. V.

[2]) Стоимость крана, показанного на рис. 485, была исчислена в 5 700 руб. Несмотря на такую высокую стоимость его, смена 277 пролетных строений, произведенная им, обошлась дешевле, чем если бы та же смена была произведена при помощи временных клеток. На 277 мостах этим краном было произведено 418 установок, стоимость смены одного пролетного строения слагалась из:

1. Стоимости и ремонта крана 5 700 : 418	13,6 руб.
2. Рабочей силы, состоящей из 4 раб. × 75 к. и материала по 2 р. в сутки $\frac{6(4 \times 0{,}75 + 2)}{3}$.	10,0
3. Смазки механизмов и пр. . . .	1,4
Всего	25,00 руб.

Сделанная на той же железной дороге одновременно смена пролетных строений при помощи временных клеток обошлась для каждого из пролетных строений этого моста, состоявшего из 4 пролетов, в следующей сумма:

1. Подвозка, выгрузка, погрузка и отвозка 200 шт. шпал и 10 рельс	10 р. — к.
2. Выкладка клеток для подъемки старого пролетного строения: 30 раб. × 50 к. + 1 раб. × 1 р. 50 к. . . .	16 » 50 »
3. Выкладка клеток для погрузки их на вагоны: 20 раб. × 50 к. + 1 раб. × 1 р. 50 к. . .	11 » — »
4. Установка нового пролетного строения на опоры	17 » — »
Всего	55 р. 50 к.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Замена с подвозкой по воде. Описанный выше способ замены пролетных строений при помощи кранов не применим при замене пролетных строений с ездою понизу как вследствие веса, так и по затруднениям, встречаемым при перевозке их.

Если река, на мосту через которую производится замена пролетных строений, достаточно полноводна, и если устройство подмостей на ней для сборки и поперечной надвижки затруднительно или невозможно, то замена пролетных строений может быть произведена путем подвозки и уборки их на баржах приемами, описанными в § 36.

Новое пролетное строение собирается где-либо в стороне, или даже на заводе и подвозится к мосту на баржах. К этому времени для снятия и уборки старых пролетных строений подготовляются другие пловучие опоры. В назначенное для замены время производится одновременно снятие старых и установка новых пролетных строений.

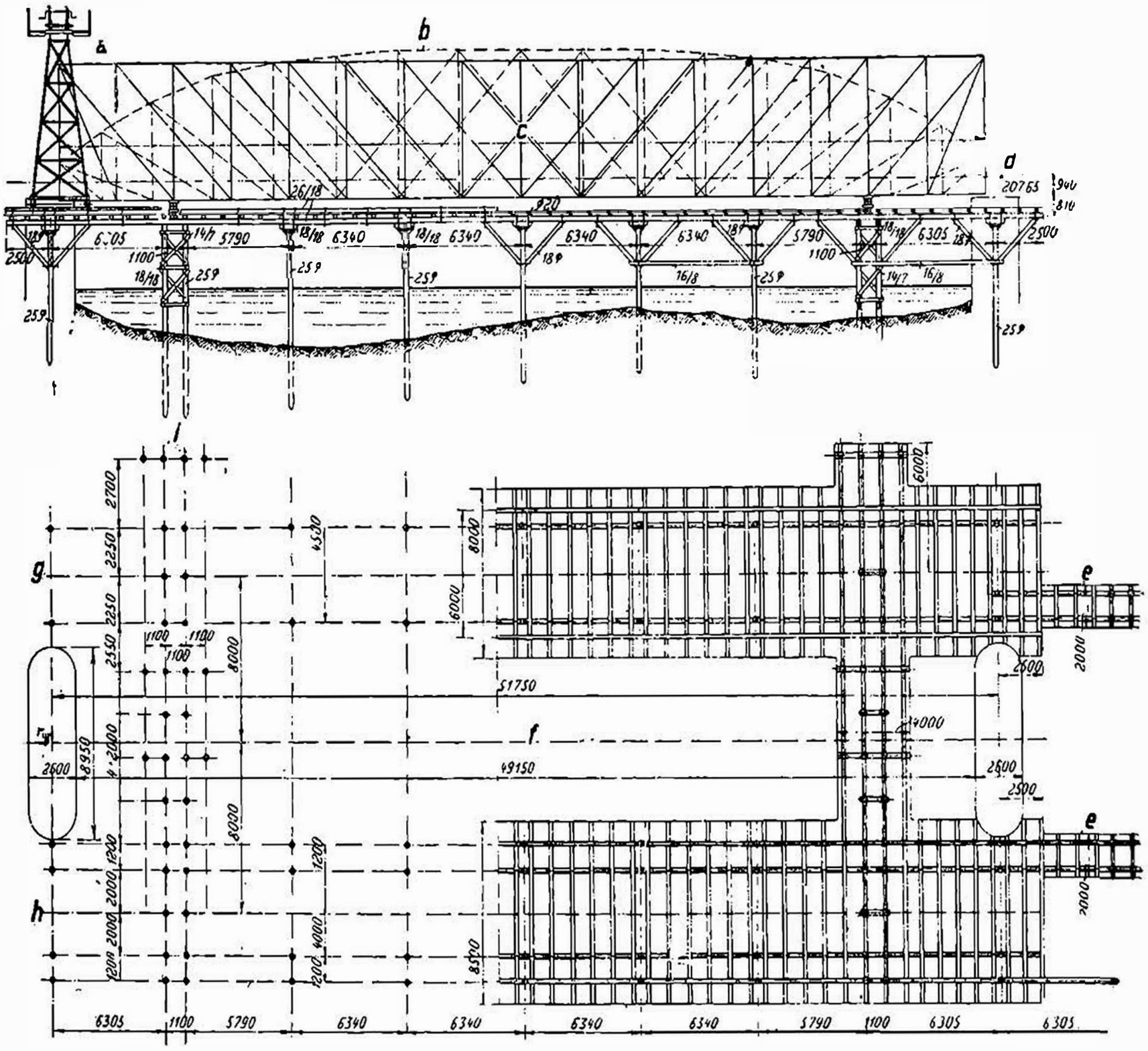


Рис. 486.

На производство таким способом смены пролетных строений на мосту через р. Миремичи [1]), пролетами 62,2 *м* и весом 245 *т*, потребовалось 4 часа времени.

Замена с поперечной передвижкой. Наиболее распространена замена больших пролетных строений с использованием поперечной надвижки. В этом случае новое пролетное строение собирается сбоку от старого в непосредственной близости от него. Для производства замены под новым и старым пролетными строениями в поперечном направлении устраиваются два ряда узких подмостей (рис. 486),

1) Engin. Record, 1906 г. LIII, стр. 399.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

по которым должен быть уложен путь для производства надвижки. Длина этих подмостей должна быть достаточна для помещения на них нового и старого пролетных строений до надвижки и помещения старого пролетного строения после его сдвига на сторону.

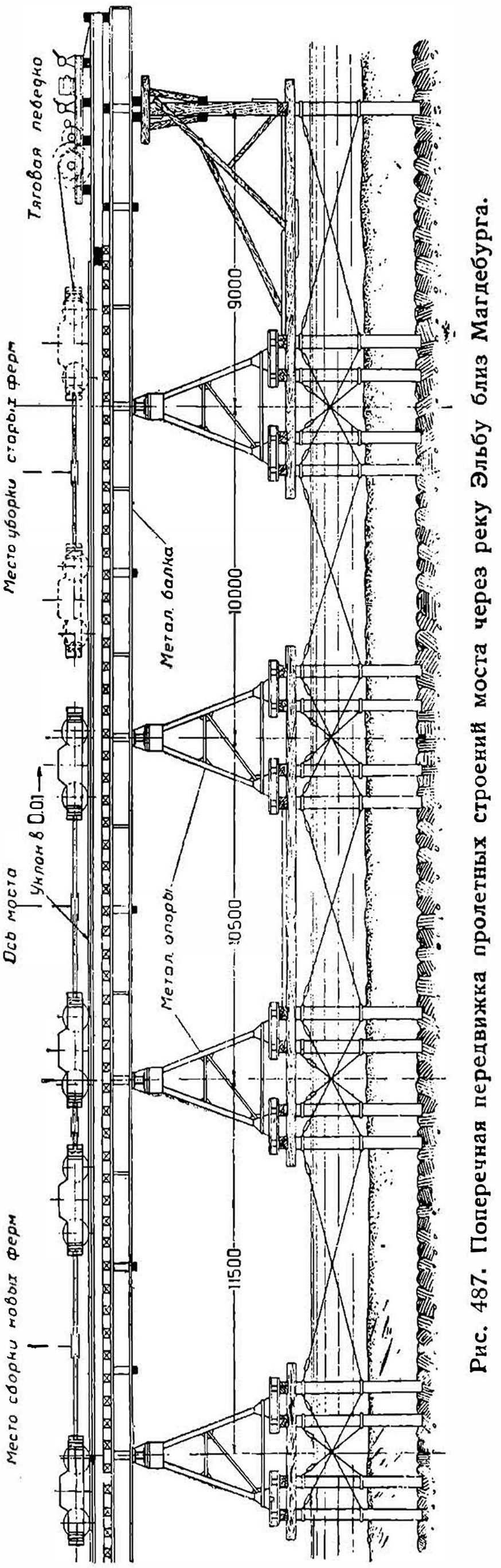


Рис. 487. Поперечная передвижка пролетных строений моста через реку Эльбу близ Магдебурга.

Самая передвижка производится приемами, изложенными в § 30. Однако уместно указать, что так как вопрос о замене пролетных строений всегда связан с краткостью времени отводимого на выполнение ее, то целесообразным является пользоваться для выполнения передвижки тележками (рис. 487), которые обеспечивают более легкое качение, и путь для которых имеет всегда большую устойчивость. В качестве тягового усилия целесообразно пользоваться, как показал опыт, электрическими лебедками и металлическими тросами. Во время надвижки старое и новое пролетные строения обычно соединяются между собой, и передвижка их производится одновременно.

В таблице 21 приведены данные о некоторых заменах, производившихся с поперечной надвижкой.

Из всех приведенных выше случаев замены пролетных строений разными способами видно, что большее количество времени, потребного на замену, идет на подготовительные работы и особенно на укладку и выправку пути после окончания установки; поэтому представляется вполне целесообразным, чтобы установка нового пролетного строения производилась с уже уложенным на нем настилом и рельсами, с длиною соответствующей расстоянию между стыками рельс, остающихся на опорах в пути. Это незначительное сравнительно увеличение веса вполне оправдывается экономией времени.

Замена со сборкой на оси моста. Вопрос о производстве замены путем сборки на оси моста с одновременным сохранением движения по старому пролетному строению связан с большими трудностями в процессе самой работы и вносит осложнения даже в проектировку нового пролетного строения.

Непрерывность в движении по мосту может быть сохранена только при сохранении в нем габаритных очертаний, а это связано с условием, чтобы новые фермы

НБ УДУНТ (ДІІТ)

и их проезжая часть располагались вне старого пролетного строения. Такое расположение нового пролетного строения возможно только в том случае, если ширина его будет более ширины старого пролетного строения (рис. 488).

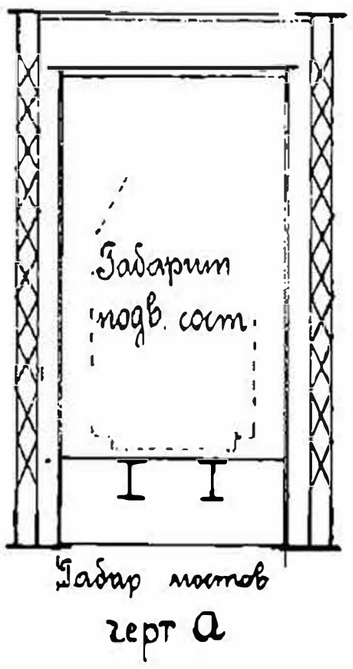


Рис. 488.

Увеличение же ширины нового пролетного строения связано с вопросом о возможности установки его на опоры, которые в редких случаях будут иметь ширину, достаточную для помещения опор нового уширенного пролетного строения. Поэтому такой способ замены пролетных строений применим только в тех случаях, когда одновременно производится перестройка опор.

Не меньшие затруднения при этом способе производства замены имеют место при переводе проезжего полотна со старого моста на новый. Чтобы, по возможности, избегнуть этих трудностей, обычно стремятся при проектировании расположить проезжие части в разных уровнях (рис. 489 *a*), что позволяет закончить сборку всей проезжей части нового пролетного строения, не прерывая движения, и уже после этого сдвинуть старое пролетное строение на одну сторону и открыть движение по новому пролетному строению, хотя бы при суженной ширине его (рис. 489 *b*).

Если же уровень проезда старого и нового пролетных строений должен быть один и тот же, то проезжие части их должны накладываться одна на другую. В этом случае устранение длительного перерыва может быть достигнуто только путем про-

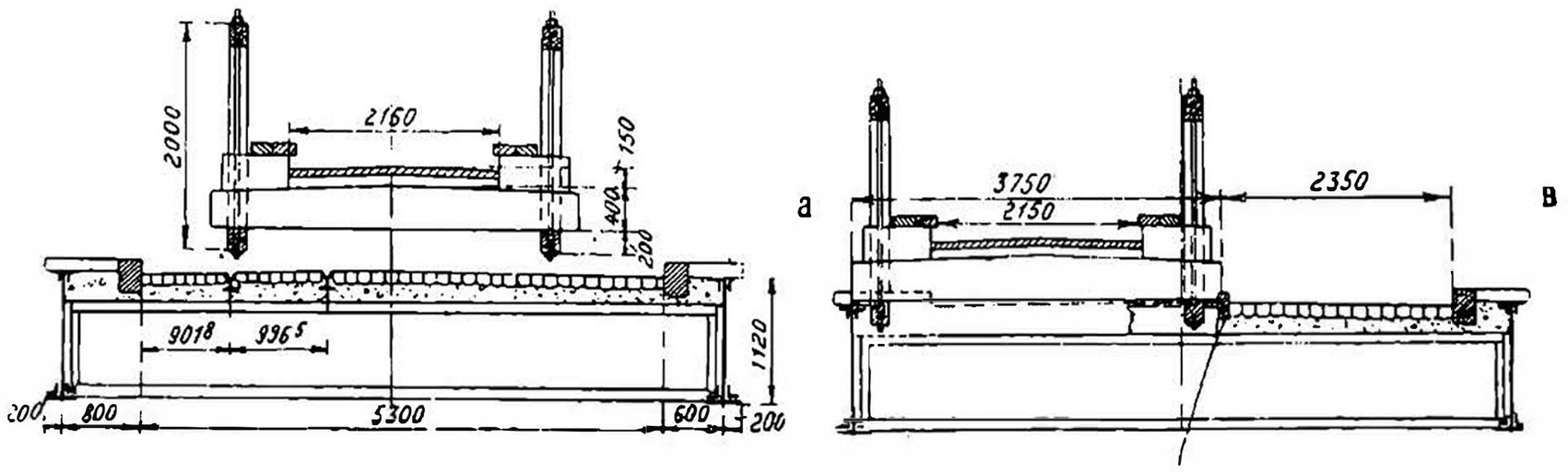


Рис. 489. Замена пролетных строений на мосту через Виллен, без перерыва движения.

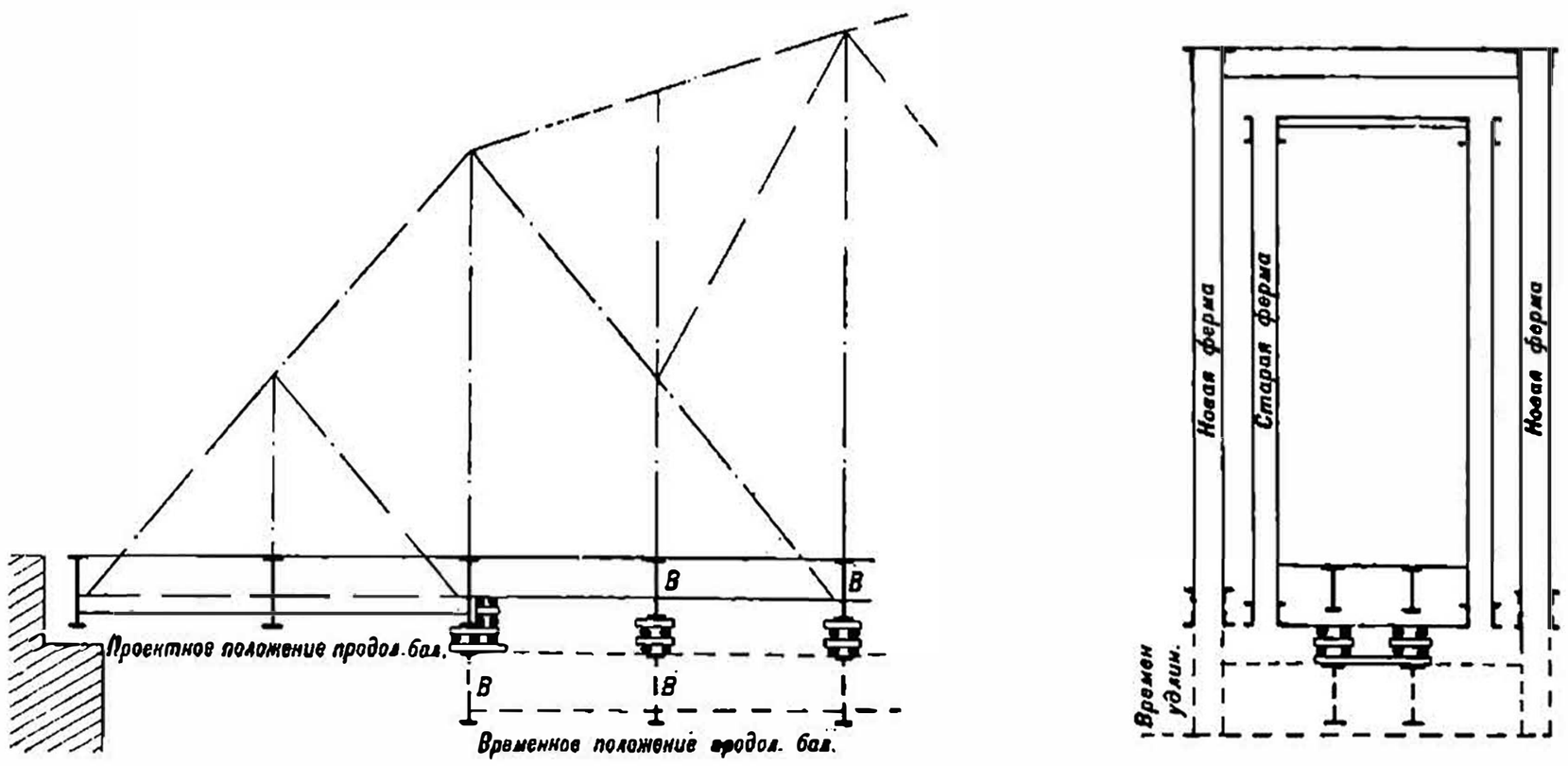


Рис. 490.

ведения последовательной частичной замены проезжих частей. Примером такой замены может служить следующий способ производства работ.

Вся проезжая часть нового пролетного строения первоначально собирается и подвешивается к фермам ниже своего проектного положения, для чего стойки новых

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ферм временно удлиняются (рис. 490). Продольные балки проезжей части временно усиливаются в горизонтальной плоскости жесткими распорками. На собранную таким образом новую проезжую часть посредством клеток и клиньев укладывается проезжая часть старого пролетного строения, после чего фермы старого пролетного строения разбираются; движение же в это время производится по двухярусной проезжей части. По окончании сборки ферм, производится смена проезжей части по панелям, начиная с опорных узлов. Старые поперечные балки снимаются и на место них вводятся новые; освобождающиеся при этом нижние, новые поперечные балки *b* переставляются в проектное положение на следующую панель *b'*, и между переставленными поперечными балками ставятся новые продольные балки; таким образом, во время замены движение по мосту происходит частью по новой проезжей части, частью — по старой. Смена производится последовательно во всех панелях. Опыт показал, что на такую попанельную перестановку проезжей части требуется от 3 до 5 часов времени [1]). По окончании перестановки проезжей части удлинения стоек, служившие для временного укрепления проезжей части, обрубаются.

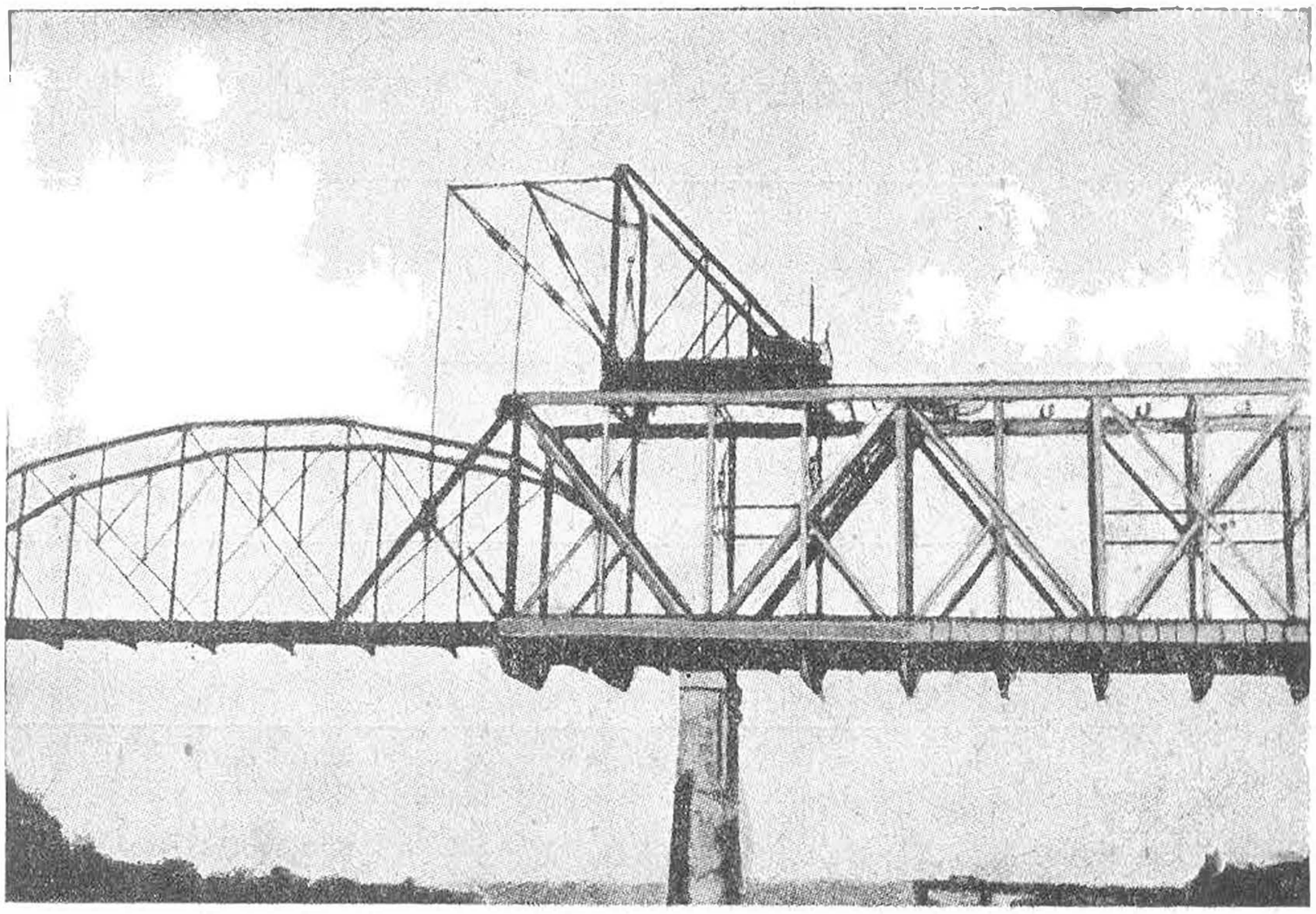


Рис. 491. Сборка пролетного строения по оси старого без перерыва движения.

Что касается сборки самих новых ферм, то при этом способе замены они обычно собираются навесным способом (рис. 491) (см. § 43 и 44).

1) Engin. Record, 1907, LV, стр. 332.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ТАБЛИЦА 21.

Наименование моста	Число путей	Число и длина пролета в *м*	Вес пролетного строения в *т*		Приспособления для передвижки	Длина передвижки или скорость *v*	Время, потребное на замену					Год производства работ	Источник
			Стар.	Нов.			Подготовительные работы	Сама передвижка	Укладка пути	Разные работы	Всего		
Андельфинген (Швейцария) .	1	31+35+36+31	285	428	6 путей. Катки d = =15 *см*, приводные лебедки	5,6 *м/с*	1 ч. 30 м.	— 30 м.	1 ч. 55 м.	—	3 ч. 45 м.	1906	Eisenbau, 1913, № 6.
Река Эльба около Магдебурга .	2	5 пролетов по 66 *м*	—	515	По 2 пути. Тележки с 4 колесами, электрические лебедки	13,5 »	— 35 »	— 50 »	10 »	— 25 »	2 » —	1906—07	Z. d. V. D. I. 1908, № 11.
Эфлинген (Швейцария) .	1	22+33+22	125	199	Три пути. Катки d = =16 *см*, ручные лебедки.	8,06 »	— 30 »	1 ч. 00 »	2 ч. 45 »	—	4 » 15 »	1912	Eisenbau, 1913, № 7.
Р. Мозель у г. Бюллау .	2 и шосс.	5 по 35 1 по 89	—	1 200	По два пути. Тележки по 4 колеса и по 8 колес.	10,0 »	— 25 »	— 30 »	1 ч. 10 »	— 55 »	3 » 00 »	1928	Отчет инженера Тауэра.

НБ УДУНТ (ДИИТ)

ПРИЛОЖЕНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОДМОСТЕЙ ДЛЯ СБОРКИ МОСТОВЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ.

(Издание КОМСТО по строительству на основании постановления СТО от 15/V—29 г.).

I. Расчетные нагрузки.

§ 1. Постоянная. а) Собственный вес подмостей исчисляется по действительному подсчету, принимая вес 1 куб. метра дерева, включая и вес металлических скреплений — 750 *кг*.

б) Вес собираемого пролетного строения принимается согласно теоретическому весу, указанному в спесификации.

§ 2. Временная вертикальная. При расчете настила и поперечин (наката) временная вертикальная нагрузка от толпы принимается в 200 *кг/м²*. Кроме того доски настила должны быть проверены на действие сосредоточенного груза — 150 *кг* (вес человека с грузом).

При расчете прогонов, подкосов, стоек и свай временная вертикальная нагрузка от толпы принимается в 100 *кг/м²*. Временная вертикальная нагрузка от нагруженных сборочных кранов, вагонеток и других тяжелых частей оборудования — принимается по их действительному весу.

§ 3. Временная горизонтальная нагрузка от действия ветра при расчете прочности подмостей принимается в 100 *кг/м²* расчетной боковой поверхности пролетного строения и подмостей. При наличии данных об отличии по местным условиям, действительного давления ветра от нормы 100 *кг/м²* могут быть допущены отступления от нее как в ту, так и в другую стороны, причем расчетная величина давления ветра с соответствующей мотивировкой должна быть сообщена одновременно с другими данными, подлежащими представлению для составления проекта подмостей, как это обусловлено техническими условиями на заготовку и сборку пролетных строений.

Расчетная боковая поверхность ферм мостов берется по теоретическому контуру их, с коэфициентом сплошности их 0,5 для сквозных ферм и — 1,00 для сплошных ферм.

Расчетная боковая поверхность подмостей определяется из:

1) поверхности, очерченной контуром подмостей с коэфициентом сплошности 0,5 (верхнее очертание контура подмостей берется по линии, ограничивающей верхние плоскости сборных клеток, а нижнее — по нижней линии затяжки у пят подкосов, а в случае отсутствия таковой — по линии пят подкосов) и

2) фасадной поверхности опор и нижних продольных схваток подмостей, очерченной их наружным контуром с коэфициентом, равным 2.

Устойчивость всего пролетного строения на подмостях и самих подмостей должна быть проверена на действие ветра, указанное выше при расчете на прочность, увеличенное в 1,5 раза, при коэфициенте устойчивости 1,20. Но то же действие ветра проверяется устойчивость отдельных частей пролетного строения, законченных сборкой.

Если при проверке устойчивости подмостей на ветер коэфициент устойчивости окажется равным не менее 1,5 — то разрешается опоры подмостей устраивать без боковых укосин, при условии соответствующего расчета и устройства поперечных связей.

II. Допускаемое напряжение.

§ 4. Для деревянных частей, изготовленных из соснового и дубового леса или соответствующих пород, допускаемые напряжения, при расчете на вертикальные нагрузки, принимаются следующие (таблица 1).

§ 5. При расчете на совместное действие вертикальной нагрузки и ветра допускаемые напряжения, указанные в табл. № 1, повышаются на 25%.

§ 6. При действии силы под углом к направлению волокон допускаемое напряжение на действительную площадь смятия определяется по формуле:

$$n = \frac{n_c}{1 + \left(\frac{n_c}{n_{c1}} - 1\right)\sin^2\alpha},$$

где n_c — допускаемое напряжение на смятие вдоль волокон,
n_{c1} — допускаемое напряжение на смятие поперек волокон,
α — утол, составляемый направлением силы с направлением волокон.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ТАБЛИЦА 1.

Направ. действ. сил	Род напряжения	Допускаемое напряжение в *кг/см²*	
		Для сосны, ели и пихты	Для дуба, листвен.
Вдоль волокон.	Непосредственное равномерное сжатие	105	125
	Непосредственное равномерное растяжение	140	180
	Непосредственное сжатие для стоек и укосин свайных опор.	80	90
	Непосредственное равномерное скалывание .	15	20
	Растяжение и сжатие при изгибе	120	150
	То же для наката и поперечин	140	160
	Скалывание при изгибе	25	30
	Смятие торца торцом	80	100
	То же через метал. прокладку	90	110
	Бортовое смятие	140	170
Поперек волокон.	Срезывание перпендикулярно оси	50	70
	Смятие на ширину, большую половины полной ширины дерева	35	45
	То же на ширину, меньшую или равную половине ширины дерева	46	65
	Равномерное смятие круглыми вкладышами и шпонками .	50	80
	Бортовое смятие .	90	100
	Тангенциальное скалывание .	7	15

Примечание 1. При устройстве подмостей (за исключением свай) следует по мере возможности избегать свежесрубленного леса, допуская его только в случаях затруднений получения иного лесоматериала и использовывая для второстепенных элементов подмостей.

В случае необходимости применения сырого (свежесрубленного с влажностью свыше 23%) леса для ответственных надводных частей допускаемые напряжения должны снижаться на 12% против норм, указанных в табл. № 1.

Примечание 2. При применении древесины других пород допускаемые напряжения устанавливаются в соответствии с имеющимися данными об их свойствах.

§ 7. Сжатые элементы поверяются по нормам НКПС, утвержденным 14/VI 1928 г. для расчета сжатых частей деревянных мостов.

§ 8. При устройстве свайных оснований допускаемое давление на отдельную сваю как над водой, так и под нею не может быть допущено больше чем:

Диаметр свай в *см* — 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28.
Допускаемое давление в тоннах 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

§ 9. Наибольший допускаемый отказ должен определяться по формуле проф. Н. М. Герсеванова.

$$l = n\frac{5FQH}{2p(p+\partial F)} + \frac{Q+0{,}2q}{Q+q},$$

где n — число ударов в залоге, для ручного копра — 20, для машинного и парового 10.
F — площадь поперечного сечения сваи в $см^2$,
Q — вес бабы в $кг$,
p — расчетная нагрузка на сваю в $кг$,
H — высота подъема бабы в $см$,
q — вес сваи в $кг$ (с подбабком, если таковой имеется).

§ 10. Устройство оснований на лежнях допускается при условии надежности и неизменяемости грунта на отметке основания лежней. Расчетные напряжения на грунт при этом не должны превосходить допускаемых, указанных в табл. № 2.

ТАБЛИЦА 2.

№№ по пор.	Наименование	Допускаемое напряж. в $кг/см^2$ на глуб. от поверхности	
		0,20 *м*	1 *м* и более
1	Для скалы, в зависимости от тверд сти	От 10 до 30	От 10 до 30
2	гра ия	5	6
3	мергелистого грунта	3	5
4	крупного песка .	3	5
5	мелкого песка	2	4
6	» глинистого плотного грунта .	3	4

При промежуточных глубинах допускаемые напряжения принимаются по интерполяции.

§ 11. При проектировании металлических подмостей допускаемые напряжения для проектирования металлических частей должны приниматься согласно табл. № 3.

ТАБЛИЦА 3.

№№ по пор.	Наименование напряжений	Род материала	
		Марочное железо сталь	Торг. железо того же сост. что и сталь
1	Основное допускаемое напряжение	1,600	1,300
2	При совместном действии вертикальной нагрузки и ветра	1,800	1,450
3	При действии кратковременных нагрузок (перекатка, подъемка на домкратах и пр.)	2,000	1,600
4	На срезывание болтов и заклепок	0,8 от основного допуска	
5	На скалывание	0,75 от основного допуска	
6	На снятие	Удвоенное основное допускаемое.	

§ 12. При расчете подмостей в виде исключения допускается перенапряжение до 5% без пересчета конструкций.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

III. Главнейшие конструктивные требования.

§ 13. Стыки прогонов должны устраиваться над опорами или над вершинами сходящихся подкосов, причем допускается расположение стыков не в перевязку. Стыки рекомендуется устраивать в полдерева с постановкой болтов.

§ 14. При сопряжении пересекающихся или сходящихся под углом элементов конструкции, усилия от одной части к другой должны передаваться врубками или соответствующими им соединениями.

§ 15. Врубки должны быть, по возможности, простейших конструкций, глубина врубки допускается не более $^1/_3$ диаметра бревна.

§ 16. Насадки насаживаются на сваи с помощью шипов, имеющих форму кубиков, с размером ребра около $^1/_3$ диаметра сваи. Гнездо в насадке сваи должно быть несколько ($^1/_2 - 1$ *см*) глубже длины шипа.

§ 17. Наращивание коренных свай или стоек должно быть сделано одним из способов, обеспечивающих жесткость стыка.

§ 18. Возвышение пят подкосов над самым высоким подпорным горизонтом должно быть не менее 20 *см*, нижние поперечные схватки должны быть расположены на горизонте меженных вод.

§ 19. При глубине воды (считая от горизонта меженных вод) пять и более метров должны устраиваться подводные между свайными опорами связи помощью схваток, подкосов или металлических тяжей. Сваи подлежат поверке на изгиб в уровне грунта и, в случае необходимости, связываются ниже уровня воды.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Аванбек *см.* Надвижка пролетного строения продольная.

Баржи *см.* Определение водоизмещения 242.
— — остойчивость их 239—241.
— — расчет прочности 242, 243.
— — установка при надвижке пролетных строений 243—245.
Болты — изготовление 47.
— — постановка 67.

Висячие подмости *см.* Подмости сборочные — висячие.
Витые канаты *см.* Канаты витые и т. д.
Вращающиеся рамы 118, 119.
Выгибы 12—13, 18, 23—26.
Выклепка *см.* Заклепки, постановка.
Вырезывание проушин звеньев 45, 46.
Высадки 12—13, 18, 23—26.

Графики работ 101, 213.

Деревянные фермы *см.* Фермы сборочные деревянные.
Деформации при пробивке отверстий 28, 32.
— — при резании 37, 38.
Диаметр отверстий и заклепок 13.
Диски для резки металла 37.
Домкраты Беккера 272.
— винтовые 272, 273.
— гидравлические 273—275, 285, 289.
— для подъема и опускания пролетных строений.
— «perpetuum» 274, 275.
— установка 275—280.
Доставка ферм в склепанном виде.
— — по железным дорогам 102—109.
— — по обыкновенным дорогам 109, 110.
— — по рекам на баржах 111—113.
Дупликатор 21.
Дыры заклепочные *см.* Отверстия заклепочные.

Заклепки, диаметр 13, 46.
— изготовление 46, 47.
— постановка 60—67, 135—137.
Заклепочный лист 13.
Замена существующих пролетных строений новыми.
— со сборкой по оси моста 373—375.
— с подвозкой по воде 372.
— с подвозкой по насыпи 364—371.
— с поперечной надвижкой 372—373.
Заплыви для защиты подмостей 174, 175.
Звенья с проушинами, изготовление 43—46.
Изготовление отдельных элементов моста в мастерской 50—70.
Инструменты для переметки 19.
— для шаблонирования 17, 18.

Канат, приспособленный для продольной надвижки пролетных строений 250, 251.
Канаты витые, изготовление на берегу 343—345.
— — изготовление на месте 346—354.
— — укладки 340—343.
Катки для передвижения пролетных строений 191—194, 204, 205, 213, 223, 232, 246, 249.
Клепка *см.* Заклепки, постановка их.
Клинья парные для подъема и опускания пролетных строений 270.
Крановое оборудование мостовых мастерских 96—98.
Краны подъемные, сборочные.
— — для сборки опор 358—363.
— — журавлевые 144—148, 298—300, 358, 367, 371.
— — канатные (кабель-краны) 308—312.
— — консольные 301—307.
— — копровые 142—144.
— — объемлющие 148—153.
— — подвесно-консольные 305, 306.
— — ползучие 358—360.
— — портальные 140—142.
— — производительность труда при сборке кранами 134, 310.
— — расчетные нагрузки их 153.
Кромки *см.* Обрезка кромок, строжка кромок.

Лебедки с полиспастами для подъемки пролетных строений 289.
Лежневые основания подмостей 171, 172.

Мастерские (мостовые) и их оборудование 80—98.
Материал, прочность 28.
— разметка марками 10—12.
— спецификация для завода 12—14.
— стоимость 72—73.
— удлинение на обрезку кромок и т. п. 13.
Мачты для постановки пролетных строений 122, 123.
Машинки сверлильные 58, 59.
Машины клепальные 65, 66, 95.
Металлические подмости *см.* Подмости сборочные.
— фермы *см.* Фермы сборочные, металлические.
Молоты пневматические 43.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Навесная сборка *см.* Сборка мостов без подмостей.
Надвижка пролетного строения поперечная 201—211, 372, 373.
Надвижка пролетного строения продольная по канату 250—254.
— продольная при помощи подвижных опор 236—249.
— — продольная с аванбеком 216—230.
— — — продольная через промежуточную опору 230—236.
Наковальни шаблонные 23, 24.
Настил сборочный при вязке канатов висячих пролетных строений на месте 348—350.
Ножницы для резки металла 36, 37.

Обрезки кромок автогеном 38, 39.
— — дисками 37.
— — ножницами 35—37.
— — пилами 37.
Окраска металла 70—72.
Опоры *см.* Сборка металлических опор. Промежуточные опоры:
Оправки сборочные 53.
Опускание пролетных строений 291, 292.
Осмотр заклепочных отверстий *см.* Приемка и т. д.
Основания для подмостей *см.* Подмости сборочные.
Ось вращения, применяемая при поворачивании пролетного строения, конструкция и расчет 263—269.
Отверстия заклепочные, диаметр 13.
— — пробивка 26—32.
— — сверловка 32—35.
— — сверловка пачками 20, 32—34.
— — *см. также* Рассверловка и т. д.
Отделение обработки в мостовых мастерских 89—92.
Очистка металла 17—50.

Передвижение материалов в мастерских 80—86.
Переметка материала 19—23, 89—92.
Печи для нагрева заклепок 61, 62.
Пилы для резки металла 37.
Пловучие опоры при продольной надвижке пролетных строений 236—243 *см. также* Баржи.
Пловучие основания сборочных подмостей 175—177.
Пловучие подмости для подвозки и установки пролетных строений 255—260.
Платформы выдвижные и подвесные для навесной сборки 313—315.
Плетение канатов висячих пролетных строений *см.* Канаты витые, изготовление их.
Плоскости наклонные для подъема материала на подмости 125.
Поверка правильности положения пролетного строения теодолитом 296, 297.
Поворачивание пролетного строения вокруг вертикальной оси 262—270.
Подвозка и установка пролетных строений на пловучих подмостях 255—262, 372.
Подмости для плоскостей скольжения и качения 187—189, 202—204, 212.
Подмости сборочные 153 сл., 377—380.
— — висячие 164—166.
Подмости данные для расчета 183—186.
— — металлические 160.
— — основания для них 171—179.
— — простые 154—162.
— — с большими отверстиями 162—171.
— — стоимость их 178, 179.
Подмостки подвесные при навесной сборке 312, 313.
Подъем пролетных строений на большую высоту домкратами 280—283.
— цепями 283—291.
— — частей на подмости 125, 127 *см. также* Краны.
Постановка пролетных строений на местах вагами и по настилу 114, 115.
вращающейся рамою 118, 119.
— порталными рамами 116—118.
— при помощи канатов 119—121.
— — при помощи клеток 115, 116.
— при помощи мачт 122, 123.
Правка металлических листов 14, 15.
Прессы вальковые 14.
— для клепки *см.* Машины клепальные.
— дыропробивные *см.* Станки и т. д.
Приемка заклепочных соединений 66, 67.
Применимость навесной сборки к арочным фермам 321, 322, 335.
— — к балочным фермам 317—321, 333.
— — к консольным фермам 315—317.
Приспособление ферм для навесной сборки 315—322.
— — для установки домкратов 276—280.
Приспособление для передвижки 186—201.
для поднятия и опускания пролетных строений 270, 280, 291.
Пробивка заклепочных отверстий *см.* Отверстия заклепочные и т. д.
Провисание пролетных строений 320, 322.
Производительность труда при клепке 64, 65, 136—137.
— — при навесной сборке 297.
— при пневматической рубке 43.
— — при пробивке заклепочных отверстий 29—32.
— при резке металла 39, 40.
— — при сборке пролетных строений 134, 138, 310.
Производительность труда при сборке элементов мостовых конструкций 50, 56, 57.
— — при сверловке заклепочных отверстий 33, 34.
— — при строжке металла 41.
при шаблонировании и переметке 21—23.
— — сверлильных машинок 59.
— — *См. также* Стоимость выпуска мостов из мастерских.
Промежуточные опоры для надвижки пролетных строений 230—232.
— — для навесной сборки 319, 320.
Проушины *см.* Вырезыван. проушин звеньев.

Разгрузная башня *см.* Надвижка пролетного строения продольная.
Разметочная мастерская 89.
Рамы для канатов при продольной надвижке 254.
Рамы *см.* Вращающиеся рамы, портальные рамы.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Рассверловка отверстий окончательная 57, 60, 163—164.
Расходы добавочные и накладные при изготовлении мостов 79, 80.
— — при сборке пролетных строений 139, 140.
— — при устройстве подмостей 183.
Регулирующие устройства при навесной сборке 326—333.
Резка *см.* Обрезка кромок.
Ржавление металла 48.
Ролики для передвижения пролетных строений 195—198, 224—228, 233.
Ряжевые основания для сборочных подмостей 175.

Салазки для передвижения пролетных строений 189—191, 204, 245.
Сборка висячих пролетных строений 339—357.
— металлических опор 357—363.
— мостов 99 сл.
без подмостей 294—339, 375.
— на настиле 123—140.
— на подмостях 153—186.
Сборка подвесной части висячих пролетных строений 354—357.
— пролетных строений на месте 127—140.
— частей моста в мастерской 50—57, 92—96; *см. также* Рассверловка отверстий, соединение металла между собой.
Сборочные площадки в мастерских 92—96.
Свайные основания подмостей 172—175.
Сварка электрическим способом 67, 68.
Сверловка заклепочных отверстий *см.* Отверстия заклепочные и т. д.
Склад готовых изделий 96.
— материалов в мастерской 86—89.
— на месте сборки 124.
Смычка пролетных строений при навесной сборке 332—339.
Станки для правки фасонного металла 14, 15.
— для пробивки заклепочных отверстий 26, 29.
— для резки металла 36, 37.
— для сгибания листов и фасонного материала 24.
— для строжки металла 39, 42.
— многочисленные дыропробивные 20, 21, 23, 31.
— сверлильные 35, 46, 95.
Станки фрезерные 96, *см. также* Мастерские (мостовые) и их оборудование, машины, ножницы, стоимость выпуска мостов из мастерских.
Стоимость выпуска мостов из мастерских 72—80.
— замены существующих пролетных строений новыми 371.
подмостей *см.* Подмости сборочные.
— сборки мостов вообще 100.
— сборки пролетных строений на месте 138—140.
Строжка кромок 39—42.
Строительный подъем 9, 10, 55.

Тележки и ролики для передвижения пролетных строений 195, 204, 207, 208, 214, 225, 228, 233, 245.
Технические условия проектирования подмостей для сборки мостовых пролетных строений 377—380.
Тяговые устройства для приведения пролетных строений в движение 198—201, 209.
— при навесной сборке, расчет 322, 323.
— устройство 323—332.

Укладка витых канатов висячих пролетных строений *см.* Канаты витые и т. д.
цепей висячих пролетных строений 339.
Установка пролетных строений на опоры 292—294.

Фермы сборочные деревянные 163.
металлические 169—171.
Фрезеровка 41, 42, 96.

Цепи висячих пролетных строений 339.
Цилиндры песчаные для опускания пролетных строений 270—272, 291, 292.

Чертежи рабочие 9, 10.

Шаблонирование материала 15—19.
Шаблоны для разметки материала 15—19, 21, 22.
Шары для передвижения пролетных строений 194, 195, 205, 207.
Штамповка проушин звеньев 43—45.
Штемпельные машины 15.
Штучный лист 12.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Сканировала: Хилюта В.П.
НБ ДДУНТ (ДІІТ)