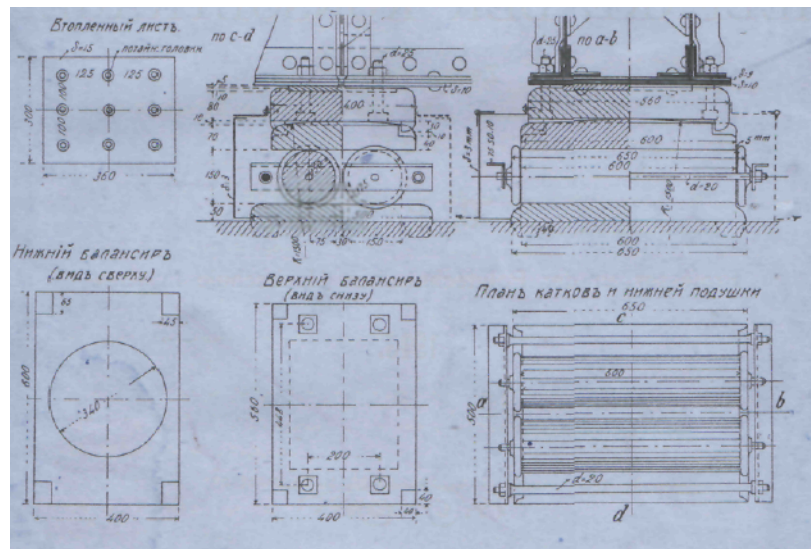


Е. О. ПАТОНЪ.

ЖЕЛѢЗНЫЕ МОСТЫ.

II томъ.



ОПОРНЫЯ ЧАСТИ БАЛОЧНЫХЪ ФЕРМЪ
И
ШАРНИРЫ КОНСОЛЬНЫХЪ ФЕРМЪ.

КІ Е ВЪ.
Типографія Т-ва И. Н. Кушнеревъ и К".
Караваевская ул., д. № 5.

1913.

СОДЕРЖАНИЕ.

ЧАСТЬ I,

Опорные части балочных чермъ.

1. Назначение и классификация опорных частей.....	1
2. Движение опорных точек от действия нагрузки и теплоты (!). Влияние аэри- кальной нагрузки (2), Влияние температуры (3).....	1
1. Требования, предъявляемые к опорным частям, и способы их удовлетворения (5). Шарнирность (5). Подвижность (6).....	5
Заемное расположение подвижных и неподвижных опор (6). Число подвиж- ных опор (8). Однопролетные мосты (8). Многопролетные мосты (11) 6 - Формулы для разчета соприкасающихся тѣлъ на смятіе . I б. Теорія Герца о свободномъ касаніи твердыхъ упругихъ тѣлъ (13). Результаты теоріи Герца (14). Частные случаи теоріи Герца (16). Касаніе двухъ шаровъ (16). Касаніе шара съ плоскостью (17). Касаніе двухъ параллельныхъ иллиндровъ (17). Касаніе цилиндра съ плоскостью (18).....И	
§ 6. Повѣрка формуль Герца опытнымъ путемъ (19). Касаніе двухъ шаровъ (19). Ка- саніе шара и плиты (22). Касаніе цилиндра и плиты (26).....	19
7. Плотное касаніе по цилиндрической и шаровой поверхности (30). Плотное касаніе двухъ цилиндровъ (31). Плотное касаніе двухъ шаровъ (33).....	30
§ 8. Допускаемые напряжения для чугуна и стали (34). I. Смятіе при свободномъ касаніи (34). II. Смятіе при плотномъ касаніи (40). III. Сводная таблица допускае- мыхъ напряжений (41).....	34
і 9. Подферменные камни и ихъ разсчетъ.....	41
азг. Плоскія подушки. 5 Ю. Плоскія подушки (42). Недостатки плоскихъ подушекъ (42). 0 треніи плоскихъ подушекъ (43). Конструкція плоскихъ подушекъ (45).....	42
Балансиры и шарниры.	
А. Балансиры безъ отгѣльного шарнира.	
12.. Выпуклыя подушки (цилиндрическія) (48). Конструкція выпуклыхъ подушекъ (49). Укладка подушекъ на деревянныхъ мауэрлатахъ (49). Укладка подушекъ на под-ферменныхъ камняхъ (50). Примѣры выпуклыхъ подушекъ (53). Размѣры выпук- лыхъ подушекъ и ихъ разсчетъ (54).....	48
Балансиры съ цилиндрическою головкою (57), Мѣры противъ поперечнаго сдвига одного балансира по другому (58). Размѣры нижняго к верхняго балансира (59). Способы прикрѣпленія верхняго балансира къ фермѣ (60). Примѣры баласировъ съ цилиндрическою головкою (60). Разсчетъ баласировъ (65).....	57
§ 13. Балансиры съ шаровою головкою (67). Примѣры баласировъ съ шаровою го- ловкою (68).....	67
В. Балансиры съ шарнирными ПодФами.	
Балансиры съ цилиндрическими цапфами (72). Примѣры такихъ баласировъ (73). 72 '. Залансиры съ призматическими цапфами (78), Примѣры такихъ опоръ (78) 78 '-'. галансиры со сферическими цапфами (79). Примѣры такихъ опоръ (80) 79	
Точная установка баласировъ помощью клиньевъ.....	83
Катки.	
ндрическіе катки (87). Сопротивленіе цилиндрическихъ катковъ при катаніи (87). глые катки (89). Срѣзанные катки (89). А. Рамы для катковъ (90). В. Мѣры противъ поперечнаго сдвига катковъ (93). 0. Мѣры противъ продольнаго угона катковъ (98). Специальные мѣры противъ опрокидыванія срѣзанныхъ катковъ (102). Д. Подушки для катковъ (103). Трехшарнирная опора (104). Установка катковъ при постройкѣ моста (107). Разсчетъ катковъ (108). Обзоръ формуль для разчета катковъ на смятіе (108).....	87

	СТР.
§ 19. Катковья опоры съ поперечною, діагональною и всестороннею подвижносью (111). Поперечно-подвижныя опоры на каткахъ (112). Діагонально-подвижныя опоры (113). А. Двухъярусныя опоры (115). Опоры съ шаровыми катками (117)	111
§ 20. Футляры противъ засоренія катковъ	119
V. Глава. Шарнирно-подвижныя опоры упрощеннаго типа.	
§ 21. Однокатковья опоры (121). Простой цилиндрической катокъ (121). Примѣры одно- катковыхъ опоръ (122). Расчетъ однокатковой опоры (125). Катокъ Кюблера (128). Катокъ Хаберкальта (129)	121
§ 22. Секторныя опоры (132). Шарнирныя секторныя опоры (133). Нешарнирныя сек- торныя опоры (135)	132
§ 23. Качающіяся опоры (135). Примѣры качающихся опоръ (136)	135
VI. Глава.	
§ 24. Закрѣпленіе опоръ на случай отрыванія (138). А. Вертикально-закрѣпленныя опоры (138). В. Горизонтально-закрѣпленныя опоры (143)	138
§ 25. Наклонныя опоры	144
§ 26. Двойныя центрированныя опоры на быкахъ	147
§ 27. Въсь опорныхъ частей	154

Часть II.

Шарниры консольныхъ фермъ.

§ 28. Классификація шарнировъ консольныхъ фермъ	155
§ 29. Шарниры въ видѣ обыкновенныхъ опорныхъ частей	156
§ 30. Шарниры, устроенные при помощи одного болта	163
§ 31. Шарниры въ видѣ качающейся подвѣски или стойки	166
§ 32. Шарниры въ видѣ упругаго соединенія (171). Четыре способа устройства упру- гихъ соединеній (172). Листовые шарниры (175). Примѣры листовыхъ шарни- ровъ (176). Расчетъ листовыхъ шарнировъ (184). Примѣръ расчета (185)	171

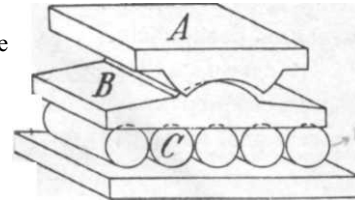


Часть I.

Опорные части балочных ферм.

§ 1. Назначение и классификация опорных частей.

Опорные части фермы непосредственно на устои или быки моста не даются. Для этой цели служат, так называемые опорные части, которые должны удовлетворять четырем условиям: 1) они должны иметь направление приложения опорных реакций, чтобы достигалось опирание последних; 2) они должны устранять напряжения в элементах фермы; 3) они должны давить ферму равномерно по верхней площадке быка



з. -е-ующим и точку статическая ;ополнительная распределять или устоя.

Опора, удовлетворяющая одновременно всем четырем условиям, вентно состоит (фиг. 1): 1) из нижней подушки *I*), распределяющей ее по подферменному камню; 2) из катков *C* или иных, допускающих линейное перемещение опоры; 3) из нижнего баланса *B*, распределяющего давление на катки и снабженного наверху шарниром, допускающим вращение фермы относительно опоры; 4) из верхнего раянсира *A*, прикрепленного к ферме и опирающегося на нижний баланс *B* помощью шарнира. Смотря по обстоятельствам, некоторые из перечисленных составных частей могут отсутствовать или же, для упрощения конструкций, несколько частей могут быть заменены одной частью, исполняющей одновременно несколько

Фиг. 1. -»

Классификация. Исходя из того, что всякая рационально устроенная опора должна обладать шарнирностью, будем различать две основные группы разных частей, а именно подвижные и неподвижные. Подвижными нач такие опорные части, которые допускают небольшое линейное перемещение точки опоры фермы. Основное свойство подвижных опор заключается в том, что реакция опоры направлена перпендикулярно к плоскости движения опоры при условии, конечно, что трение опоры пренебрегается.

§ 2. Движение опорных точек от действия нагрузки и теплоты.

Вследствие изменения температуры воздуха и прогиба фермы, опорные точки строения испытывают некоторое движение, которое складывается из вращения и из перемещения в продольном и поперечном направлениях. Во избежание угона, одна из опор всегда закрепляется, а остальные опоры делаются подвижными. Ознакомимся с вопросом о движении последних.

А. Вліяніе вертикальной нагрузки. Продольное перемѣщеніе Δ_1 . Отъ дѣйствія вертикальной нагрузки всякая разрѣзная балочная ферма прогибается внизъ, причемъ нижній поясъ удлиняется, а верхній — укорачивается. Опорныя части должны перемѣщаться вмѣстѣ съ тѣмъ поясомъ, къ которому онѣ прикрѣплены. Исключеніе составляютъ фермы, въ которыхъ оба пояса сходятся на опорахъ и нейтральная ось ¹⁾ фермы совпадаетъ съ прямою линіею, соединяющею обѣ опоры (напр., ферма Паули); тогда прогибъ фермы не вызываетъ линейнаго перемѣщенія опоръ, такъ какъ разница между длиною нейтральной оси до и послѣ изгиб ничтожна.

Величину горизонтальнаго перемѣщенія опоръ сквозныхъ фермъ можно разсчитать на основаніи теоремы Мора о возможныхъ перемѣщеніяхъ. Принимая одну изъ опоръ неподвижною, обозначимъ черезъ Δ_1 искомое горизонтальное перемѣщеніе другой, подвижной, опоры и разсмотримъ ферму послѣдовательно въ двухъ случаяхъ равновѣсія.

I случай. На ферму дѣйствуетъ основная вертикальная нагрузка, вызывающая въ элементахъ фермы длиною l_1, l_2, \dots усилія S_1, S_2, \dots , подѣ влияніемъ которыхъ элементы получаютъ измѣненія длины:

$$\lambda_1 = \frac{S_1 \cdot l_1}{E \cdot \omega_1}; \quad \lambda_2 = \frac{S_2 \cdot l_2}{E \cdot \omega_2} \dots \dots \dots$$

гдѣ $\omega_1, \omega_2, \dots$ обозначаютъ площади сѣченія элементовъ.

II случай. Къ подвижной опорѣ приложена горизонтальная сила $= 1$. Другой нагрузки нѣтъ. Отъ силы $= 1$ возникаютъ въ элементахъ усилія U_1, U_2, \dots а на неподвижной опорѣ — реакція A . На основаніи теоремы Мора работа всѣхъ силъ, какъ внѣшнихъ, такъ и внутреннихъ одного случая для перемѣщеній другого случая равна нулю. Возьмемъ силы II случая и перемѣщенія перваго; тогда

$$A \cdot a + 1 \cdot \Delta_1 - \sum U \cdot \frac{S \cdot l}{E \cdot \omega} = 0.$$

Но $a = 0$, такъ какъ неподвижная опора не можетъ перемѣщаться, а потомъ искомое горизонтальное перемѣщеніе подвижной опоры

$$\Delta_1 = \sum U \frac{S \cdot l}{E \cdot \omega}$$

Въ частномъ случаѣ, когда поясъ, прикрѣпленный непосредственно къ опорнымъ частямъ, — прямой, расчетъ горизонтальнаго перемѣщенія Δ_1 значительно упрощается, такъ какъ для всѣхъ элементовъ фермы, кромѣ прямого пояса, соединяющаго опоры, усилія U равны нулю.

При наличности прямого пояса, непосредственно соединяющаго опоры, возможенъ еще болѣе простой, но менѣе точный способъ расчета, причемъ горизонтальное перемѣщеніе Δ_1 приравнивается измѣненію длины прямого пояса отъ нагрузки. Разсчитаемъ перемѣщеніе Δ_1 отъ вертикальной временной нагрузки обозначимъ черезъ:

l въ см. — пролетъ фермы,

p въ кил. на пог. см. одной фермы — постоянную нагрузку,

¹⁾ По аналогіи со сплошными фермами нейтральною осью сквозныхъ фермъ называетъ линія, соединяющая центры тяжести поперечныхъ сѣченій фермы или, съ достаточною точностію, соединяющая середины высотъ фермы.

k въ кил. на пог. см. одной фермы—временную нагрузку,

E въ кил. на см.²—коэффициентъ упругости матеріала фермъ,

ϕ конструктивный коэффициентъ прямого пояса, соединяющаго опоры, т. е. отношение дѣйствительной площади сѣченія пояса къ его теоретической площади ²⁾,

R въ кил. на см.²—допускаемое напряженіе для фермъ,

n въ кил. на см.²—среднее напряженіе прямого пояса отъ временной нагрузки, расположенной по всему пролету.

Приравнивая искомое перемѣщеніе Δ_1 измѣненію длины прямого пояса, ис-
звѣствующаго среднее напряженіе n , получимъ

$$\Delta_1 = \frac{n \cdot l}{\phi \cdot E} \cdot \text{Кромѣ того } \frac{n}{R} = \frac{k}{p+k}.$$

$$\text{Слѣдовательно } \Delta_1 = \frac{k}{p+k} \cdot \frac{R \cdot l}{\phi \cdot E}$$

Разсчитывая по этой формулѣ перемѣщенія Δ_1 для ряда желѣзнодорожныхъ мо-
стѣвъ ѣздой по низу, проектированныхъ по послѣднимъ (1907 года) нормамъ
Мин. Пут. Сооб., получаемъ:

при $l =$	20	30	50	80	110	125	150	мет.
$\Delta_1 =$	3,0	5,0	7,8	12,8	16,8	18,9	20,8	м.м.

Вращеніе опорной точки при прогибѣ фермы. Уголъ поворота опорной точки
при прогибѣ фермы равенъ углу α наклоненія упругой линіи на опорѣ. Уголъ α
опредѣляется двойнымъ интегрированіемъ дифференціального уравненія упругой

$$\text{фермы: } E \cdot J \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = M.$$

Для случая равномерно нагруженной (p) простой балки постоянного сѣче-
ния и пролетомъ l уголъ α разсчитывается по формулѣ:

$$E \cdot J \cdot \text{tg } \alpha = \frac{p \cdot l^3}{24}$$

E коэффициентъ упругости матеріала фермы,

J —моментъ инерціи сѣченія, причемъ для сквозной фермы, высотой h съ параллельными
поясами, каждый съ площадью сѣченія ω , можно принять

$$J = \frac{\omega \cdot h^2}{2}.$$

В. Вліяніе температуры. Измѣненіе температуры воздуха вызываетъ на опо-
ре не только линейное перемѣщеніе, но нерѣдко также вращеніе. Только пе-
реносъ наблюдается при равномерномъ дѣйствіи температуры на всѣ части
моста. Перемѣщеніе въ связи съ вращеніемъ соотвѣтствуетъ случаю неравномер-
наго дѣйствія температуры.

Равномерное дѣйствіе температуры на всѣ части моста возможно только въ
ясную погоду или когда весь мостъ защищенъ отъ солнца. Полагая одну опору
стационарною, а другую подвижною и обозначая черезъ

α —коэффициентъ линейнаго расширенія матеріала фермы при измѣненіи температуры на 1⁰ Ц.,
 t —разность между высшею и низшею температурою,

l въ мет. пролетъ фермы,

Δ_2 —полное перемѣщеніе подвижной опоры вдоль фермы при равномерномъ
дѣйствіи температуры

$$\Delta_2 = \alpha \cdot t \cdot l.$$

Значенія ϕ приведены на стр. 10 брошюры: Патонъ, „Всѣхъ желѣзныхъ мостовъ“. 1905.

Коэффициенты расширенія при измѣненіи температуры на 100° Ц.

Для чугуна.	Для сварочнаго желѣза.	Для литого желѣза и незакаленной стали.	Для закаленной стали.
$\alpha_0 = 0,00111$	$\alpha_0 = 0,00123$	$\alpha_0 = 0,00108$	$\alpha_0 = 0,00124$

Разность t между высшею и низшею температурами принимается отъ 60 до 80° Ц. На прусскихъ казенныхъ ж. д. въ 1903 г. предписано принимать $t = 70^\circ$ Ц., соотвѣтственно низшей температурѣ $- 25^\circ$ Ц. и высшей $+ 45^\circ$ Ц. Въ Америкѣ принимаютъ $t = 80^\circ$ Ц.

Части моста, подверженныя непосредственному дѣйствію солнечныхъ лучей, несомнѣнно могутъ нагрѣваться выше $+45^\circ$ Ц. Однако трудно предположить столь высокую температуру одновременно во всѣхъ частяхъ моста; поэтому при расчетѣ общаго расширенія фермъ нѣтъ надобности задаваться самою высокою наблюдаемою температурою.

Таблица расширеній $\alpha \cdot t$ на пог. мет. моста.

При разности t предѣльныхъ температуръ.	60°	70°	80°	Ц.
Для чугуна	0,666	0,777	0,888	мм.
„ сварочнаго желѣза	0,738	0,861	0,984	мм.
„ литого желѣза и незакаленной стали	0,648	0,756	0,864	мм.
„ закаленной стали	0,744	0,868	0,992	мм.

Примѣръ. Для фермы изъ литого желѣза при пролетѣ $l = 100$ м. и разности температуръ $t = 70^\circ$ Ц. перемѣщеніе подвижной опоры

$$\Delta_1 = 0,756 \cdot 100 = 75,6 \text{ мм.}$$

Вслѣдствіе измѣненія длины поперечной конструкціи, наравнѣ съ фермами, пролетное строеніе моста расширяется не только вдоль, но и поперекъ фермъ. Поэтому при значительной ширинѣ моста слѣдуетъ снабжать подвижныя опоры не только продольною, но и поперечною подвижностью.

Неравномѣрное дѣйствіе температуры почти всегда наблюдается въ солнечную погоду, когда однѣ части моста подвержены непосредственному вліянію лучей солнца, а другія, находясь въ тѣни, нагрѣваются слабѣе. Вслѣдствіе такого неравномѣрнаго нагрѣванія, пролетное строеніе испытываетъ не только линейное расширеніе, но также изгибъ и притомъ не только въ вертикальной, но и въ горизонтальной плоскости. При этомъ точки опоры испытываютъ, какъ линейное перемѣщеніе, такъ и вращеніе.

Вертикальный изгибъ фермъ можетъ происходить не только внизъ, но и вверхъ. Для поясненія приведемъ два примѣра. Въ мостѣ съ ѣздою по верху верхніе пояса, находясь въ тѣни отъ проѣзжей части, нагрѣваются слабѣе нижнихъ поясовъ, которые получаютъ дополнительное удлиненіе, вслѣдствіе чего фермы изгибаются внизъ. Въ мостѣ съ ѣздою по низу, нижніе пояса фермъ, находясь въ тѣни отъ проѣзжей части, нагрѣваются слабѣе верхнихъ поясовъ; тогда происходитъ дополнительное расширеніе верхнихъ поясовъ, фермы получаютъ изгибъ вверхъ и подвижныя опоры перемѣщаются не наружу, какъ слѣдуетъ ожидать при повышеніи температуры, а наоборотъ, во внутрь моста. Такое явленіе наблюдалось въ желѣзнодорожномъ мостѣ черезъ Эльбу въ Теченѣ съ неразрѣзными фермами черезъ два пролета по 100 мет.

Горизонтальный изгибъ пролетнаго строенія возможенъ какъ такъ и въ другую сторону, причемъ его верхняя и нижняя половины изгибаться не только вмѣстѣ, но и каждая въ отдѣльности. Для примѣра возьмемъ мостъ съ ѣздою по низу, съ прямыми нижними и полигональными верхними поясами. Предположимъ, что солнце находится съ правой стороны и непременно нагрѣваетъ нижній поясъ правой фермы, между тѣмъ какъ нижній поясъ лѣвой фермы находится въ тѣни отъ проѣзжей части. Правый поясъ распухнетъ больше лѣваго, такъ что горизонтальная ферма, представляющая нижнюю ферму, выгибается выпуклою стороною вправо и стремится сдвинуть опору лѣвой фермы, во внутрь пролета. При нахожденіи солнца съ лѣвой стороны замѣчается обратное явленіе, т. е. нижняя горизонтальная ферма изгибается выпуклою стороною влѣво, стремясь сдвинуть подушки правой фермы. Это къ которому мы еще вернемся въ слѣдующемъ §, имѣетъ существенное значеніе при проектированіи опорныхъ частей большихъ мостовъ.

Заключеніе. Общее линейное перемѣщеніе Δ подвижной опоры получится сложеніемъ перемѣщеній Δ_1 и Δ_2 , соответствующихъ вліянію вертикальной и измѣненія температуры: $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$.

Въ действительности общее перемѣщеніе Δ будетъ немного меньше, вслѣдствіе тренія вызываемаго при движеніи опоры. Въ случаѣ устройства подвижныхъ каткахъ, это треніе настолько ничтожно, что можно пренебречь его вліяніемъ на величину перемѣщенія Δ .

Требованія, предъявляемыя къ опорнымъ частямъ, и способы ихъ удовлетворенія.

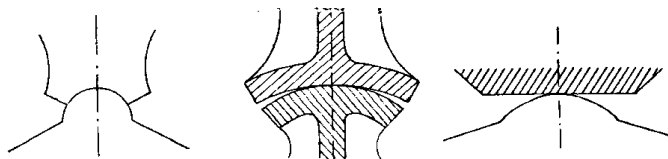
1) Устройство опорныхъ частей должно удовлетворять слѣдующимъ условіямъ: 2) опорныя части должны обладать шарнирностью для того, чтобы ферма при прогибѣ отъ нагрузки могла вращаться относительно опоры и чтобы опорная точка имѣла опредѣленную точку приложенія, не измѣняющуюся при прогибѣ фермы; 3) подвижныя опоры должны допускать перемѣщенія фермы, вызванныя нагрузкою отъ нагрузки и измѣненіемъ температуры; 3) размѣры опорныхъ частей должны быть достаточны для безопасной передачи давленія фермы и для безопаснаго его распредѣленія на подферменный камень.

Для удовлетворенія III условію надо рассчитывать размѣры нижней плиты опоры вѣдывая допускаемаго напряженія на раздробленіе подферменнаго камня. Что касается первыхъ двухъ условій, то они могутъ быть удовлетворены слѣдующими конструктивными мѣрами.

Шарнирность опорныхъ частей или возможность вращенія верхняго пояса относительно нижняго, достигается двумя способами: 1) закругленіемъ головки балансировъ въ мѣстахъ взаимнаго соприкасанія или 2) помѣщеніемъ шарнирной цапфы между балансирами.

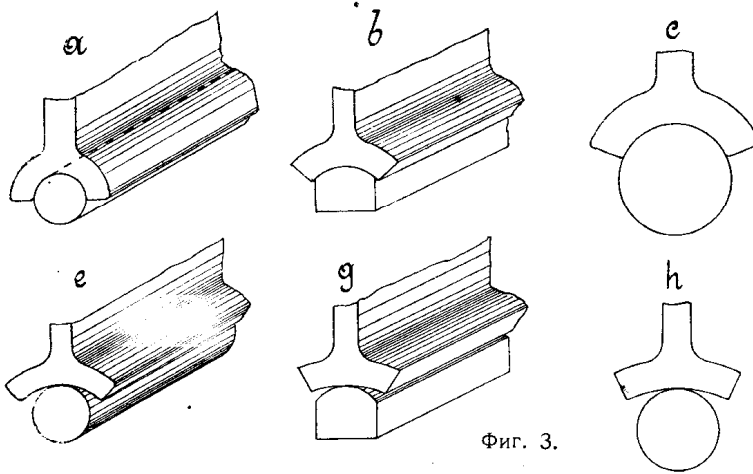
Соприкасаніе балансировъ между собою и съ цапфою можетъ быть плотнымъ или свободнымъ, оно происходитъ по поверхности, или свободное, если оно происходитъ въ точкѣ, такъ какъ качаніе одного балансира относительно другого или по цапфѣ.

Въ балансирахъ съ шарнирною головкою соприкасанія могутъ быть (фиг. 2): а) обѣ цилиндрическія съ



Фиг. 2.

одинаковымъ или различнымъ радиусомъ кривизны (плотное и свободное касаніе);



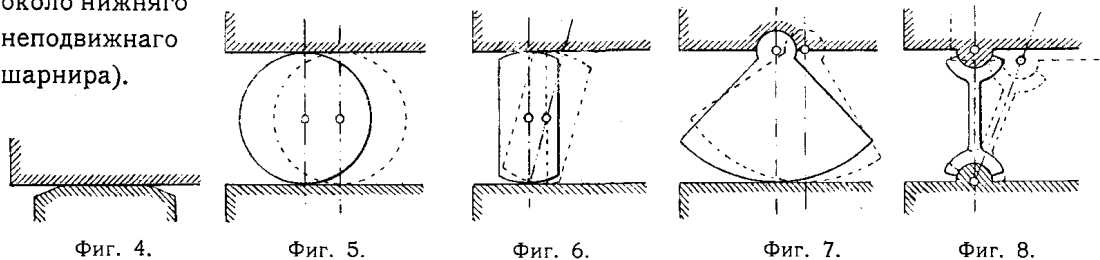
Фиг. 3.

β) обѣ шаровыя съ одинаковымъ или различнымъ радиусомъ кривизны (плотное и свободное касаніе); γ) одна плоская, а другая выпуклая, цилиндрическая или шаровая (только свободное касаніе).

2) Шарнирныя цапфы, прокладываемыя между верхнимъ и нижнимъ балансирами, бываютъ цилиндрическія

(фиг. 3 а, е), призматическія (фиг. 3 б, г) и шаровыя (фиг. 3 с, h). При всѣхъ трехъ типахъ цапфъ касаніе можетъ быть плотное или же свободное.

II условіе. Подвижность опорныхъ частей достигается: а) устройствомъ скользящихъ подушекъ (фиг. 4), плоскихъ или выпуклыхъ (скольженіе); б) устройствомъ одного или нѣсколькихъ катковъ (фиг. 5 и 6), цилиндрическихъ или шаровыхъ, круглыхъ или срезанныхъ (свободное катаніе); с) устройствомъ цилиндрическаго или шарового сектора (фиг. 7), вращающагося около верхняго шарнира, который перемѣщается вмѣстѣ съ фермою; d) устройствомъ качающагося балансира (фиг. 8) съ двумя цилиндрическими или шаровыми шарнирами (качаніе около нижняго неподвижнаго шарнира).



Фиг. 4.

Фиг. 5.

Фиг. 6.

Фиг. 7.

Фиг. 8.

Въ первыхъ четырехъ случаяхъ (фиг. 4 до 7) ферма остается при перемѣщеніи на одномъ и томъ же уровнѣ; движеніе происходитъ по горизонтальной площадкѣ, такъ что опорная реакція сохраняетъ свое вертикальное направленіе какъ до, такъ и во время движенія, при условіи, конечно, что треніемъ пренебрегается. Въ качающейся опорѣ (фиг. 8) ферма опускается и поднимается при продольномъ перемѣщеніи ея конца, причѣмъ опорная реакція отклоняется отъ вертикальнаго положенія, независимо отъ тренія.

§ 4. Взаимное расположеніе подвижныхъ и неподвижныхъ опоръ.

При распредѣленіи подвижныхъ и неподвижныхъ опоръ моста слѣдуетъ имѣть въ виду: 1) возможность свободнаго расширенія всего пролетнаго строенія отъ равномернаго и неравномернаго дѣйствія теплоты; 2) возможность свободнаго изгиба фермъ отъ вертикальной нагрузки, т.-е. возможность продольнаго перемѣщенія одного конца фермы; 3) невозможность сдвига пролетнаго строенія отъ дѣйствія горизонтальной нагрузки, какъ-то вѣтра, ударовъ колесъ поѣзда

ажения и проч., а также возможность свободного изгиба системы про-
связей въ горизонтальномъ направленіи. Наиболѣе важнымъ является
требованіе, такъ какъ невыполненіе его влечетъ за собою значительныя
въ элементахъ пролетнаго строенія и усилія, передающіяся быкамъ и
Насколько значительны указанныя напряжения и усилія усматри-
вдующихъ соображеній.

шной брусъ. Если задѣлать концы бруса такъ, чтобы онъ не могъ
длины l , и подвергнуть его дѣйствию теплоты, вызывающей въ
ельное удлиненіе i , то въ брусѣ появятся внутреннія напряжения $n = E \cdot i$,
 $i = \frac{\alpha \cdot t \cdot l}{l} = \alpha \cdot t$, такъ что $n = E \cdot \alpha \cdot t$, гдѣ α — коэффициентъ расширенія

разность между первоначальною и конечною температурою. Итакъ до-
напряжение n не зависитъ ни отъ длины, ни отъ сѣченія бруса.

повышеніи температуры до $+50^\circ$ Ц., считая, что концы бруса были за-
при температурѣ $+10^\circ$ Ц., брусъ изъ литого желѣза уже испытываетъ
превышающее допускаемую норму:

$$n = 2150000 \cdot 0,0000108 \cdot 40 = 929 \text{ к. см}^2. > 750 + 2l.$$

измѣненіи температуры на t опоры бруса постоянного сѣченія ω испы-
слѣдующій распоръ: $H = n \cdot \omega = E \cdot \alpha \cdot t \cdot \omega$. Слѣдовательно распоръ зависитъ
но не отъ длины бруса. При устройствѣ одной изъ опоръ фермы под-
указанный распоръ исчезаетъ за вычетомъ силы тренія, вызываемаго при
ніи подвижной опоры.

Связная ферма. Разсмотримъ простѣйшій случай разрывной параболической
съ прямымъ нижнимъ поясомъ, непосредственно соединяющимъ обѣ опоры.
закрѣпленія концовъ фермы, равномерное измѣненіе температуры всѣхъ
фермы на t° вызоветъ вышеуказанное дополнительное напряжение $n = E \cdot \alpha \cdot t$
въ нижнемъ прямомъ поясѣ. Параболическій поясъ, раскосы и стойки мо-
свободно расширяться и не получаютъ дополнительныхъ напряженій ³⁾.

споръ H . Такъ какъ сѣченія прямого пояса параболической фермы
мало разнятся въ отдѣльныхъ панеляхъ, то можно принять площадь ω
вною на всемъ протяженіи фермы. Согласно вышеизложенному ра-
редающійся опорамъ,

$$H = n \cdot \omega = E \cdot \alpha \cdot t \cdot \omega.$$

черезъ:

ω — пролетъ фермы,

k — к. на п. м. фермы — постоянную и временную нагрузку,

h — высоту фермы по срединѣ пролета,

R — см.² допускаемое напряжение матеріала на растяженіе;

ϕ — конструктивный коэффициентъ, т. е. отношеніе дѣйствительнаго вѣса пояса къ теорети-
му;

площадь сѣченія пояса въ см.² будетъ съ достаточною точностью:

$$\omega = \frac{(p + k) l^2}{8 \cdot h \cdot R} \cdot \phi.$$

$$H = E \cdot \alpha \cdot t \cdot \frac{(p + k) l^2}{8 \cdot h \cdot R} \cdot \phi.$$

какъ горизонтальная сила, приложенная къ любой опорѣ (распоръ H), вызываетъ
въ прямомъ поясѣ, а криволинейный поясъ, раскосы и стойки не напряжены.

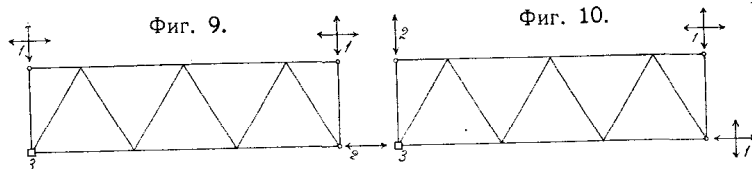
Разсчитывая значенія H для различныхъ пролетовъ въ предположеніи повышенія температуры на $+40^\circ \text{Ц.}$ противъ средней температуры $+10^\circ \text{Ц.}$, при которой была собрана ферма и закрѣплены ея опоры, и принимая для p, k, R значенія, соотвѣтствующія желѣзнодорожнымъ мостамъ, получимъ

при $l =$	25	50	75	100	125 м.
$H =$	189	391	561	686	879 тон.

З а к л ю ч е н і е. При устройствѣ обѣихъ опоръ неподвижными, элементы фермы подвержены значительнымъ дополнительнымъ напряжениямъ до 929 к.см^2 , а опоры моста—значительному горизонтальному распору, котораго при большихъ пролетахъ достаточно для разстройства каменной кладки, а иногда даже для опрокидыванія быковъ. Отсюда усматривается нерациональность закрѣпленія пролетнаго строения моста на всѣхъ его опорахъ. При устройствѣ только одной опоры неподвижною, распоръ почти исчезаетъ и равняется силѣ $f \cdot A$ тренія при движеніи подвижныхъ опоръ, причемъ A обозначаетъ наибольшее давленіе опоры, f —коэффициентъ тренія $= 0,3$ до $0,04$, смотря по тому, устроены ли опорныя части скользящими или на каткахъ.

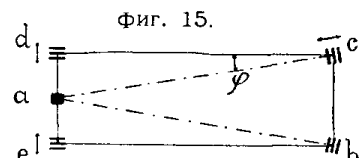
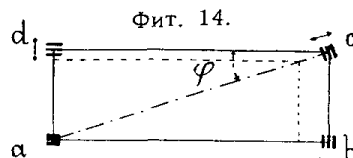
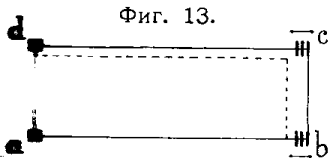
Число подвижныхъ опоръ. При назначеніи числа и мѣста расположенія подвижныхъ опоръ, до послѣдняго двадцатилѣтія обращали вниманіе только на возможность свободнаго расширенія фермъ моста, не заботясь о расширеніи поперечной конструкции. Принято было снабжать каждую ферму одною неподвижною опорой, а остальные опоры этой фермы устраивать подвижными, такъ чтобы онѣ допускали перемѣщеніе только вдоль фермы. Такимъ образомъ, при установкѣ однопролетнаго строения съ двумя фермами на четырехъ опорахъ, двѣ изъ нихъ принимались неподвижными, а двѣ подвижными вдоль фермъ (фиг. 13), не считаясь съ дополнительными напряжениями, которыя при этомъ вызывались въ поперечной конструкціи моста. Такой неправильный взглядъ на дѣло нынѣ устарѣлъ и находятъ возможнымъ придерживаться его только для узкихъ мостовъ небольшого пролета. Что же касается мостовъ большой ширины и пролета, то въ послѣднее время стремятся разсматривать ихъ какъ пространственную систему взаимно связанныхъ стержней, заботясь о возможности ея расширенія какъ вдоль, такъ и поперекъ моста. Такое расширеніе возможно при наличности только одной неподвижной опоры, а всѣ остальные опоры должны быть подвижными. Разсмотримъ способъ рациональнаго расположенія опоръ отдѣльно для однопролетныхъ и многопролетныхъ мостовъ.

А. Однопролетные мосты. Случай четырехъ опоръ. Начнемъ съ самаго употребительнаго случая, когда пролетное строеніе имѣетъ четыре опоры. Наиболѣе рациональное устройство опоръ получится (фиг. 9 и 10), если одну опору сдѣлать



неподвижною, одну опору продольно — или поперечно-подвижною и остальные двѣ опоры—со всестороннею подвижно-стью. Обѣ системы могутъ свободно расширяться по всѣмъ направленіямъ; онѣ имѣютъ по 7 неизвѣстныхъ опорныхъ реакцій и поэтому однажды статически неопредѣлимы относительно внѣшнихъ силъ. Менѣе совершенныя системы въ смыслѣ свободы расширенія получаются, (фиг. 11 и 12).

одну опору устроить неподвижною, одну опору — продольно-подвижною, одну поперечно-подвижною и одну опору — всесторонне-подвижною. Такія системы по 8 неизвѣстныхъ опорныхъ реакцій и поэтому дважды статически неопредѣлимы относительно внѣшнихъ силъ. Всѣ четыре разсмотрѣнныя системы имеютъ тѣмъ недостаткомъ, что конструкція всесторонне-подвижныхъ опоръ довольно сложна. Ради упрощенія конструкціи, на практикѣ часто прибѣгаютъ къ слѣдующему устройству опоръ, несмотря на то, что оно трижды статически неопредѣлительно относительно внѣшнихъ силъ: одну опору a дѣлаютъ неподвижною (фиг. 14), одну опору



— продольно-подвижною, одну опору d — поперечно-подвижною и одну опору c — поперечно-подвижною по направленію діагонали ac . Выяснимъ, насколько такое устройство удовлетворяетъ тремъ требованіямъ, изложеннымъ въ началѣ настоящаго §.

1. Если подвижная опора c можетъ перемѣщаться только по діагонали ac , то свободное расширеніе всего строенія возможно лишь при равномерномъ расширеніи дѣйствию теплоты, т.-е. до тѣхъ поръ, пока будетъ существовать подобіе треугольника abc до и послѣ его деформации, т.-е. пока уголъ cab будетъ оставаться безъ измѣненія. При неравномерномъ дѣйствию теплоты на пролетное строеніе, уголъ cab будетъ измѣнять свою величину; тогда равнодѣйствующая равнодольнаго и поперечнаго перемѣщенія опоры c не будетъ направлена перпендикулярно къ оси катковъ, и ферма будетъ скользить по каткамъ опоры c . Такое устройство опоръ согласно фиг. 14 вполне удовлетворительно во всѣхъ случаяхъ, когда можно рассчитывать на равномерное расширеніе поясовъ фермъ и прилежащихъ къ нимъ частей поперечной конструкціи; на примѣръ, въ мостахъ съ катками по низу, когда проѣзжая часть прикрѣплена къ прямымъ нижнимъ поясамъ и устроены наружные тротуары или, въ мостахъ съ катками по верху, когда устроены съ прямымъ верхнимъ и криволинейнымъ нижнимъ поясомъ, поддерживаемыми на опорахъ, и когда проѣзжая часть свѣшивается за поддерживаемые ее верхніе пояса. Въ обоихъ случаяхъ поперечныя балки проѣзжей части непосредственно поддерживающіе ихъ пояса фермъ защищены отъ солнечныхъ лучей и находясь всегда въ тѣни, расширяются равномерно.

2. Устойчивость пролетнаго строенія на случай дѣйствія горизонтальной нагрузки вполне обезпечена неподвижностью опоръ a и b въ поперечномъ направленіи; но горизонтальная ферма, служащая нижними связями, не можетъ свободно прогибаться въ горизонтальномъ направленіи, если опора d не допускаетъ перемѣщенія вдоль моста. Для этой цѣли слѣдуетъ оставлять зазоры между торцами катковъ и крайними подушки подъ ними.

3. Изгибъ фермы ab (фиг. 14) отъ вертикальной нагрузки можетъ происходить вполне свободно, такъ какъ опора b подвижна по направленію ab . Если опора d касается фермы cd , то при ея изгибѣ опора d является неподвижною, а опора c обладаетъ неполною подвижностью, такъ какъ направленіе ca ея движенія совпадаетъ съ плоскостью фермы cd . Перемѣщеніе cd можетъ быть направлено по направленію ca и перпендикулярно къ нему; между тѣмъ какъ первая составляющая не встрѣчаетъ сопротивленія, вторая составляющая

стремится сдвинуть конецъ фермы поперекъ моста въ ту или другую сторону. смотря по смыслу измѣненія температуры.

Случай пяти опоръ. Чтобы ослабить указанный недостатокъ прибѣгаютъ къ уменьшенію угла φ между фермою $c d$ и діагональю $c a$ по способу, изображенному въ фиг. 15 и примененному впервые заводомъ Harkort ⁴⁾. Сводя діагонали первой панели продольныхъ связей въ середину a опорной распорки $e d$, устраиваютъ тамъ новую пятую опору и принявъ ее неподвижною, устраиваютъ остальные четыре опоры подвижными, а именно опоры e и d —поперекъ моста, а опоры b и c по направленію діагоналей $a b$ и $a c$. При такомъ устройствѣ опоръ (фиг. 15) уголъ φ наклоненія катковъ (опоръ b и c) почти въ два раза меньше, чѣмъ въ фиг. 14 (опора c), такъ что при прогибѣ фермъ ихъ подвижные концы могутъ перемѣщаться свободнѣе, чѣмъ въ случаѣ, соответствующемъ фиг. 14. Неподвижной опорѣ a (фиг. 15) передается ничтожное вертикальное давленіе; она должна преимущественно сопротивляться дѣйствию горизонтальной нагрузки вмѣстѣ съ правыми опорами b и c , которыя для этой цѣли должны быть снабжены ребрами или другими приспособленіями (см. § 18). Опору a необходимо прочно задѣлать въ каменной кладкѣ, такъ какъ получая ничтожное вертикальное давленіе, она въ виду отсутствія тренія, оказываетъ очень слабое сопротивленіе сдвигу.

Способъ, показанный въ фиг. 15, представляетъ наиболѣе простое и совершенное рѣшеніе задачи въ тѣхъ случаяхъ, если исключена возможность неравномернаго дѣйствія теплоты на проѣзжую часть и связанные съ нею пояса фермъ, напримѣръ, въ мостахъ съ ѣздою по низу, когда проѣзжая часть съ наружными тротуарами прикрѣплена къ прямымъ нижнимъ поясамъ фермъ, защищеннымъ отъ солнца тротуарами, или въ мостахъ съ ѣздою по верху, когда фермы устроены съ прямымъ верхнимъ и криволинейнымъ нижнимъ поясомъ, пересѣкающимися на опорахъ, и когда проѣзжая часть свѣшивается за поддерживающіе ее верхніе пояса, защищая ихъ отъ солнца.

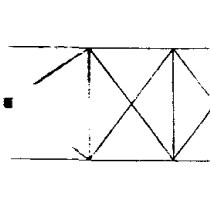
При отсутствіи тротуаровъ или иныхъ свѣшивающихся за фермы частей, защищающихъ пояса отъ солнца, необходимо считаться съ неравномернымъ дѣйствіемъ теплоты, т.-е. съ одностороннимъ нагрѣвомъ поясовъ, причеиъ происходитъ изгибъ горизонтальной вѣтровой фермы въ горизонтальномъ направленіи (см. § 2). Остановливаясь на примѣрѣ моста съ ѣздою по низу съ прямыми нижними поясами фермъ, предположимъ, что солнце непосредственно нагрѣваетъ нижній поясъ лѣвой фермы $d c$ (фиг. 17), между тѣмъ какъ нижній поясъ другой фермы $e b$ находится въ тѣни отъ проѣзжей части. Вслѣдствіе большаго расширенія лѣваго пояса, горизонтальная ферма, представляющая нижнія связи изогнется выпуклою стороною влѣво; опора a , находясь на нейтральной оси фермы останется на своемъ мѣстѣ; точки d и c перемѣстятся наружу, а точки e и b вънутрь, стремясь сдвинуть опоры подъ ними. При нахожденіи солнца съ правой стороны, произойдетъ изгибъ горизонтальной фермы вправо, а опоры перемѣстятся въ обратныя стороны, чѣмъ въ I случаѣ.

Во избѣжаніе разстройства каменной кладки ⁵⁾, необходимо озаботиться продольною подвижностью всѣхъ четырехъ опоръ. При устройствѣ опоръ b и c по

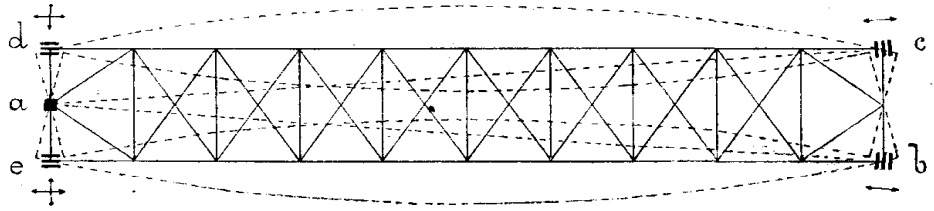
⁴⁾ Для шоссеинаго моста черезъ Мозель у Трарбаха; а также въ проектѣ шоссеина. моста черезъ Эльбу въ Магдебургѣ.

⁵⁾ При постройкѣ Енисейскаго моста на Сибирской жел. дор. былъ замѣченъ сдвигъ нижнихъ балансировъ по подферменникамъ.

вдоль диагоналей ba и ca онъ обладаетъ достаточною продольною поперечною подвижностью. Что же касается опоръ d и e съ основною поперечною подвижностью,



Фиг. 16.

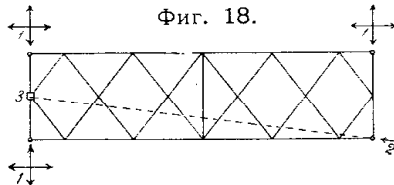


Фиг. 17. Лѣвая сторона, солнечная.

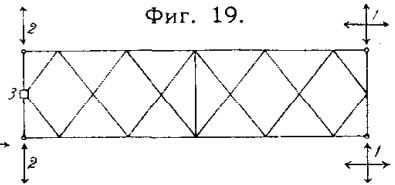
достаточно оставить зазоры между торцами катковъ и ребрами верхнихъ балансабы послѣдніе могли немного скользить по каткамъ. Означенные зазоры должны также для того, чтобы горизонтальная ферма нижнихъ связей могла прогибаться въ горизонтальномъ направленіи при дѣйствіи на нее вѣтра. При такомъ устройствѣ опоръ каждая вертикальная ферма моста непосредственно покоится на двухъ подвижныхъ опорахъ, но это вполне допустимо, если каждую ферму съ неподвижною опорою a при помощи одного полураскоса панели нижнихъ продольныхъ связей (фиг. 16). Помимо означенной цѣли, крайнихъ диагоналей въ середину a опорной распорки рекомендуется по следующимъ соображеніямъ: 1) давленіе вѣтра распределяется равномерно на опоры d и e по концамъ распорки, 2) прикрѣпленіе диагоналей къ распоркѣ удобно въ ея серединѣ a , чѣмъ по концамъ, гдѣ иногда мѣшаютъ опор-

Если не опасаться усложненія конструкции отъ введенія всесторонне-подвижныхъ опоръ, то можно устранить вышеуказанные недостатки расположенія опоръ согласно фиг.

примѣнить одну изъ указанныхъ въ фиг. 19, изъ которыхъ первая статически неопредѣлительна относительно внѣшнихъ силъ.

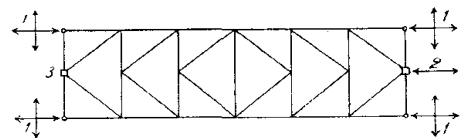


Фиг. 18.



Фиг. 19.

шесть опоръ. Теоретически наилучшее рѣшеніе получится, если добавимъ опору (вѣтровую) согласно фиг. 20, т. е. вѣтровая опора 3 неподвижна, вѣтровая опора 2 подвижна, а остальные четыре главные опоры всесторонне-подвижны. Такая система статически неопредѣлительна относительно внѣшнихъ силъ.

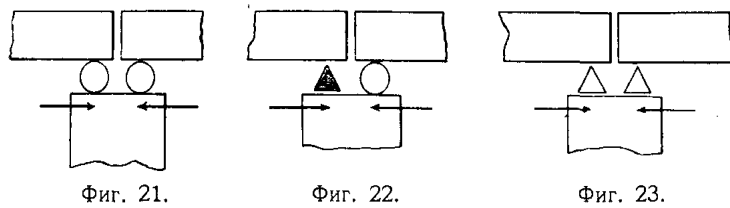


Фиг. 20.

Многопролетные мосты. Рассмотримъ отдѣльно возможные типы многопролетныхъ мостовъ, а именно мосты съ разрывными, неразрывными и консольными

разрывными мосты. Строепіе каждого пролета, представляя самостоятельную систему, находится въ тѣхъ же условіяхъ, какъ строепіе однопролетнаго моста, къ нему примѣнимо все вышеизложенное, и остается лишь раз-
вопросъ о размѣщеніи на быкахъ опорныхъ частей смежныхъ пролетовъ. Рѣшеніи вопроса о томъ, слѣдуетъ ли помѣщать на быкахъ рядомъ неподвижныя опоры или же подвижную опору одного пролета рядомъ съ не-

подвижную опору другого пролета, слѣдуетъ руководствоваться слѣдующими соображеніями. 1) Если желательно уменьшить ширину зазора для расширения, остающагося въ полотнѣ моста надъ подвижными опорами, слѣдуетъ помѣщать на быкахъ подвижную опору рядомъ съ неподвижной (фиг. 22), ибо въ случаѣ устройства рядомъ двухъ подвижныхъ опоръ (фиг. 21), ширина зазора будетъ вдвое больше, чѣмъ въ первомъ случаѣ. Такое уменьшеніе зазора можетъ потребоваться лишь при большихъ пролетахъ. 2) Число уравнильныхъ приборовъ въ мѣстахъ указанныхъ зазоровъ получается почти вдвое меньше въ томъ случаѣ, если быкахъ располагать поочередно одноименныя опоры, т. е. на одномъ быкѣ—две подвижныя опоры (фиг. 21), а на слѣдующемъ быкѣ—двѣ неподвыжныя (фиг. 23) это объясняется тѣмъ, что не требуется уравнильныхъ приборовъ на тѣхъ быкахъ, которые поддерживаютъ двѣ неподвыжныя опоры (фиг. 23). 3) Величина распора, передаваемого быку при продольномъ расширеніи пролетнаго строения отъ измѣненія температуры воздуха, одинакова во всѣхъ трехъ случаяхъ размѣщенія опоръ (фиг. 20 до 23). Это слѣдуетъ изъ того, что распоръ подвижной опоры, равный силѣ тренія въ началѣ ея движенія, долженъ уравновѣшивать въ каждомъ пролетѣ такую же силу, но обратнаго направленія, приложенную въ неподвижной опорѣ. При равенствѣ вертикальнаго давленія на опоры и равномерномъ дѣйствіи теплоты въ двухъ смежныхъ пролетахъ, оба распора, дѣйствующіе на быкъ, равны и взаимно уничтожаются. 4) Возможность засоренія опорныхъ частей пескомъ меньше на быкахъ моста, чѣмъ на устояхъ, въ ви-



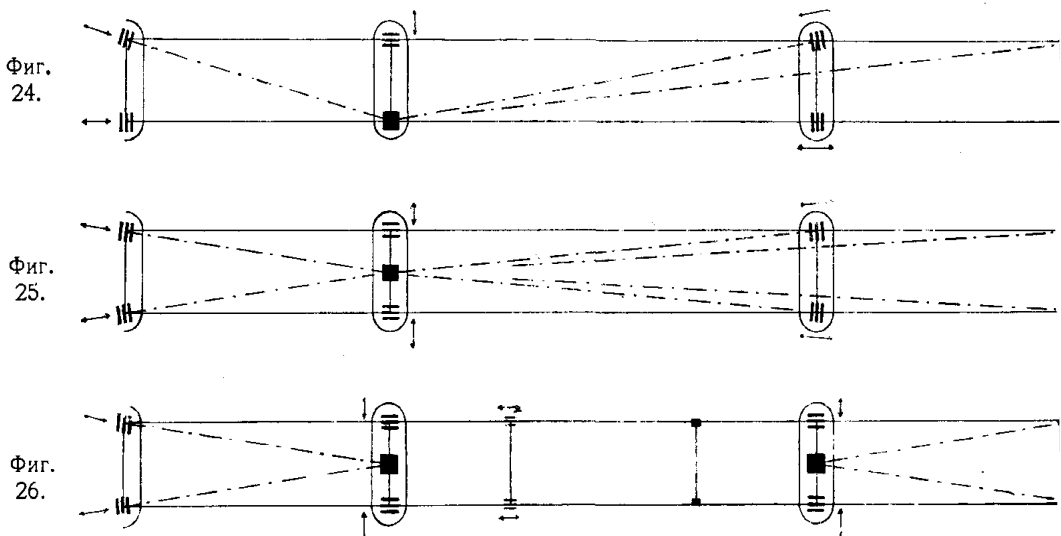
Фиг. 21.

Фиг. 22.

Фиг. 23.

возможности обсыпанія балласта. Засореніе особенно вредно для подвижныхъ опоръ, такъ какъ увеличивается треніе катковъ; поэтому слѣдуетъ по возможности избѣгать расположенія подвижныхъ опоръ на устояхъ⁶⁾.

а) Неразрѣзные мосты. Такъ же какъ въ однопролетныхъ мостахъ



неразрѣзное многопролетное строеніе будетъ имѣть возможность всесторонняго расширения при наличности одной только неподвижной опоры, которую на

⁶⁾ Въ § 14 Главы I Свода распоряженій Мин. Пут. Сооб. рекомендуется ставить на быкахъ разноименныя опоры, т. е. неподвижную одного пролета и подвижную—другого.

быкъ, ближайшемъ къ серединѣ моста, съ тѣмъ, чтобы уменьшить остальныхъ опоръ и зазоры въ концахъ фермъ. Устойчивость этого должна быть провѣрена на случай дѣйствія горизонтальнаго распора: 1) отъ подвижныхъ опоръ одной половины моста, вслѣдствіе расширенія отъ теплоты, 2) отъ тормаженія поѣзда на мосту, 3) отъ давленія на моста. Аналогично однопролетнымъ мостамъ, неподвижная опора можетъ быть помѣщена подъ одною изъ фермъ или лучше по серединѣ одной изъ распорокъ. Всѣ остальные опоры должны быть подвижными, хотя бы по направлениямъ, соединяющихъ ихъ съ неподвижною опорою. Примѣры расположения опоръ трехпролетнаго неразрѣзнаго моста съ двумя фермами представлены на фиг. 24 и 25. Если опоры обладаютъ подвижностью только по направлению, обозначенныхъ въ фиг. 24 и 25, то полная свобода расширенія строения обеспечена только въ случаѣ равномернаго дѣйствія теплоты. При дѣйствіи неравномернаго ея дѣйствія, слѣдуетъ принять мѣры, указанные на фиг. 24 и 25 для однопролетныхъ мостовъ.

2. Консольные мосты. Пролетное строеніе консольнаго моста состоитъ изъ консольныхъ частей и поддерживаемыхъ ими подвѣсныхъ частей. Каждая консоль представляетъ самостоятельную систему, имѣющую не менѣе четырехъ опоръ, и обладаетъ возможностью всесторонняго расширенія при направлении только неподвижной опоры, которую слѣдуетъ помѣщать на быкъ, въ концѣ консольной части. Неподвижная опора можетъ находиться подъ одною изъ фермъ или въ серединѣ опорной распорки. Остальные опоры должны быть подвижными, хотя бы по направлению, соединяющихъ ихъ съ неподвижною опорою. Примѣръ расположения опоръ трехпролетнаго консольнаго моста представленъ въ фиг. 26. Подвѣсная часть опирается на консоли помощью двухъ неподвижныхъ и двухъ подвижныхъ опоръ. Послѣднимъ придана подвижность только вдоль фермъ, въ направлении, въ которомъ консоли расширяются поперекъ моста одновременно съ подвѣсною частью.

Глава I.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ
для расчета соприкасающихся тѣлъ на смятіе.

Теорія Герца о свободномъ касаніи твердыхъ упругихъ тѣлъ.

1. Касаніе ненагруженныхъ твердыхъ тѣлъ можетъ происходить: 1) въ точкѣ, 2) по линіи и 3) по поверхности. Случай касанія въ точкѣ и по линіи будетъ называться свободнымъ касаніемъ; эти случаи поддаются строгому расчету. Случай касанія по поверхности, или такъ называемаго плотнаго касанія, приходится решать условными расчетами, основанными на разныхъ допущеніяхъ. 1) Касаніе въ точкѣ и по прямой. Представимъ себѣ два твердыхъ тѣла, на которые давленія на нихъ, касаются между собою въ точкѣ или по линіи. Если давленія на одно тѣло на другое, ихъ поверхности сминаются вокругъ точки или линіи касанія, что первоначальная точка или линія касанія превращается въ поверхность, но другой кривизны, чѣмъ та, которую имѣли тѣла до

деформации. Сжимающія напряжения распредѣляются по этой площадкѣ неравномерно; по ея контуру они равны нулю и, постепенно возрастая, достигаютъ своего максимума въ центрѣ площадки. При увеличеніи давленія увеличивается площадь соприкасания, а также сжимающія напряжения, до тѣхъ поръ, пока одно изъ нихъ не достигнетъ предѣла упругости. Этотъ моментъ сопровождается появленіемъ трещины, если матеріалъ хрупокъ, или остающимся смятіемъ, если матеріалъ вязкій или пластиченъ. Вопросъ о видѣ и величинѣ площади соприкасания, а также о распредѣленіи напряженій вокругъ нея, неоднократно обсуждался въ литературѣ, но всѣ изслѣдованія имѣли приближенный характеръ, были основаны на предположеніи и не были проверены опытнымъ путемъ. Между тѣмъ, данный вопросъ поддается строгому рѣшенію при помощи теории упругости.

Въ 1882 году извѣстному физику Генриху Герцу ⁸⁾ удалось дать полное рѣшеніе вопроса о касаніи твердыхъ упругихъ тѣлъ въ точкѣ и по прямой, причеи онъ исходилъ изъ общихъ уравненій упругости, которымъ удовлетворяетъ только одно рѣшеніе. Тѣмъ же вопросомъ занимался впоследствии Boussinesq ⁹⁾. Изслѣдованія Герца ограничиваются тою частью тѣла, которая непосредственно прикасается къ мѣсту касанія ¹⁰⁾. Для практическихъ цѣлей особенно цѣнно изслѣдованіе именно этой части тѣла, такъ какъ она подвержена гораздо большимъ напряжениямъ, чѣмъ остальные мѣста. Герцъ далъ рѣшеніе слѣдующихъ трехъ важныхъ вопросовъ, изъ которыхъ первые два касаются деформации, а третій — напряженій: 1) зависимость между величиною площади соприкасания и нагрузкою, 2) зависимость между упругимъ смятіемъ и нагрузкою и 3) зависимость между наибольшимъ напряженіемъ и нагрузкою, а также законъ измѣненія сжимающаго напряжения въ предѣлахъ площади соприкасания. Не приводя теоретическаго доказательства теоремы Герца, которое можно найти въ источникахъ, указанныхъ въ вышесказанномъ, ограничимся сообщеніемъ результатовъ его теории, какъ для общаго случая, и для нѣкоторыхъ частныхъ случаевъ, имѣющихъ практическое значеніе. Замѣчая, придавая большое значеніе повѣркѣ теории Герца опытнымъ путемъ, приведемъ результаты всѣхъ извѣстныхъ намъ опытовъ изъ этой области и выяснимъ, насколько они подтверждаютъ результаты теории.

Результаты теории Герца. Допущенія, положенныя въ основаніи теории Герца, заключаются въ слѣдующемъ. 1) Соприкасающіяся тѣла состоятъ изъ вполне однороднаго матеріала. 2) Касаніе тѣлъ происходитъ по площади значительной величины, сравнительно съ общою поверхностью каждаго тѣла. 3) Сжимающія напряжения въ мѣстахъ касанія направлены строго нормально къ поверхностямъ тѣлъ. Это условіе осуществимо лишь при безусловно гладкихъ пове-

⁷⁾ Winkler. Lehre v. d. Elasticität u. Festigkeit. Prag. 1867. I Pg. 43. Grashof. The Elasticität u. Festigkeit. Berlin. 1878. Pg. 49—54. Краткій обзоръ формулъ, выведенныхъ для расчета цилиндрическихъ катковъ, приведенъ въ § 18.

⁸⁾ Heinrich Hertz. Ueber d. Berührung fester elastischer Körper. Journal f. reine Mathematik. 1882. Bd. 92, Pg. 156. Verhandlungen d. Vereins z. Beförderung. d. Gewerbfl. 1882. 449. Hertz. Gesammelte Werke. Bd. I. Pg. 155, 174. Хорошее изложеніе теории Герца находится въ сочиненіяхъ: Love, Treatise on the theory of elasticity. 2 Vol. 1892—93, а также Fox. Techn. Mechanik. Bd. 5. 1907 г.

⁹⁾ Boussinesq. Application d. potentiels à l'étude de l'équilibre. Paris 1885. § 5 et Galliot. Annales des ponts et chaussées. 1892. II Pg. 391.

¹⁰⁾ Boussinesq разсматриваетъ тѣла въ ихъ полномъ объемѣ, не касаясь явленій, происходящихъ въ предѣлахъ площади соприкасания.

отсутствии всякого трения. 4) Материалы обладают предѣломъ прости. Формулы Герца применимы только до предѣла упругости. Начало ихъ координатъ совпадаетъ съ центромъ касанія. Ось Z совпадаетъ и съ осью внѣшней силы P . Оси X и Y расположены въ плоскости

щадь соприкасания. Въ общемъ случаѣ касанія двухъ поверхностей до деформации главные радиусы кривизны r_{11} , r_{12} и r_{21} , r_{22} , очертающаго соприкасания представляетъ по Герцу эллипсъ, полуоси котораго при давленіи P возрастаютъ пропорціонально $\sqrt[3]{P}$ и имѣютъ слѣдующія

$$b = \sqrt[3]{\frac{3P(\vartheta_1 + \vartheta_2)}{8\left(\frac{1}{r_{11}} + \frac{1}{r_{12}} + \frac{1}{r_{21}} + \frac{1}{r_{22}}\right)}} \quad (1)$$

гдѣ ϑ_1 и ϑ_2 обозначаютъ: ϑ_1 — коэффициентъ сжимающую оба тѣла, ϑ_2 — коэффициентъ, зависящій отъ кривизны тѣлъ въ мѣстѣ касанія, ν — коэффициентъ, зависящій отъ упругости матеріала и опредѣляемые по формуламъ:

$$\vartheta_1 = \frac{4}{E_1} (1 - \nu_1^2); \quad \vartheta_2 = \frac{4}{E_2} (1 - \nu_2^2), \text{ гдѣ}$$

ν_1 и ν_2 — коэффициенты упругости при сжатіи, ν — коэффициентъ поперечнаго сжатія или отношенія между поперечнымъ сжатіемъ и продольнымъ удлинениемъ. Для изотропныхъ тѣлъ $\nu = 0,25$; но такъ какъ матеріалы не вполне однородны, то для чугуна и стали ν колеблется отъ $1/4$ до $1/3$; принимаемъ вездѣ $\nu = 0,3$.

δ — ширина δ упругаго смятія обоихъ тѣлъ въ мѣстѣ ихъ касанія

$$\delta = \frac{3P}{8\pi} \cdot \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{a} \int_0^{\infty} \frac{dz}{\sqrt{(1+k^2 \cdot z^2)(1+z^2)}} \dots \dots \dots (2)$$

полуоси эллипса согласно формулъ (1); кромѣ того $k = \frac{b}{a}$.

Въ частномъ случаѣ, когда эллиптическое очертаніе площади соприкасания превращается въ кругъ ($k = 1$), формула (2) принимаетъ видъ

$$\delta = \frac{3P}{16} \cdot \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{a} \dots \dots \dots (3)$$

Слѣднемъ случаѣ, при увеличеніи силы P , значенія δ возрастаютъ пропорціонально $\sqrt[3]{P^2}$.

Нормальное сжимающее напряженіе σ_z въ точкѣ x, y :

$$\sigma_z = \frac{3P}{2 \cdot a \cdot b \cdot \pi} \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}} \dots \dots \dots (4)$$

Въ мѣстѣ площади соприкасания нормальное напряженіе равно нулю и возрастаетъ къ центру площадки какъ ординаты эллипсоида, построеннаго на озна-

ченной площадкѣ. Въ центрѣ площадки напряженіе σ_z имѣетъ наибольшее значеніе и въ полтора раза больше средняго напряженія, полученнаго изъ раздѣленія силы P на площадь соприкасанія. При увеличеніи силы P нормальныя напряженія возрастають пропорціонально $\sqrt[3]{P}$. Средніе элементы площади соприкасанія сжимаются не только по направленію нормали z , но и по направленію двухъ другихъ осей. По Герцу сложное напряженіе въ центрѣ круговой площадки въ $(0,5 + \dots)$ разъ больше наибольшаго напряженія σ_z (см. § 8).

Частные случаи теоріи Герца. Герцомъ рассмотрѣны слѣдующіе частные случаи, часто встрѣчающіеся при устройствѣ опорныхъ частей мостовъ; 1) касаніе въ точкѣ двухъ шаровъ, а также шара съ плоскостью и 2) касаніе по прямой двухъ цилиндровъ, а также цилиндра съ плоскостью. Для каждого изъ указанныхъ четырехъ случаевъ приведемъ формулы для расчета деформации и наибольшаго напряженія σ .

I случай. Касаніе въ точкѣ двухъ шаровъ. Площадь соприкасанія представляетъ кругъ. Обозначимъ черезъ:

P —силу, сжимающую оба шара,
 $r_1 r_2$ —радіусы шаровъ до деформации. При внѣшнемъ касаніи, когда центры кривизны расположены съ разныхъ сторонъ отъ точки касанія, оба радіуса имѣютъ знакъ $+$. При внутреннемъ касаніи, когда центры кривизны расположены съ одной стороны, бдльшій радіусъ имѣетъ знакъ $-$, а меньшій—знакъ $+$,
 $\vartheta_1 \vartheta_2$ —коэффициенты, зависящіе отъ упругости матеріала и опредѣляемые по формуламъ

$$\vartheta_1 = \frac{4}{E_1} (1 - \nu_1^2) \quad \text{и} \quad \vartheta_2 = \frac{4}{E_2} (1 - \nu_2^2).$$

$\nu_1 \nu_2$ —коэффициенты поперечнаго сжатія, принимаемые для стали и чугуна = 0,3,
 $E_1 E_2$ —коэффициенты упругости на сжатіе.

А. Шары изъ различнаго матеріала. Радіусъ a круглой площади соприкасанія по формулѣ 1, имѣя въ виду, что $\mu = \nu = 1$:

$$a = 0,572 \sqrt[3]{P \frac{\frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{1} + \frac{1}{r_1 + r_2}}{1}} \dots \dots \dots$$

Наибольшее нормальное напряженіе σ по формулѣ 4, подставляя $x = y = 0$; $a = b$:

$$\sigma = \frac{3P}{2\pi \cdot a^2} = 0,477 \frac{P}{a^2} \dots \dots \dots$$

причемъ значеніе a опредѣляется изъ формулы 5. Изъ формулы 6 усматривается что наибольшее напряженіе въ полтора раза больше, чѣмъ при равномерномъ распредѣленіи давленія P по всей круглой площадкѣ съ радіусомъ a .

В. Шары изъ одинаковаго матеріала съ коэффициентами упругости E и поперечнаго сжатія $\nu = 0,3$. Радіусъ a круглой площади соприкасанія по формулѣ 5:

$$a = 1,11 \sqrt[3]{\frac{P}{E} \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}}} \dots \dots \dots$$

Упругое смятіе δ обоихъ шаровъ по направленію дѣйствія силы P по формулѣ 3 (подставляя значеніе a изъ формулы 7):

$$\delta = 1,23 \sqrt[3]{\frac{P^2}{E^2} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} \dots \dots \dots$$

Большое нормальное напряжение по формуламъ 6 и 7:

$$\sigma = 0,388 \sqrt[3]{P \cdot E^2 \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)^2} \dots \dots \dots (9)$$

напряжение въ полтора раза больше средняго напряжения, рассчитаннаго по условию равномернаго распредѣленія давленія P по площади соприкасания, рассчитанной на основаніи формулы 7.

случай. Касаніе шара съ плоскостью. Площадь соприкасания представляетъ плоская плита предполагается достаточной толщины для того, чтобы на ней не происходили изгибы, а предѣлялись въ ней возможно правильно. Формулы получаются изъ формулы 9 первого случая при подстановкѣ $r_2 = \infty$ и $r_1 = r$.

значенія:

P —сжимающая сила,

r —радіусъ шара до деформаціи (всегда +),

E_1, E_2 —коэффициенты упругости на сжатіе для шара и плиты,

ν_1, ν_2 —обозначаютъ то же, что въ I случаѣ.

Шаръ и плита изъ различнаго матеріала. Радиусъ a круглой площадки соприкасания по формулѣ 5:

$$a = 0,572 \sqrt[3]{P \cdot r (\vartheta_1 + \vartheta_2)} \dots \dots \dots (10)$$

где σ —большее нормальное напряжение по формулѣ 6:

$$\sigma = 0,477 \cdot \frac{P}{a^2} \dots \dots \dots (11)$$

значеніе a опредѣляется изъ формулы 10. Наибольшее напряжение σ въ площадке соприкасания больше средняго напряжения $\sigma_0 = \frac{P}{\pi \cdot a^2}$, рассчитаннаго въ предположеніи равномернаго распредѣленія нагрузки P на круглую площадку радиусомъ a ,

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{0,477 \cdot P \cdot \pi \cdot a^2}{a^2 \cdot P} = 1,50.$$

Шаръ и плита изъ одинаковаго матеріала съ коэффициентами упругости E и поперечнаго сжатія $\nu = 0,3$. Радиусъ a круглой площадки соприкасания по формулѣ 7:

$$a = 1,11 \sqrt[3]{\frac{P \cdot r}{E}} \dots \dots \dots (12)$$

Изгибъ δ шара и плиты по направленію дѣйствія силы P получается по формулѣ 3, подставляя значеніе a изъ формулы 12;

$$\delta = 1,23 \sqrt[3]{\frac{P^2}{E^2 \cdot r}} \dots \dots \dots (13)$$

большее нормальное напряжение по формулѣ 9:

$$\sigma = 0,388 \sqrt[3]{\frac{P \cdot E^2}{r^2}} \dots \dots \dots (14)$$

большее напряжение σ въ полтора раза больше средняго напряжения σ_0 , рассчитаннаго по предположеніи равномернаго распредѣленія нагрузки P по площадке соприкасания радиусомъ a .

Касаніе двухъ параллельныхъ

линдровъ площадь соприкасания представляетъ прямоугольникъ безконечной длины шириною $2b$, который можетъ быть разсматриваемъ какъ эллипсъ съ большою осью безконечной длины и съ малою осью $= 2b$.

Обозначенія:

p — давленіе на пог. единицу линіи касанія цилиндровъ,

$r_1 r_2$ — радиусы цилиндровъ до деформации. При внѣшнемъ касаніи, когда центры кривизны линдровъ расположены съ разныхъ сторонъ отъ точки касанія, оба радиуса имѣютъ знакъ $+$. При внутреннемъ касаніи, когда центры кривизны расположены съ одной стороны, бблшій радиусъ имѣетъ знакъ $-$, а меньшій знакъ $+$,

$\vartheta_1 \vartheta_2$ — коэффициенты, зависяшіе отъ упругости матеріала и опредѣляемые по формуламъ

$$\vartheta_1 = \frac{4}{E_1} (1 - \nu_1^2) \quad \text{и} \quad \vartheta_2 = \frac{4}{E_2} (1 - \nu_2^2),$$

$\nu_1 \nu_2$ — коэффициенты поперечнаго сжатія, принимаемые для стали и чугуна $= 0,3$,

$E_1 E_2$ — коэффициенты упругости на сжатіе.

А. Цилиндры изъ различнаго матеріала. Полуширина b площадь соприкасания по формулѣ (1) послѣ ряда преобразованій:

$$b = \sqrt[2]{\frac{p}{\pi} \cdot \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}}} = 0,564 \sqrt[2]{p \cdot \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}}}$$

Наибольшее нормальное напряженіе въ центрѣ площадки съ координата $x = 0, y = 0$:

$$\sigma = \frac{2p}{\pi \cdot b} = 0,637 \cdot \frac{p}{b}$$

причемъ значеніе b опредѣляется по формулѣ 15.

Напряженіе σ въ $\frac{4}{\pi}$ разъ больше, чѣмъ при равномерномъ распредѣленіи давленія p по площади соприкасания. Смятіе δ получилось бы согласно общей формулѣ 2 безконечнымъ. Отсюда слѣдуетъ заключить, что въ данномъ случаѣ δ виситъ не только отъ деформации въ мѣстѣ касанія, но также въ значительной степени отъ деформации всего тѣла.

В. Цилиндры изъ одинаковаго матеріала съ коэффициентомъ упругости E и поперечнаго сжатія $\nu = 0,3$. Полуширина b площади соприкасания по формулѣ 15:

$$b = 1,52 \sqrt[2]{\frac{p}{E} \cdot \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}}}$$

Наибольшее нормальное напряженіе въ центрѣ площадки по формулѣ 16:

$$\sigma = 0,418 \sqrt[2]{p \cdot E \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)}$$

IV случай. Касаніе цилиндра съ плоскостью. При безконечной длинѣ цилиндра сжимаемая площадка представляетъ прямоугольникъ безконечной длины шириною $2b$. Плита предполагается настолько толстою, чтобы напряженія въ ней представлялись приблизительно такъ, какъ въ безконечно толстой плитѣ. Формулы получаютъ изъ уравненій III случая при подстановкѣ $r_2 = \infty$ и $r_1 = r$.

Обозначенія:

p — давленіе на пог. единицу линіи касанія цилиндра,

r — радиусъ цилиндра до деформации (всегда $+$),

$E_1 E_2$ — коэффициенты упругости на сжатіе для цилиндра и плиты,

$\vartheta_1 \vartheta_2 \nu_1 \nu_2$ — обозначаютъ то же, что въ III случаѣ.

индръ и плита изъ различного матеріала. Полуширина b касанія по формулѣ 15:

$$b = 0,564 \sqrt[2]{p \cdot r \cdot (\vartheta_1 + \vartheta_2)} \dots \dots \dots (19)$$

нормальное напряженіе въ центрѣ площадки по формулѣ 16:

$$\sigma = 0,637 \frac{p}{b} \dots \dots \dots (20)$$

b опредѣляется по формулѣ 19.

индръ и плита изъ одинаковаго матеріала съ коэффицентами E и поперечнаго сжатія $\eta = 0,3$. Полуширина b сминае по формулѣ 19:

$$b = 1,52 \sqrt[2]{\frac{p \cdot r}{E}} \dots \dots \dots (21)$$

шее нормальное напряженіе въ центрѣ площадки по формуламъ 20 и 21:

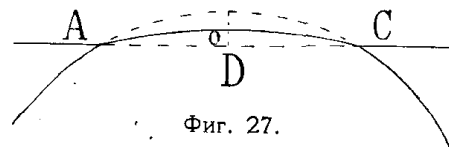
$$\sigma = 0,418 \sqrt[2]{\frac{p \cdot E}{r}} \dots \dots \dots (22)$$

наибольшаго напряженія σ къ среднему напряженію $\sigma_0 = \frac{p}{2b \cdot 1}$, рассчитаннаго при предположеніи равномернаго распредѣленія давленія p на площадку $2b \cdot 1$, составляетъ

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{0,418 \sqrt[2]{\frac{p \cdot E}{r}} \cdot 2 \cdot 1,52 \sqrt[2]{\frac{p \cdot r}{E}}}{p} = 1,271,$$

т. е. напряженіе σ въ 1,271 разъ больше средняго напряженія σ_0 .

Поскольку кривая AOC соприкасанія представляетъ параболу. Наибольшая ордината сегмента въ $1\frac{1}{2}$ раза больше средней



Фиг. 27.

Допуская существованіе пропорціональности между давленіемъ и деформациею, получимъ, что наи-

большее напряженіе σ въ 1,5 разъ больше средняго напряженія $\sigma_0 = \frac{p}{2b \cdot 1}$, между тѣмъ какъ при предположеніи равномернаго распредѣленія давленія p на площадку $2b \cdot 1$, этихъ напряженій составляло 1,271.

§ 6. Повѣрка формулъ Герца опытнымъ путемъ.

Касаніе двухъ шаровъ изъ одинаковаго матеріала. (Формулы 7, 8, 9. Матеріаль: сталь. Изданіе формулъ № 8 и 9 Герца для случая касанія шаровъ можно привести къ случаю проф. Стрибека и инж. Швиннинга, произведенныхъ въ 1899 г. въ лабораторіи въ Neubabelsberg'ѣ и опубликованныхъ въ Zeitschrift d. Ver. Deut. Ing. 118 и 332. Означенные опыты имѣли цѣлью опредѣлить допускаемую нагрузку на стальныхъ шарикахъ, діаметромъ отъ $\frac{3}{8}$ до $1\frac{1}{8}$ дм., применяемыхъ въ подшипникахъ. Опытъ Стрибека заключался 1) въ измѣреніи сближенія δ нагруженныхъ шаровъ при сжатіи и 2) въ опредѣленіи зависимости между нагрузкою и напряженіемъ при различномъ ихъ діаметрѣ.

Формулы Герца № 8 для упругаго смятія δ шаровъ:

$$\delta = 1,23 \sqrt[3]{\frac{P^2}{E^2} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)}$$

Въ опытахъ Стрибека шары шести различныхъ діаметровъ отъ $\frac{3}{8}$ до $1\frac{1}{8}$ дм. изъ стали при шарѣ одинаковаго діаметра точно устанавливались одинъ надъ другимъ

и подвергались сжатію въ пятитонномъ прессѣ Амслера. Сближеніе шаровъ при дѣйствіи на нихъ нагрузки измѣрялось зеркальнымъ приборомъ Мартенса, захваты котораго были крѣплены къ крайнимъ шарамъ, такъ что показаніе прибора соответствовало деформациі одного цѣлаго шара и двухъ полушарій. Каждая группа шаровъ подвергалась дѣйствію восьми девяти нагрузокъ отъ 50 до 800 кил. Въ каждомъ случаѣ измѣрялось полное сближеніе δ нагруженныхъ шаровъ, и вслѣдъ затѣмъ, остающаяся деформация послѣ ихъ разгрузки. Въ большинствѣ случаевъ деформации были не только упругія (исчезающія послѣ разгрузки), но отчасти остающіяся. Это объясняется малыми размѣрами испытанныхъ шаровъ, вслѣдствіе чего предѣлъ упругости достигался уже при слабыхъ давленіяхъ. На этомъ основаніи результаты опытовъ ходятъ, строго говоря, внѣ сферы примѣненія формуль Герца, имѣющихъ силу лишь до предѣла упругости. Поэтому при сравненіи измѣренныхъ сближеній δ съ рассчитанными по формуль Герца нельзя ожидать точнаго совпаденія результатовъ; разница между ними должна получаться значительнѣе, чѣмъ больше нагрузка шаровъ. Въ таблицѣ 1 помѣщены удвоенныя значенія рассчитанныя по формуль Герца № 8 при $r_1 = r_2 = r$, а подъ ними — измѣренныя значенія какъ полныя, такъ и остающіяся.

Таблица 1 результатовъ проф. Стрибека для трехъ шаровъ.

Диаметръ шаровъ дм.	Смятіе δ въ сотыхъ миллиметра.	Нагрузка P въ килограммахъ.							
		50	100	200	300	400	500	600	700
$\frac{3}{8}$	Рассчитанное по Герцу	3,26	5,18	8,22	10,78	13,06	15,15	17,11	18,96
	Измѣренное { полное	3,32	5,41	9,17	11,82	14,62	17,31	19,71	22,21
	остающееся	0,06	0,27	0,95		3,01	—	5,30	—
$\frac{1}{2}$	Рассчитанное по Герцу	—	4,71	7,47	9,79	11,86	13,76	15,54	17,23
	Измѣренное { полное	—	4,83	7,81	10,33	12,83	14,98	17,33	19,14
	остающееся	—	0,18	0,51	1,34	1,72		3,09	
$\frac{5}{8}$	Рассчитанное по Герцу	2,75	4,37	6,94	9,09	11,01	12,78	14,43	15,99
	Измѣренное { полное	2,78	4,44	7,14	9,45	11,65	13,62	15,49	17,42
	остающееся	0,05	0,11	0,39	0,66	1,01	1,51	2,17	2,81
$\frac{3}{4}$	Рассчитанное по Герцу	—	4,11	6,53	8,55	10,36	12,02	13,58	15,05
	Измѣренное { полное	—	4,11	6,68	8,86	10,82	—	14,39	—
	остающееся	—	?	0,22	0,50	0,85	—	1,61	—
$\frac{7}{8}$	Рассчитанное по Герцу	—	3,91	6,20	8,13	9,84	11,42	12,90	14,30
	Измѣренное { полное	—	3,9	6,22	8,19	—	11,75	—	14,96
	остающееся	—	?	?	0,23	—	0,64	—	—
1	Рассчитанное по Герцу	—	3,74	5,93	7,77	9,42	10,93	12,34	13,67
	Измѣренное { полное	—	3,74	5,94	7,86	9,56	—	12,67	14,11
	остающееся	—	?	0,12	0,22	0,39	—	0,70	—
$1\frac{1}{8}$	Рассчитанное по Герцу	—	3,59	5,70	7,47	9,05	10,50	11,86	13,14
	Измѣренное { полное	—	3,60	5,80	7,51	9,24	10,74	12,20	13,45
	остающееся	—	?	0,06	0,15	0,22	0,38	—	—

Примѣчанія. При расчетѣ значеній δ по формуль Герца № 8 предположенъ коэффициентъ упругости $E = 2120000$ к/см.², опредѣленный для той же закаленной стали, изъ которой были изготовлены шары. Измѣренныя значенія δ , приведенныя въ таблицѣ 1 соответствуютъ женію обихъ паръ шаровъ, такъ что смятіе одного шара въ одной точкѣ касанія составляетъ $\frac{1}{4} \delta$.

Оказывается, что выше предѣла упругости полныя измѣренныя деформации δ больше упругія деформации (т. е. полныя за вычетомъ остающихся) — меньше рассчитанныя по Герцу значенія δ . Въ общемъ разница между измѣренными и рассчитанными деформациями незначительна, несмотря на то, что шары подвергались нагрузкамъ, во много разъ превышающимъ допустимыя для мостовыхъ опоръ. Если рассчитать для примѣра наибольшее напряженіе σ шара диаметра d отъ нагрузки $P = 100$ кил., пользуясь формулою Герца № 9, то для σ получится около 1000 к/см.², т. е. почти въ пять разъ больше допускаемаго напряженія.

Заключеніе. Выше предѣла упругости наблюдается нѣкоторая, хотя и ничтожная разница между измѣренными и рассчитанными по Герцу деформациями; по мѣрѣ пониженія нагрузки эта разница постепенно уменьшается. Въ тѣхъ же практически важныхъ случаяхъ, когда было установлено остающихся деформаций, Стрибекъ наблюдалъ почти полное совпаденіе

и расчета. На основаніи вышеизложеннаго слѣдуетъ признать формулу Герца расчетъ у пр у г и хъ деформаций стальныхъ закаленныхъ шаровъ, діаметромъ а № 8 даетъ точные результаты.

формулы Герца № 9 для наибольшаго напряженія. Наибольшимъ напряженіемъ σ , нагрузкою P и радіусами r_1 r_2 двухъ сжимаемыхъ является слѣдующею формулою Герца (№ 9):

$$\sigma = 0,388 \sqrt[3]{P \cdot E^2 \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)^2}$$

шаровъ, какъ было въ опытахъ Стрибека, можно подставить $r_1 = r_2 = 0,5 \cdot d$,

$$\sigma = 0,978 \sqrt[3]{\frac{P \cdot E^2}{d^2}} \dots \dots \dots (23)$$

результатами своихъ опытовъ, произведенныхъ съ шарами изъ закаленной стали до $1\frac{1}{8}$ дм., Стрибекъ доказываетъ²⁾, что для всѣхъ шаровъ нагрузка P , среднему упругости шаровъ, пропорциональна квадрату діаметра шаровъ или тому же результату приходитъ Швиннингъ, который испытывалъ разные закашары, діаметромъ до 51 мм.³⁾ и мѣдные шары діаметромъ $\frac{5}{8}$ дм. Подставляя $\sigma = \text{const.}$ въ формулу № 23, получаемъ $\sigma = \text{const.}$ Итакъ доказано, что для стальныхъ шаровъ діаметромъ не болѣе 51 мм., нагруженныхъ до предѣла упругости, наибольшее напряженіе σ , рассчитанное по формулѣ Герца № 23, всегда одинаково, чѣмъ подтверждаетъ эту формулу, по крайней мѣрѣ для малыхъ шаровъ.

формулы Герца № 7 для радіуса a круглой площади соприкосновенія шаровъ. Въ случаѣ равныхъ шаровъ можно въ формулу № 7 подставить

$$a = 0,88 \sqrt[3]{\frac{P \cdot r}{E}}$$

этой формулы могутъ служить опыты, произведенные Фепплемъ въ Мюнхенѣ для опредѣленія твердости стальныхъ шариковъ, діаметромъ отъ 6 до 12 мм., Каждый опытъ производился съ двумя шарами, которые надавливались одинъ на другой на круглой площади соприкосновенія шаровъ измѣрялся при различныхъ нагрузкахъ одинъ изъ шаровъ покрывался тонкимъ слоемъ копоти, на которой во время опыта видимый кружокъ. Послѣ каждого нагруженія закопченный шаръ поворачивался, и на немъ появлялся новый кружокъ. Измѣренные діаметры кружковъ по формулѣ Герца для a . Всѣ эти результаты находятся выше предѣла упругости шаровъ, поэтому при сравненіи измѣренныхъ діаметровъ съ предѣломъ упругости шаровъ Герцу нельзя ожидать точнаго совпаденія между ними; разница должна быть не болѣе, чѣмъ выше нагрузка шаровъ.

Таблица 2 результатовъ проф. Феппля для двухъ шаровъ.

Диаметръ круглой площади соприкосновенія въ мм.	Нагрузка P въ килограммахъ.						
	250	500	750	1000	1250	1500	2000
Измѣренный	0,691	0,94	1,13	1,303	—	—	—
Вычисленный по Герцу	0,60	0,74	0,85	0,94	—	—	—
Измѣренный	0,706	0,99	1,18	1,32	1,47	—	—
Вычисленный по Герцу	0,65	0,81	0,92	1,01	1,09	—	—
Измѣренный	—	1,01	—	1,35	—	1,67	—
Вычисленный по Герцу	—	0,85	—	1,08	—	1,23	—
Измѣренный	—	1,003	—	1,44	—	—	1,93
Вычисленный по Герцу	—	0,94	—	1,18	—	—	1,48

¹⁾ Zft. d. Ver. Deut. Ing. 1901.
²⁾ Zft. d. Ver. Deut. Ing. 1901.
³⁾ Zft. d. Ver. Deut. Ing. 1901. Maschinenkunde. II Jahrgang. Pag. 177.

II случай. Касаніе шара и плиты изъ одинаковаго матеріала. (Формулы 12, 13, 14. Матеріа сталь, стекло и кварцъ). Въ подтвержденіе формуль Герца 12, 13 и 14 для случая касанія шара и плиты можно привести результаты опытовъ 1) самаго Герца для стекла, 2) Ауербаха для стекла и горнаго хрустала и 3) Стрибека для закаленной стали. Всѣ эти опыты заключались въ наблюденіи деформаций, причемъ Стрибекъ измѣрялъ сближеніе или смятіе δ по направленію дѣйствительной силы P , подобно тому, какъ онъ поступалъ въ опытахъ съ тремя шарами, рассмотрѣнныхъ стр. 20. Герцъ и Ауербахъ, оперируя съ прозрачными тѣлами, измѣряли діаметръ $2a$ площади прикасанія тѣлъ.

Опыты Стрибека для стали⁵⁾ производились съ шарами пяти различныхъ діаметровъ отъ $\frac{3}{8}$ до $1\frac{1}{8}$ дм. изъ закаленной стали. Между двумя шарами одинаковаго діаметра кландывалась плита изъ той же закаленной стали, толщиною не менѣе радіуса шаровъ, и всѣ тѣла сжимались въ пятитонномъ прессѣ Амслера. Сближеніе δ сжатыхъ тѣлъ измѣрялось калынымъ приборомъ Мартенса, захваты котораго были прикрѣплены къ шарамъ, такъ что зааніе прибора соотвѣтствовало деформации двухъ полушарій и плиты. Каждая группа тѣлъ вергалась дѣйствию 8 или 9 нагрузокъ отъ 50 до 800 кил. Въ каждомъ случаѣ измѣрялось новое сближеніе δ нагруженныхъ тѣлъ и, вслѣдъ затѣмъ, — остающаяся деформация послѣ ихъ грузенія. Въ большинствѣ случаевъ деформации были не только упругія (исчезающія послѣ грузенія), но отчасти остающіяся. Это объясняется малыми размѣрами шаровъ, вслѣдствіе предѣла упругости достигался уже при слабыхъ давленіяхъ. На этомъ основаніи результаты товъ находятся, строго говоря, внѣ сферы примѣненія формуль Герца, имѣющихъ силу лишь предѣла упругости. Поэтому при сравненіи измѣренныхъ сближеній δ съ рассчитанными по формуль Герца нельзя ожидать точнаго совпаденія результатовъ; разница между ними должна чаться тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше нагрузка. Въ таблицѣ 3 помѣщены значенія δ , танныя по формуль Герца № 13, а подъ ними — измѣренныя значенія δ , какъ полныя, остающіяся.

Таблица 3 результатовъ проф. Стрибека для двухъ шаровъ и плиты.

Диаметръ шаровъ дм.	Смятіе δ въ сотыхъ миллиметра.	Нагрузка P въ килограммахъ.							
		50	100	200	300	400	500	600	700
$\frac{3}{8}$	Разсчитанное по Герцу	2,59	4,11	6,53	8,55	10,36	12,02	13,58	15,04
	Измѣренное { полное	2,64	4,15	6,62	8,57	10,54	—	14,18	—
		остающееся	?	0,18	0,48	0,88	1,29	—	2,57
$\frac{1}{2}$	Разсчитанное по Герцу	2,35	3,74	5,92	7,77	9,42	10,93	12,34	13,68
	Измѣренное { полное	2,37	3,78	6,04	8,04	9,68	11,40	12,77	—
		остающееся	?	0,12	0,31	0,63	0,80	1,20	1,48
$\frac{5}{8}$	Разсчитанное по Герцу	2,19	3,47	5,51	7,22	8,74	10,14	11,45	12,69
	Измѣренное { полное	2,27	3,68	5,70	7,47	9,03	10,43	11,78	13,01
		остающееся	?	?	0,18	0,39	0,62	0,78	1,08
$\frac{7}{8}$	Разсчитанное по Герцу	—	3,10	4,92	6,45	7,81	9,07	10,24	11,34
	Измѣренное { полное	—	3,12	5,04	6,63	8,03	9,44	10,56	—
		остающееся	—	?	0,09	0,18	—	0,41	—
$1\frac{1}{8}$	Разсчитанное по Герцу	—	2,85	4,53	5,93	7,19	8,34	9,42	10,44
	Измѣренное { полное	—	2,87	4,55	5,95	7,29	—	9,67	—
		остающееся	—	?	0,07	0,17	0,24	—	0,48

Примѣчанія. При разчетѣ значеній δ по формуль Герца $\delta = 1,23 \sqrt[3]{\frac{P^2}{E^2 \cdot r}}$

положенъ коэффициентъ упругости $E = 2120000$ к/см.², опредѣленный для той же закаленной стали, изъ которой были изготовлены шары и плиты. Измѣренныя значенія δ , приведенныя въ таблицѣ, соотвѣтствуютъ сближенію двухъ полушарій и плиты, такъ что смятіе въ каждой двухъ точекъ касанія составляетъ $0,5 \cdot \delta$.

Оказывается, что выше предѣла упругости полныя измѣренныя деформации болѣе упругія деформации (т.-е. полныя за вычетомъ остающихся) — меньше рассчитанныхъ по

⁵⁾ Zft. d. Ver. Deut. Ing. 1901. Pag. 73

общемъ разница между измѣренными и рассчитанными деформациями ничтожна, что примѣнявшіяся нагрузки въ нѣсколько разъ превышали норму, допускаемую поръ.

еніе. Выше предѣла упругости наблюдается нѣкоторая, хотя и ничтожная, раз-
ѣренными и рассчитанными по Герцу деформациями; по мѣрѣ пониженія нагрузки
постепенно уменьшается. Въ тѣхъ же практически важныхъ случаяхъ, когда нельзя
остающихся деформаций, Стрибекъ наблюдалъ почти полное совпаденіе резуль-
та и расчета по формулѣ Герца № 13. Изъ сравненія результатовъ, приведен-
ныхъ 2 и 3, усматривается, что при касаніи шара съ плитою одна и та же на-
грузка даетъ меньшія деформации, а слѣдовательно и напряжения, чѣмъ при касаніи двухъ
объясняется присутствіемъ тренія по площади взаимнаго соприкасанія сжимаемыхъ
оказываетъ сопротивленіе силамъ, стремящимся расколоть шары пополамъ, и полу-
чается въ случаѣ касанія шара съ плитою. Что касается формулы Герца № 14, $\varepsilon =$
 $\frac{P \cdot E^2}{r^2}$, представляющей зависимость между наибольшимъ напряженіемъ ε , нагруз-

кою r шара, то, пользуясь результатами опытовъ съ шарами изъ закаленной
стали отъ $\frac{3}{8}$ до $1\frac{1}{8}$ дм., Стрибекъ доказалъ⁶⁾, что для всѣхъ шаровъ нагрузка P ,
предѣлу упругости шаровъ, пропорциональна квадрату діаметра или радіуса ша-
ра: $r^2 = \text{const}$. Подставляя это значеніе въ формулу № 14, получаемъ $\varepsilon = \text{const}$.
что для стальныхъ шаровъ, діаметромъ до 30 мм., нагруженныхъ до предѣла
нормальное напряжение ε , рассчитанное по формулѣ Герца, № 14, всегда
подтверждается правильность этой формулы, по крайней мѣрѣ для малыхъ

Герца со стекломъ⁷⁾. Въ отличіе отъ Стрибека, Герцъ измѣрялъ діаметръ
касанія тѣлъ, такъ что его опыты могутъ служить для провѣрки формулы №
зависимость между радіусомъ a круглой площадки, давленіемъ P и радіусомъ
опытахъ Герцъ не измѣнялъ радіуса r шара и оперировалъ съ одною и тою
шаромъ, радіусомъ $r = 28$ мм., которую онъ надавливалъ на закопченную стеклян-
ную микроскопа и микрометренного винта онъ измѣрялъ діаметръ $2a$ площади
соприкасанія различными нагрузкамъ P . Наблюденія производились при 10 на-
грузкахъ помѣщены въ таблицѣ 4.

Таблица 4 результатовъ Герца со стекляннымъ шаромъ и плитою.

0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2	2,5	3	3,5 кил.
1,56	2,03	2,19	2,59	2,68	3,13	3,52	3,69	3,97	4,02 мм.
0,3627	0,3746	0,3530	0,3793	0,3644	0,3718	0,3799	0,3697	0,3743	0,3600

диаметры $2a$ очень мало разнятся между собою; въ среднемъ наблюдалось
Подставляя въ формулу № 12⁸⁾ $E = 620100$ к/см², определенное Герцемъ

какого была изготовлена линза и плитка, получаемъ $2a = 0,3685 \sqrt[3]{P}$, что по-
средняго измѣреннаго значенія $2a$. Отсюда можно заключить, что при
радіуса шара r формула Герца № 12 вполнѣ подтверждается.

Ауербахъ со стекломъ⁹⁾. Ауербахъ оперировалъ съ линзами различныхъ
и кварца, которыя онъ надавливалъ на плитки изъ того же матеріала;
измѣрялъ: 1) діаметръ $2a$ площади соприкасанія тѣлъ и 2) нагрузку P ,

⁷⁾ Zft. d. Ver. Deut. Ing. 1901.

d. Vereins zur Beförderung d. Gewerbfleisses. 1882. Pag. 457.

$2a$ по формулѣ № 12 слѣдуетъ предварительно замѣнить коэффициентъ 1,11
стекла $\eta = 0,245$, а не 0,3, какъ для стали и чугуна.

Physik u. Chemie. Bd. 43, Pg. 61; Bd. 45, Pg. 262; Bd. 58, Pg. 357.

при которой обнаруживалась первая трещина (предѣлъ упругости). Стекло применялось трехъ товъ: мягкое (I), среднее (II) и твердое (III).

а) Повѣрка формулы Герца № 12: $a = 1,11 \sqrt[3]{\frac{P \cdot r}{E}}$. Для повѣрки зависи-

мости, существующей между нагрузкою P и радиусомъ a площади соприкасания и представленной формулою № 12, Ауербахъ произвелъ двѣ серіи опытовъ. Въ I серіи опытовъ одна и та же линза ($r = \text{const}$) подвергалась дѣйствию постоянно возрастающей нагрузки P ; радиусъ a измѣрялся послѣ каждаго приращенія нагрузки, а затѣмъ опредѣлялся законъ измѣненія добытыхъ значеній a . Во II серіи опытовъ испытывались линзы разныхъ радиусовъ r , изготовленныя изъ одного и того же матеріала. Для каждой линзы радиусы a измѣрялись при нѣсколькихъ нагрузкахъ P ; затѣмъ сравнивались радиусы a , измѣренные для всѣхъ линзъ, и опредѣлялся законъ ихъ измѣненія.

I серія опытовъ. Полагая радиусъ r линзы постояннымъ, можно представить формулу № 12 такъ:

$$\frac{\sqrt[3]{P}}{a} = \text{const.} \quad \text{или} \quad \frac{P}{a^3} = \text{const.}$$

Для повѣрки этой простой зависимости между P и a произведено много опытовъ съ различными стекловидными матеріалами. Результаты трехъ опытовъ, не очень удачныхъ и не очень плохихъ, приведены въ таблицѣ 5.

Таблица 5 нѣкоторыхъ результатовъ ¹⁾ для повѣрки закона $P : a^3 = \text{const.}$

Стекло II (среднее). Радиусъ линзы $r=10$ мм.			Стекло III (твердое). Радиусъ линзы $r=4$ мм.			Кварцъ. Радиусъ линзы $r=12$ мм.		
Значенія (P) и (a) относительныя.								
(P)	($2a$)	$\left(\frac{P}{8a^3}\right) \times 1000$	(P)	($2a$)	$\left(\frac{P}{8a^3}\right) \times 1000$	(P)	($2a$)	$\left(\frac{P}{8a^3}\right) \times 1000$
227	8,9	321	854	10,0	854	754	12,4	39
354	10,5	306	1154	11,0	866	1254	15,0	37
554	12,1	313	1754	12,6	877	1677	17,0	34
754	13,5	307	2454	14,3	876	2677	19,6	35
954	14,6	306	2479	14,4	866	3177	20,5	36
1354	16,4	307				3677	21,6	36
1554	17,1	311				4390	23,0	35
1677	18,0	288	Средняя ошибка около $1/2\%$.			4800	23,7	36
1925	18,7	294				4887	23,9	35
3177	22,1	294						
3225	22,2	295						
3725	23,4	291						
4547	24,6	306						
Средняя ошибка около $1/2\%$.						Средняя ошибка $< 1\%$		

II серія опытовъ. При переменномъ радиусѣ r линзы можно представить формулу № 12 такъ:

$$\frac{\sqrt[3]{P \cdot r}}{a} = \text{const.} \quad \text{или} \quad \frac{P \cdot r}{a^3} = \text{const.} \quad \text{или} \quad \frac{P \cdot r}{(2a)^3} = \text{const.}$$

Для повѣрки этого закона могутъ служить слѣдующіе результаты ²⁾.

¹⁾ Annalen d. Physik. Bd. 43, Pg. 86.

²⁾ Annalen d. Physik. Bd. 43, Pg. 88.

6 результатовъ для повѣрки закона $P \times r : (2a)^3 = \text{const.}$

Мягкое.	Стекло II среднее.			Стекло III твердое.			Кварцъ.		
	$\frac{P.r}{(2a)^3}$	r мм.	$\frac{P}{(2a)^3}$	$\frac{P.r}{(2a)^3}$	r мм.	$\frac{P}{(2a)^3}$	$\frac{P.r}{(2a)^3}$	r мм.	$\frac{P}{(2a)^3}$
463	3	195,4	586	4	162,5	650	1	846	846
466	5	114,9	575	12	53,0	636	4	212,2	849
469	10	58,3	583	30	21,8	654	12	70,4	845
—	15	38,3	575	—	—	—	—	—	—

Результаты Ауербаха, приведенные въ таблицахъ 5 и 6, вполне подтверждаютъ $P : a^3 = \text{const.}$ и $P.r : a^3 = \text{const.}$, выведенные изъ формулы Герца № 12, формула вѣрна.

Ѣрка формулы Герца № 14: $\sigma = 0,388 \sqrt[3]{\frac{P.E^2}{r^2}}$.

зависимости между наибольшимъ напряженіемъ σ и нагрузкою P Ауербахъ ряда случаевъ нагрузку P , соответствующую предѣлу упругости, т. е. поны, исходя изъ того соображенія, что въ образцахъ изъ одного и того же шина должна образоваться при одинаковомъ напряженіи σ . Сперва Ауербахъ попытокъ, чтобы доказать, что при одинаковой кривизнѣ линзъ изъ еріала первой трещинѣ соответствуетъ одна и та же нагрузка P . Въ таблѣ результатовъ³⁾, добытыхъ для стекла III при радиусѣ линзъ $r = 4$ мм. изнать удовлетворительнымъ, такъ какъ значенія P разнятся до 20%, счио значенія $P = 20,3$ к.

Т а б л и ц а 7.

17,2	24,3	18,1	24,1	21,2	19,2	18,2 кил.
0,47	0,53	0,50	0,50	0,49	0,48	0,48 мм.

Ауербахъ произвелъ опыты съ линзами разной кривизны. Нагрузки P , при которыхъ появилось первой трещины, помѣщены на третьей строкѣ таблицы 8⁴⁾. Изъ таблицы № 14 слѣдуетъ ожидать, что въ моментъ появленія первой трещины наибольшія нагрузки не будутъ отличаться между собою въ томъ случаѣ, если отношенія $P : r^2$ одинаковы для различныхъ матеріаловъ постоянную величину. Какъ усматривается изъ третьей таблицы, это предположеніе не оправдывается. Послѣ малоудовлетворительныхъ результатовъ

Т а б л и ц а 8.

Стекло I мягкое.			Стекло II среднее.				Горный хрусталь.		
1	4	12	3	5	10	15	1	4	12
5,4	26,4	76,3	14,8	24,0	50,0	72,0	5,1	21,0	60,5
0,37	1,65	0,53	1,64	0,96	0,50	0,32	5,05	1,31	0,42

въ простѣйшемъ случаѣ испытанія линзъ одинаковой кривизны (таблица 7) подтвержденія теоріи при еще большемъ усложненіи вопроса отъ примѣненія формулы Герца. Такъ какъ отношенія $P : r^2$ убываютъ по мѣрѣ возрастанія радиуса линзы, то получается, что напряженіе σ , при которомъ появляется первая трещина, не одинаково для одного и того же матеріала, а получается тѣмъ больше, чѣмъ больше радиусъ линзы и тѣмъ меньше площадь соприкасанія. Самъ Герцъ, Ауербахъ, Фепплъ и др. не могли объяснить присутствіемъ внутреннихъ напряженій въ наружныхъ слояхъ твердыхъ телъ, такъ какъ въ нихъ вѣроятно содержится подобныя внутреннія напряженія, чѣмъ объясняются трещины въ стеклянныхъ предметахъ лопаются безъ видимой причины. Еще до опытовъ Герца предполагалось, что „строеніе твердыхъ телъ не соответствуетъ представ-

Bd. 43, Pg. 89.

Bd. 43, Pg. 89-91.

ленію объ однородности, положенному въ основаніе теоріи касанія. Достаточно извѣст интересующіе насъ наружные слои твердыхъ тѣлъ часто обладаютъ совсѣмъ иными свой чѣмъ внутренніе слои“.

З а к л ю ч е н і е. Опыты Ауербаха, произведенные со стеклянными образцами, опи лишь ту часть теоріи Герца, которая относится къ деформациямъ (формула № 12); что ж ется зависимости между напряженіемъ σ и нагрузкою P , представленной формулою № 14, стекла она не подтвердилась. Это обстоятельство слѣдуетъ приписать не столько неправил формулы Герца, сколько особымъ свойствамъ стекла, такъ какъ опыты Стрибека со стал образцами вполне оправдали теорію Герца.

III. случай. Касаніе цилиндра и плиты изъ одинаковаго матеріала. (Формулы 21 и 22. Ма сталь и чугуны). Насколько намъ извѣстно, пока еще никѣмъ не производилось опытовъ цѣльною цѣлью провѣрить ту часть теоріи Герца, которая относится къ касанію цил плиты. Несмотря на то, что цилиндрическіе катки очень часто примѣняются для подвиж стовыхъ опоръ, литература содержитъ очень мало указаній объ опытахъ съ катками. Ли американской литературѣ намъ удалось найти матеріалъ, относящійся къ испытанію цилин скихъ мостовыхъ катковъ. Опыты производили: 1) въ 1887-88 годахъ проф. Crandall Wing въ лабораторіи Корнелльскаго университета, 2) въ 1892 г. проф. Marston въ лабора Jowa State Agricultural College и 3) въ 1893 г. инж. McKim тамъ же. Результаты всѣхъ оп опубликованы въ Transactions of the American Soc. of Civ. Engineers Vol. XXXII (1894) Pag. 129; 270 -277. Они подвергались подробному обсужденію въ американской литературѣ и ос цѣнены для повѣрки теоріи Герца потому, что повидимому она не была извѣстна американ изслѣдователямъ. заключаемъ это изъ того, что о ней не упоминаютъ ни сами изслѣдова ни ихъ рецензенты, между тѣмъ какъ встрѣчаются указанія на всѣ извѣстныя намъ работ этой области, опубликованныя европейскими учеными Boussinesq., Rèsal, Deslandres⁵⁾.

Опыты производились со стальными, чугунными и желѣзными катками, которые сжи между двумя такими же плитами. Въ виду малаго значенія желѣза для опорныхъ частей и небольшого числа опытовъ съ желѣзными образцами, приведемъ только результаты, шіеся къ стали и чугуну, и притомъ всѣ результаты безъ исключенія. Особенно цѣнны и жательны опыты Marston'a и McKim'a, которые измѣряли 1) величину площади соприкас 2) предѣльное давленіе, при которомъ начинала обнаруживаться остающаяся деформация катк пользуемся первыми данными для повѣрки формулы Герца № 21, а вторыми для формулы № 22.

Повѣрка формулы Герца № 21 для ширины $2b$ площади соприкас цилиндра съ плитою.

1) Опыты проф. Marston'a. Стальной катокъ діаметромъ 16 дм. и длиною 1 дм., мался между двумя стальными плитами, толщиною 0,9 дм. Нагрузка возростала отъ 179 до кил. на пог. см. катка. Сталь была предварительно испытана, и получились результаты, у ные въ таблицѣ 9. Ширина $2b$ площади соприкасанія измѣрялась при пяти различныхъ н

Таблица 9 результатовъ проф. Marston'a для стали⁶⁾.

d діаметръ катка дм.	r радіусъ катка см.	p нагрузка на пог. см. катка кил.	b полуширина площадки			Качества стали.
			измѣрен- ная см.	по формулѣ Герца см.	Разница $\frac{0}{10}$	
16	20,32	179	0,063	0,066	4	Кѳэф. упругости $E=1919200$ к./с Предѣлъ упругости = 2531 к./см. ² Врем. сопротив. разрыву = 4077 к. Удлиненіе при разрывѣ = 310% Остающихся деформаций обнаруж не было, такъ какъ нагрузка почти въ $2\frac{1}{2}$ раза ниже предѣ упругости.
"	"	357	0,089	0,094	5	
"	"	536	0,114	0,115	1	
"	"	714	0,127	0,133	4	
"	"	893	—	0,149	—	
"	"	1072	0,139	0,163	14	

⁵⁾ Опыты Deslandres (Annales d. ponts et chaus. 1893) нами не разсматриваются, такъ они содержатъ мало данныхъ и притомъ въ формѣ, неудобной для повѣрки теоріи Герца.

⁶⁾ Transactions of Amer. Soc. of Civ. Eng. XXXII. Pg. 276.

деформаций не было. При тѣхъ же нагрузкахъ и измѣренномъ коэффициентѣ см.² рассчитаны значенія b по формулѣ Герца № 21: $b = 1,52 \sqrt{\frac{p \cdot r}{E}}$. Изчитанныя значенія полуширины b площади соприкасания катка съ плитами мало собою и сопоставлены въ таблицѣ 9.

проф. Crandall'я и инж. Wing'a. Стальные и чугунные катки, диаметромъ сжимались между плитами того же матеріала, толщиной 1½ дм. Нагрузка возм. 3420 к. на пог. см. катка, до предѣла упругости, т. е. до появленія первой остаю-

Насколько намъ извѣстно, результаты, относящіеся къ измѣренію ширины сазанія, не были опубликованы и находимъ у Johnson'a ⁷⁾ лишь эмпирическую формулу $b = 0,707 \cdot k \sqrt{p \cdot r}$, выведенную на основаніи опытовъ Crandall'a. фунты и дюймы, можно принять:

	для стали:	для чугуна:
коэффициентъ k	$k = 0,00036$	$k = 0,00050$
полуширина b	$b = 0,0002545 \sqrt{p \cdot r}$	$b = 0,0003535 \sqrt{p \cdot r}$

b, p, r въ сантим. и килогр. и сопоставляя формулы Герца для стали ($E = 2214450$ к./см.²) и для чугуна ($E = 1012300$ к./см.²), получимъ:

	для стали:	для чугуна:
. b	$b = 0,000959 \sqrt{p \cdot r}$	$b = 0,001323 \sqrt{p \cdot r}$
. b	$b = 0,00102 \sqrt{p \cdot r}$	$b = 0,00151 \sqrt{p \cdot r}$

формулы для b мало разнятся между собою, точно также значенія b , помѣ- 10 и рассчитанныя для нагрузокъ, обозначенныхъ въ 4-ой графѣ той же

Таблица 10 результатовъ проф. Crandall'я для стали и чугуна.

Радиусъ катка см.	p нагрузка на пог. см. катка кил.	b полуширина площадки, рассчитанная			Разница %	Качества матеріала.
		по формулѣ Crandall'я см.	по формулѣ Герца см.			
1,27	572	0,0258	0,0274	6	Стальной катокъ между стальными плитами толщ. 1½ дм. Коэф. упруг. $E=2214450$ к./см. ² Пред. упруг. = 3234 к./см. ²	
2,54	680	0,0397	0,0423	6		
3,81	993	0,0589	0,0627	6		
1,27	1100	0,0494	0,0564	12	Чугунный катокъ между чугунными плитами толщ. 1½ дм. Коэф. упруг. $E=1012300$ к./см. ² Пред. упруг. = 2882 к./см. ²	
2,54	1662	0,0860	0,0982	12		
3,81	1862	0,1115	0,1273	12		
5,08	3420	0,1744	0,1993	12		

McKim'a. Стальные катки, диаметромъ 1, 2, 3 и 4 дм. и длиною 1½ двумя стальными плитами, толщиной отъ 1½ до 2 дм. Нагрузка возрастала на п. см. катка. Остающихся деформаций не наблюдалось. Сталь была на, и получились результаты, указанные въ таблицѣ 11. Тамъ же приведенныя McKim'омъ и рассчитанныя по формулѣ Герца № 21 для соответств. при $E = 2031700$ к./см.². Между значеніями b , сопоставленными въ таблицѣ больше, чѣмъ въ таблицахъ 9 и 10, особенно при малой нагрузкѣ p и маломъ радиусѣ катка. Измѣренныя значенія b сплошь превышаютъ расчетныя и по указанію ⁸⁾ должны быть признаны преувеличенными, что несомнѣнно говоритъ въ

Таблица 11 результатовъ инж. Мским'а для стали ⁴⁾.

<i>d</i> диаметръ катка дм.	<i>r</i> радіусъ катка см.	<i>p</i> нагрузка на пог. см. катка кил.	<i>b</i> полуширина площадки			Качества стали.
			измѣрен- ная см.	по формуль Герца см.	Разница 0/100	
1	1,27	60	0,021	0,010	52	Стальные катки, длиною 1½ дм., жду стальными плитами, толщ 1½ до 2 дм.
"	"	119	0,026	0,013	50	
"	"	179	0,028	0,016	43	
2	2,54	60	0,028	0,013	53	Коеф. <i>E</i> = 2031700 к./см. ²
"	"	119	0,031	0,019	38	
"	"	179	0,033	0,023	30	Пред. упруг. = 2180 к./см. ²
"	"	238	0,036	0,026	28	
"	"	298	0,040	0,030	25	Врем. сопр. разрыву = 3515 к.
3	3,81	60	0,034	0,016	53	Удлиненіе при разрывѣ = 21 ⁰ <i>Примѣчаніе.</i> Всѣ нагрузки же предѣла упругости кат такъ что остающихся дефор не наблюдалось.
"	"	119	0,036	0,023	36	
"	"	179	0,039	0,028	28	
"	"	238	0,042	0,032	24	
"	"	298	0,044	0,036	18	
"	"	357	0,047	0,040	15	
"	"	417	0,049	0,042	14	
4	5,08	60	0,039	0,019	51	
"	"	119	0,041	0,026	36	
"	"	179	0,044	0,032	27	
"	"	238	0,047	0,037	21	
"	"	298	0,049	0,042	14	
"	"	357	0,051	0,045	12	
"	"	417	0,053	0,049	7	
"	"	476	0,056	0,053	5	
"	"	536	0,058	0,056	3	

З а к л ю ч е н і е. Вышеприведенные опыты американскихъ ученыхъ несомнѣнно по-
ждають пригодность формулы Герца № 21 для расчета ширины площади соприкасанія ци-
сь плитою.

П ов ѣ р к а формулы Герца № 22 для наибольшаго напряженія.
женія въ мѣстѣ касанія не поддаются непосредственному измѣренію; поэтому для повѣрки

мулы $\sigma = 0,418 \sqrt{\frac{p \cdot E}{r}}$ воспользуемся тѣми опытами американскихъ инженеровъ, ко-

служили для опредѣленія предѣла упругости катковъ, т. е. той нагрузки *p*, при которой
ляется первая остающаяся ихъ деформация. Въ этотъ моментъ всѣ катки испытываютъ въ
касанія одинаковое наибольшее напряженіе σ . Измѣривъ для ряда катковъ разнаго діаметра
дѣльную нагрузку *p* и подставивъ ея значенія послѣдовательно въ формулу Герца, пол-
рядъ значеній σ , которыя должны быть равны между собою въ томъ случаѣ, если формула
вѣрна и измѣренія произведены правильно. Точное измѣреніе предѣльной нагрузки *p* оче-
труднительно, такъ какъ не всегда удается обнаружить моментъ появленія первой остаю-
деформации. Поэтому при производствѣ опытовъ давленіе увеличивалось очень медленно, и
каждого его приращенія катокъ и плиты тщательно осматривались. Во всѣхъ случаяхъ
остающаяся деформация обнаруживалась на плитахъ, а не на каткѣ.

1) Опыты проф. Marston'a. Десять стальныхъ катковъ, діаметромъ отъ 1 до
и длиною 1 дм., сжимались между стальными плитами, толщиною 0,9 дм. Всѣ катки и
были изготовлены изъ одного куска стали, которая была предварительно испытана, при
лучились результаты, указанные въ таблицѣ 12. Тамъ же помѣщены предѣльные нагрузки
ленія *p/d* на квадр. см. горизонтальной проекціи катка и наибольшія напряженія σ , расче-
по формуль Герца при *E* = 1919200 к./см.². Напряженія σ , помѣщенные въ таблицѣ 12,

⁴⁾ Стр. 122 Vol. XXXII Transactions 1894.

Таблица 12 результатовъ Marston'a для стали 1).

p нагрузка на пог. см. катка кил.	$\frac{p}{d}$ к./см. ²	σ наиболь- шее на- пряжение по Герцу к./см. ²	К а ч е с т в а с т а л и .
170	67	6700	Коэффиц. упруг. $E = 1919200$ к./см. ² Предѣлъ упруг. = 2531 к./см. ² Врем. сопр. разрыву = 4077 к./см. ² Удлиненіе при разрывѣ = 31 ⁰ / ₀ . <i>Примѣчаніе</i> Нагрузка увеличивалась медленно. Послѣ каждого приращенія на- грузки, осматривались поверхности, дабы убѣдиться, имѣются ли остающіяся дефор- маціи. При первомъ появленіи остающих- ся деформаций спытъ прекращался, такъ что нагрузки p соотвѣтствуютъ предѣлу упругости катковъ.
394	78	7200	
627	82	7410	
760	75	7090	
895	59	6280	
1074	53	5980	
1432	56	6140	
1790	59	6280	
2240	63	6500	
2590	64	6550	

обю, между тѣмъ они колеблются въ предѣлахъ отъ 5980 до 7410 к./см.² зній кроется не столько въ неточности формулы Герца, сколько въ погрѣш- и нагрузокъ p . Это слѣдуетъ изъ разсмотрѣнія давленій на квадр. см. гори- катковъ, приведенныхъ въ 4-й графѣ таблицы 12. Эти давленія сперва воз- 32, затѣмъ убываютъ до 53 и опять возрастаютъ до 64. Столь неравномѣр- ныхъ давленій непонятно. Имѣя же въ виду, что давленія p/d связаны съ ымъ закономъ (формула Герца № 22), нельзя ожидать точнаго совпаденія ь случаѣ, принимая во вниманіе трудность выполнения опытовъ, можно приз- колеблются въ допустимыхъ предѣлахъ и что опыты Marston'a въ достаточ- даютъ пригодность теоріи Герца.

ж. McKim'a. Стальные катки, діаметромъ 1, 2, 3 и 4 дм. и длиною 1¹/₂ стальными плитами, толщиною 1¹/₂ до 2 дм. Всѣ катки и плиты были изго- уска круглой стали, которая была предварительно испытана, причемъ полу- азанные въ таблицѣ 13. Тамъ же помѣщены: 1) предѣльные нагрузки p , дѣлу упругости катковъ, 2) давленія p/d на квадр. см. горизонтальной про- на напряженія σ , рассчитанныя по формулѣ Герца № 22. Исходя изъ со- при разсмотрѣніи результатовъ таблицы 13, можно признать, что опыты степени подтверждаютъ пригодность теоріи Герца.

Таблица 13 результатовъ McKim'a для стали 2).

p нагрузка на пог. см. катка кил.	$\frac{p}{d}$ к./см. ²	σ наиб. ль- шее на- пряжение по Герцу к./см. ²	К а ч е с т в а с т а л и .
196	77	7400	Коэффиц. упруг. $E = 2031700$ к./см. ² Предѣлъ упруг. = 2180 к./см. ² Врем. сопр. разрыву = 3515 к./см. ² Удлиненіе при разрывѣ = 21 ⁰ / ₀ .
322	64	6710	
439	58	6400	
562	55	6270	

Crandall'я и инж. Wing'a. Стальные и чугунные катки, діамет- зжимались между плитами того же матеріала, толщиною 1¹/₂ дм. Всѣ дан- 14. Въ виду бѣдшей твердости (предѣла упругости) катковъ и плитъ, з гораздо больше соотвѣтственныхъ значеній въ таблицахъ 12 и 13. 14 позволяютъ сдѣлать заключеніе въ пользу теоріи Герца.

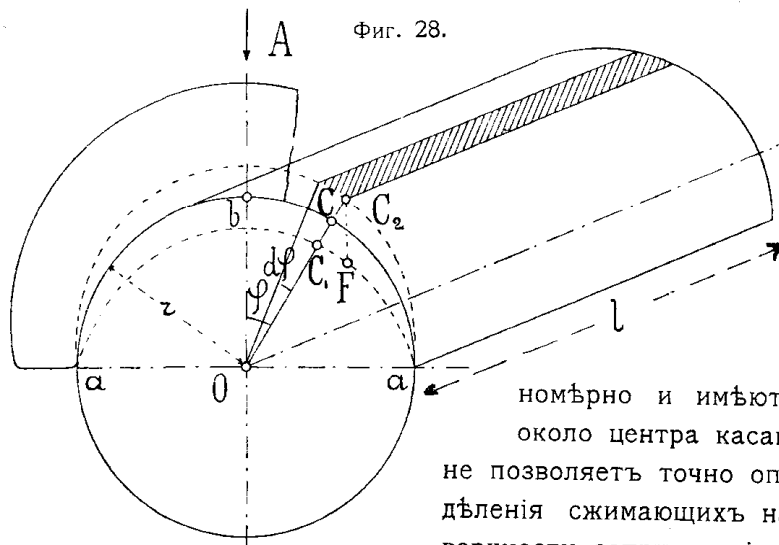
Таблица 14 результатов Crandall' и Wing'a для стали и чугуна³⁾.

	d діаметръ катка дм.	r радіусъ катка см.	p нагрузка на пог. см. катка кил.	$\frac{p}{d}$ к./см. ²	σ наиболь- шее на- пряженіе по Герцу к./см. ²	Качества матеріала
Сталь.	1	1,27	572	225	13200	Коэффициентъ упруг. на сжатіе $E = 2214450$ к./см. ² Пред. упруг. на сжатіе = 3234 к.
	2	2,54	680	134	10190	
	3	3,81	993	130	10060	
Чугунъ.	1	1,27	1100	434	11900	Коэффициентъ упруг. на сжатіе $E = 1012300$ к./см. ² Пред. упруг. на сжатіе = 2882 к. Временное сопротивленіе раздро- нію = 7031 к./см. ²
	2	2,54	1662	328	10250	
	3	3,81	1862	245	10000	
	4	5,08	3420	336	10370	

З а к л ю ч е н і е. Всѣ разсмотрѣнные результаты американскихъ опытовъ⁴⁾ въ дост-
степени подтверждаютъ пригодность формулы Герца № 22 для расчета наибольшаго нап-
въ мѣстѣ касанія цилиндрическаго катка съ плитою.

§ 7. Плотное касаніе по цилиндрической и шаровой поверхности.

Покончивъ съ вопросомъ о касаніи въ точкѣ и по прямой, перейдемъ
разсмотрѣнію случаевъ, когда касаніе двухъ тѣлъ происходитъ по цѣлой по-
ности, даже при отсутствіи нагрузки. На практикѣ эти поверхности бываютъ
всего плоскія, цилиндрическія и шаровыя. Въ случаѣ касанія двухъ сжатыхъ



по плоскости,
новенно считаютъ,
давленіе распре-
ется равномѣрно
всей площади со-
касанія. Въ ост-
ныхъ случаяхъ эта
потеза не примѣн-
напряженія распр-
ляются весьма не-

номѣрно и имѣютъ наибольшую вели-
около центра касанія. До сихъ поръ
не позволяетъ точно опредѣлить законъ ра-
дѣленія сжимающихъ напряженій по криво-
верхности соприкасанія, такъ что приходится

новывать расчеты на разныхъ гипотезахъ, придающихъ имъ условный харак-
Приведемъ такіе расчеты для случаевъ плотнаго касанія двухъ цилиндровъ и

³⁾ Pag. 126 Vol. XXXII Transactions 1894.

⁴⁾ На стр. 280 2-го изданія: Tetmajer, die angewandte Elasticitäts und Festigkeitslehre
находится таблица съ результатами испытанія чугунныхъ, желѣзныхъ и стальныхъ катковъ
изведеннаго инж. Юзеліусомъ для опредѣленія соотношенія между величиною сжатія катка и
входящаго въ формулу Тетмайера (§ 18) для расчета катковъ. Къ сожалѣнію, нельзя
зваться результатами этихъ опытовъ для повѣрки теоріи Герца, въ виду того, что резу-
относятся къ явленіямъ далеко за предѣломъ упругости катковъ, ибо давленіе на катки до
превышало допускаемое давленіе и деформации получались вездѣ остающимися.

разсчетахъ сдѣланы слѣдующія допущенія: 1) упругое смятіе δ нію, нормальному къ поверхности соприкасанія пропорціонально ему нормальному напряженію σ и 2) пренебрегается вліяніемъ матеріала въ плоскости, перпендикулярной къ оси давленія A .
 двухъ цилиндровъ. Въ сѣченіи aba , перпендикулярномъ къ цилиндра (фиг. 28), рассмотримъ нѣкоторую точку C на окруж-
 Смятіе матеріала по нормальному направленію къ поверхности значимъ для нижняго тѣла черезъ $\delta_1 = CC_1$ и для верхняго тѣла
 При условіи, что смятіе пропорціонально нормальному напря-

$$\delta_1 = a_1 \cdot \sigma \qquad \delta_2 = a_2 \cdot \sigma \dots \dots \dots (24)$$

иціенты, зависящіе отъ упругости матеріала.
 отрѣзокъ $C_2 C_1 = \delta_1 + \delta_2$ по вертикальному направленію и касательности и обозначая вертикальный отрѣзокъ $C_2 F$ черезъ δ , получаемъ

$$\delta \cdot \cos \varphi = \delta_1 + \delta_2 \dots \dots \dots (25)$$

значенія δ_1 и δ_2 изъ формулы 24 и рѣшая по σ , получаемъ

$$\sigma = \frac{\delta \cdot \cos \varphi}{a_1 + a_2} \dots \dots \dots (26)$$

давленіе, приходящееся на элементарную полоску $d\omega$ цилиндра въ фиг. 28:

$$\sigma \cdot d\omega = \sigma \cdot l \cdot r \cdot d\varphi.$$

составляющая этого давленія:

$$\sigma \cdot \cos \varphi = \sigma \cdot l \cdot r \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi = \frac{\delta \cdot l \cdot r}{a_1 + a_2} \cdot \cos^2 \varphi \cdot d\varphi.$$

составляющихъ (при всѣхъ значеніяхъ φ) должна равняться A :

$$A = \int \sigma \cdot d\omega \cdot \cos \varphi = \frac{\delta \cdot l \cdot r}{a_1 + a_2} \int \cos^2 \varphi \cdot d\varphi.$$

случай.

едѣляется на всю уцилиндра.

$$\int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \cos^2 \varphi \cdot d\varphi = \left[\cos \varphi + \frac{1}{2} \varphi + C \right]_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}}$$

II случай.

Давленіе A распредѣляется лишь на верхнюю часть цилиндра съ центральнымъ угломъ 90° .

Предѣлы для φ : отъ $-\frac{\pi}{4}$ до $+\frac{\pi}{4}$.

$$A = \frac{\delta \cdot l \cdot r}{a_1 + a_2} \int_{-\frac{\pi}{4}}^{+\frac{\pi}{4}} \cos^2 \varphi \cdot d\varphi = \frac{\delta \cdot l \cdot r}{a_1 + a_2} \left[\frac{1}{2} \sin \varphi \cdot \cos \varphi + \frac{1}{2} \varphi + C \right]_{-\frac{\pi}{4}}^{+\frac{\pi}{4}}$$

съ достаточною точностью принять постояннымъ.

$$A = \frac{\delta \cdot l \cdot r}{a_1 + a_2} \cdot \frac{\pi}{2} \dots (27)$$

Раздѣляя уравненіе 26 на 27, получимъ:

$$\sigma = \frac{2A \cdot \cos \varphi}{\pi \cdot l \cdot r} \dots (29)$$

При $\varphi = 0$ напряженіе σ имѣетъ наибольшее значеніе:

$$\max \sigma = \frac{2A}{\pi \cdot l \cdot r} = 0,637 \frac{A}{l \cdot r} \dots (31)$$

Оно въ $\frac{0,637}{0,5} = 1,27$ разъ превышаетъ равномерное напряженіе $0,5 \frac{A}{l \cdot r}$, исчисленное при условіи равномернаго распредѣленія давленія A на диаметральное сѣченіе цилиндра.

Такъ какъ нельзя разсчитывать на вполнѣ плотное соприкасаніе, то мендуется пользоваться формулою 32 для II случая. Если соприкасаніе происходитъ лишь по нѣкоторому сегменту цилиндра, то необходимо проинтегрировать выраженіе для A , подставивъ новые предѣлы для φ .

Опыты Beauchamp Tower⁶⁾. Нѣкоторое подтвержденіе формулъ 30 и 32 находимъ въ Тауера, дающихъ указанія о распредѣленіи напряженій по поверхности нагруженной цилиндрической цапфы, вращающейся въ подшипникѣ съ однимъ бронзовымъ вкладышемъ. Диаметръ 101,6 мм., длина вкладыша 152,4 мм. Число оборотовъ въ минуту 150; уменьшеніе числа оборотовъ до 20 не оказало вліянія на напряженія. Давленіе на цапфу 3632 кил. или 23,5 кил. диаметральнаго сѣченія цапфы.

Въ вершинѣ цапфы среднее напряженіе получилось = $42,2 \text{ к./см.}^2$, т. е. въ $\frac{42,2}{23,5} = 1,79$ разъ больше равномернаго напряженія 23,5, между тѣмъ какъ согласно формулѣ 31 соотношеніе получается $\frac{0,778}{0,5} = 1,56$.

Справа и слѣва отъ вершины вдоль производящихъ цилиндра, соотвѣтству центральному углу $\varphi = \pm 29^\circ$ (фиг. 28), Тауеръ наблюдалъ среднее напряженіе 33,2 к. съ лѣвой и 24,3 к./см.² съ правой стороны. Разницею между напряженіями слѣва и справа тверждается извѣстное явленіе, что при вращеніи цапфы въ лѣвую сторону большее напряженіе испытываетъ лѣвая ея половина и наоборотъ. При очень медленномъ движеніи можно при напряженіи вдоль лѣвой и правой производящихъ одинаковымъ около $\frac{1}{2} (33,2 + 24,3) = 28,7$ к. или въ $\frac{28,7}{23,5} = 1,22$ раза больше равномернаго напряженія 23,5. Разсчитывая напряженіе томъ же мѣстѣ по формулѣ 30 при углу $\varphi = 29^\circ$, имѣемъ

$$\sigma = \frac{4 \cdot 0,875}{2 + \pi} \cdot \frac{A}{l \cdot r} = 0,681 \frac{A}{l \cdot r}$$

Въ сравненіи съ равномернымъ напряженіемъ $0,5 \frac{A}{l \cdot r}$ напряженіе σ въ $\frac{0,681}{0,5} = 1,36$ больше, а по Тауеру въ 1,22 раза, какъ указано выше. По наблюденіямъ Тауера при увеличеніи давленія на цапфу ея напряженія возрастаютъ пропорціонально.

⁶⁾ Engineer. 1884. II. Pag. 434.

$$A = \frac{\delta \cdot l \cdot r}{a_1 + a_2} \cdot \frac{2 + \pi}{4} \dots$$

Раздѣляя уравненіе 26 на 28, получимъ:

$$\sigma = \frac{4A \cdot \cos \varphi}{(2 + \pi) l \cdot r} \dots$$

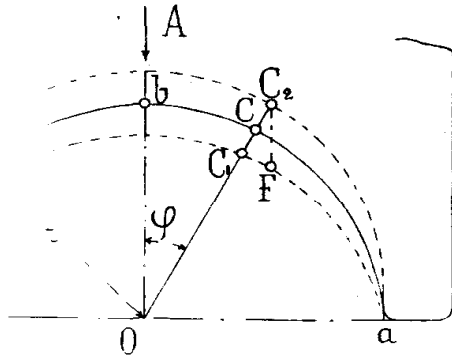
При $\varphi = 0$ напряженіе σ наибольшее значеніе:

$$\max \sigma = \frac{4A}{(2 + \pi) l \cdot r} = 0,778 \frac{A}{l \cdot r}$$

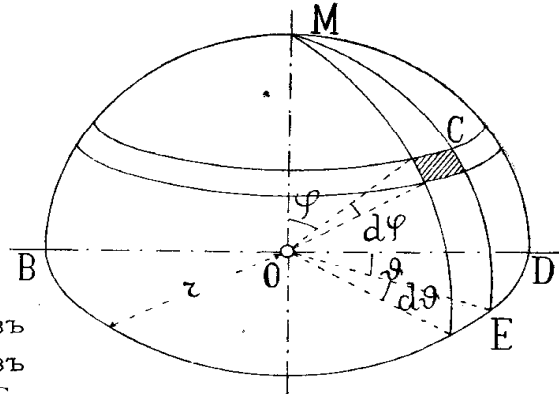
Оно въ $\frac{0,778}{0,5} = 1,56$ разъ

превышаетъ равномерное напряженіе $0,5 \frac{A}{l \cdot r}$, исчисленное при условіи равномернаго распредѣленія давленія A на диаметральное сѣченіе цилиндра.

саніе двухъ шаровъ. Въ діаметральномъ сѣченіи aba (фиг. 29) нѣкоторую точку C на поверхности шаровъ. Смятіе матеріала по



Фиг. 30.



авленію къ поверхности въ для нижняго тѣла черезъ хняго тѣла черезъ $\delta_2 = CC_2$. смятіе пропорціонально нормальному напряженію σ , получимъ

$$\delta_1 = a_1 \cdot \sigma \quad \delta_2 = a_2 \cdot \sigma \dots \dots \dots (33)$$

коэффициенты, зависящіе отъ упругости матеріала.

рѣзокъ $C_2C_1 = \delta_1 + \delta_2$ по вертикальному направленію и касажности и обозначая вертикальный отрѣзокъ C_2F черезъ δ ,

$$\delta \cdot \cos \varphi = \delta_1 + \delta_2 \dots \dots \dots (34)$$

значенія δ_1 и δ_2 изъ формулы 33, получаемъ

$$\sigma = \frac{\delta \cdot \cos \varphi}{a_1 + a_2} \dots \dots \dots (35)$$

C на поверхности шара (фиг. 30) проводимъ меридіанъ MCE , главнымъ меридіаномъ BMD угломъ ϑ . Обозначаемъ черезъ φ угломъ OC и осью OM ; тогда радиусъ параллельнаго круга че $\sin \varphi$. Разсматриваемъ безконечно малый элементъ поверхности въ фиг. 30 и заключенный между двумя меридіанами и двумя ами. Высота элемента $= r \cdot d\varphi$; его основаніе, измѣренное по радиусомъ $r \cdot \sin \varphi$, равно $r \cdot \sin \varphi \cdot d\vartheta$.

элемента: $d\omega = r^2 \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi \cdot d\vartheta$.

давление, приходящееся на площадку $d\omega$:

$$\sigma \cdot d\omega = \sigma \cdot r^2 \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi \cdot d\vartheta.$$

составляющая этого давленія:

$$\begin{aligned} \sigma \cdot d\omega \cdot \cos \varphi &= \sigma \cdot r^2 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi \cdot d\vartheta \\ &= \frac{\delta \cdot r^2}{a_1 + a_2} \cdot \sin \varphi \cdot \cos^2 \varphi \cdot d\varphi \cdot d\vartheta. \end{aligned}$$

составляющихъ (при всѣхъ значеніяхъ φ и ϑ) должна равняться A :

$$\iint \sigma \cdot d\omega \cdot \cos \varphi = \frac{\delta \cdot r^2}{a_1 + a_2} \int d\vartheta \int \sin \varphi \cdot \cos^2 \varphi \cdot d\varphi \quad ?)$$

съ достаточною точностью принять постояннымъ.

I случай.

Давленіе A распредѣляется на всю поверхность полушарія.

Предѣлы для ϑ : отъ 0 до 2π .

„ для φ : отъ 0 до $\frac{\pi}{2}$.

$$A = \frac{\delta \cdot r^2}{a_1 + a_2} \int_0^{2\pi} d\vartheta \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \varphi \cdot \cos^2 \varphi \cdot d\varphi.$$

Рѣшеніе двойного интеграла даетъ $\frac{2}{3}\pi$. Слѣдовательно

$$A = \frac{\delta \cdot r^2}{a_1 + a_2} \cdot \frac{2}{3} \pi \dots \dots \dots (36)$$

Раздѣляя уравн. 35 на 36, получаемъ

$$\sigma = \frac{3 \cdot A \cdot \cos \varphi}{2 \cdot \pi \cdot r^2} \dots \dots \dots (38)$$

При $\varphi = 0$ напряженіе σ имѣетъ наибольшее значеніе

$$\max \sigma = \frac{3 \cdot A}{2 \cdot \pi \cdot r^2} = 0,478 \cdot \frac{A}{r^2} \dots \dots (40)$$

Оно въ $\frac{0,478}{0,318} = 1,50$ разъ больше

равномѣрнаго напряженія $\frac{A}{\pi \cdot r^2} = 0,318 \cdot \frac{A}{r^2}$, исчисленнаго при условіи

равномѣрнаго распредѣленія давленія A на діаметральное сѣченіе шара.

Такъ какъ нельзя разсчитывать на вполнѣ плотное соприкасаніе, то опаснѣе пользоваться формулою 41 для II случая. Если соприкасаніе поверхности происходитъ лишь по нѣкоторому сегменту шара, то необходимо вновь прогруппировать выраженіе для A , подставивъ новые предѣлы для φ .

II случай.

Давленіе A распредѣляется на верхній сегментъ шара съ центральнымъ угломъ 90° .

Предѣлы для ϑ : отъ 0 до 2π .

„ для φ : отъ 0 до $\frac{\pi}{4}$.

$$A = \frac{\delta \cdot r^2}{a_1 + a_2} \int_0^{2\pi} d\vartheta \int_0^{\frac{\pi}{4}} \sin \varphi \cdot \cos^2 \varphi \cdot d\varphi$$

Рѣшеніе двойного интеграла даетъ $0,430\pi$. Слѣдовательно

$$A = \frac{\delta \cdot r^2}{a_1 + a_2} \cdot 0,430 \pi \dots \dots \dots$$

Раздѣляя уравн. 35 на 37, получаемъ

$$\sigma = \frac{A \cdot \cos \varphi}{0,430 \cdot \pi \cdot r^2} \dots \dots \dots$$

При $\varphi = 0$ напряженіе σ имѣетъ наибольшее значеніе

$$\max \sigma = \frac{A}{0,430 \cdot \pi \cdot r^2} = 0,740 \cdot \frac{A}{r^2}.$$

Оно въ $\frac{0,740}{0,318} = 2,33$ раза болѣе

равномѣрнаго напряженія $\frac{A}{\pi \cdot r^2} = 0,318 \cdot \frac{A}{r^2}$, исчисленнаго при условіи

равномѣрнаго распредѣленія давленія A на діаметральное сѣченіе шара.

§ 8. Допускаемыя напряженія для чугуна и стали.

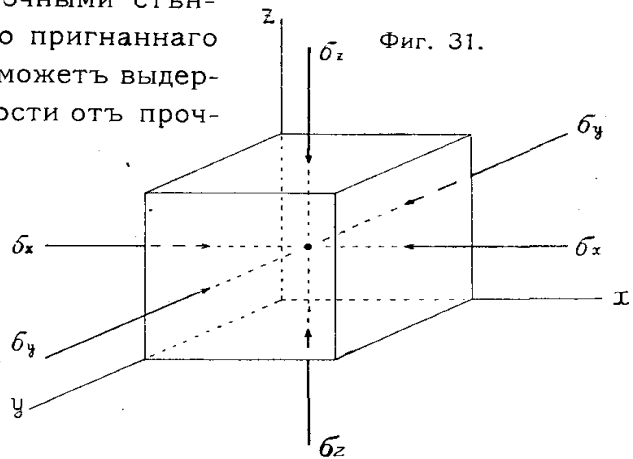
При повѣркѣ напряженій по формуламъ, приведеннымъ въ § 5 и 7, знать допускаемое напряженіе матеріала на смятіе, которое зависитъ отъ характера касанія. При свободномъ касаніи допускается гораздо большее напряженіе, при плотномъ касаніи. Каждый изъ этихъ случаевъ разсмотримъ отдѣльно.

I. Смятіе при свободномъ касаніи. Величина сминающаго напряженія зависитъ отъ того, происходитъ ли касаніе въ точкѣ или по линіи. Первый случай имѣетъ практическое примѣненіе при касаніи шара съ шаромъ или съ плоскостью.

при касаніи цилиндра съ цилиндромъ или съ плоскостью. Пусть имѣемъ упругое твердое тѣло, находящееся подѣ дѣйствіемъ сжимающей силы, которая дѣйствуетъ равномерно по всей площади тѣла и постепенно увеличивается. Съ того момента, какъ сила превышаетъ предѣлъ упругости тѣло начинаетъ раздаваться въ сторону, стремясь выпереть бока. При бокамъ горизонтальныя сжимающія силы, препятствующія выпиранию, значительно повысятъ общее сопротивление тѣла на сжатіе. Въ условіяхъ будетъ находиться тѣло, если сжимающая сила дѣйствуетъ среднюю его часть (мѣстное сжатіе), а края остаются свободными отъ этого случая твердое тѣло находится въ такихъ же условіяхъ, какъ

заключенная въ сосудъ съ прочными стѣнами, аемая при посредствѣ плотно пригнаннаго поршня. Въ такихъ условіяхъ жидкость можетъ выдержать высокое давленіе, въ зависимости отъ прочности сосуда. Тѣла, подверженныя сжатію (свободное касаніе), упругимъ свойствамъ соответствуютъ отъ равномерно

При мѣстномъ сжатіи имѣетъ пропорціональность между напряженіемъ σ и относительнымъ удлинениемъ i , выраженной изомъ: $\sigma = E \cdot i$.



черезъ σ_z сжимающее напряженіе вдоль внѣшней силы (фиг. 31), боковыя напряженія, сжимающія рассматриваемый элементъ тѣла въ плоскости, перпендикулярной къ внѣшней силѣ. Если бы элементъ испытывалъ только напряженіе σ_z , то относительное укороченіе его по оси z черезъ $+ i'_z = + \frac{\sigma_z}{E}$, а относительное удлиненіе по направ-

лу y черезъ $- i'_x = - i'_y = \eta_1 \frac{\sigma_z}{E}$, гдѣ η_1 — коэффициентъ поперечнаго сжатія при сжатіи. Если бы элементъ испытывалъ только напряженіе σ_x , то получилъ бы по оси x укороченіе $+ i''_x = + \frac{\sigma_x}{E}$, а по осямъ

y и z удлиненія $- i''_y = - i''_z = - \eta_2 \frac{\sigma_x}{E}$. Наконецъ, при дѣйствіи одного напряженія σ_y элементъ получилъ бы по оси y укороченіе $+ i'''_y = + \frac{\sigma_y}{E}$, а по осямъ x и z удлиненія $- i'''_x = - i'''_z = - \eta_3 \frac{\sigma_y}{E}$. При совмѣстномъ дѣйствіи напряженій σ_x и σ_y искомое относительное укороченіе i_z элемента по оси z дѣйствительнаго представится алгебраическою суммою отдѣльныхъ деформаций

удлинению, т.-е.

$$i_z = + i'_z - i''_x - i''_y - i'''_x - i'''_y \dots \dots \dots (42)$$

существованіе боковыхъ сжимающихъ напряженій σ_x и σ_y уменьшитъ относительное укороченіе элемента вдоль дѣйствія силы, то при мѣстномъ сжатіи или при свободномъ сжатіи можно допустить большее напряженіе на смятіе, чѣмъ въ случаѣ сжатія или плотнаго касанія.

Подставляя въ уравненіе 42 вышеуказанныя значенія $i_z' i_z'' i_z'''$,
 $i_z = \frac{\sigma_z}{E} - \frac{\eta_1}{E} (\sigma_x + \sigma_y)$, откуда получимъ дѣйствительное напряженіе E
 мѣстномъ сжатіи: $E \cdot i_z = \sigma_z - \eta_1 (\sigma_x + \sigma_y)$.

Величину боковыхъ напряженій σ_x и σ_y можно опредѣлить на основаніи
 при Герца. Введемъ слѣдующія обозначенія:

$$\sigma_x = k_x \cdot \sigma_z \quad \text{и} \quad \sigma_y = k_y \cdot \sigma_z, \quad \text{такъ что}$$

$$E \cdot i_z = \sigma_z - \eta_1 (k_x \cdot \sigma_z + k_y \cdot \sigma_z) = \left[1 - \eta_1 (k_x + k_y) \right] \sigma_z = \psi \cdot \sigma_z$$

Коэффициентъ $\psi = \left[1 - \eta_1 (k_x + k_y) \right]$ всегда < 1 , а потому $\psi \cdot \sigma_z$ всегда

Такъ какъ дѣйствительное напряженіе $E \cdot i_z = \psi \cdot \sigma_z$ въ $\frac{1}{\psi}$ разъ меньше см
 щаго напряженія σ_z при равномерномъ сжатіи, то допускаемое напря
 R_δ на смятіе при мѣстномъ сжатіи или свободномъ касаніи тѣлъ
 принять въ $\frac{1}{\psi}$ разъ больше, чѣмъ при плотномъ касаніи плоск
 тѣлъ по всей ихъ поверхности. Допуская въ послѣднемъ случаѣ напряженіе
 отвѣтствующее предѣлу упругости G при простомъ сжатіи, получимъ искомо
 пускаемое напряженіе R_δ на смятіе при свободномъ касаніи

$$R_\delta = \frac{1}{\psi} \cdot G.$$

Разсмотримъ теперь вопросъ о коэффициентѣ ψ и о предѣлѣ упругости

Коэффициентъ ψ . Ограничимся рассмотрѣніемъ двухъ практически важн
 случаевъ касанія 1) шаровъ и 2) цилиндровъ.

1) Въ случаѣ касанія двухъ шаровъ теорія Герца даетъ слѣдую
 соотношеніе между нормальнымъ напряженіемъ σ_z въ центрѣ касанія и равн
 между собою напряженіями σ_x и σ_y , дѣйствующими въ касательной плоск
 перпендикулярной къ направленію внѣшней силы:

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{1 + 4\theta}{2(1 + 2\theta)} \cdot \sigma_z \quad 1)$$

причемъ коэффициентъ θ находится въ слѣдующей зависимости отъ коэффицие
 поперечнаго расширенія: $\theta = \frac{\eta_1}{1 - 2\eta_1}$. Подставляя θ въ предыдущее урав
 и принимая $\eta_1 = 0,3$, имѣемъ $\sigma_x = \sigma_y = (0,5 + \eta_1) \cdot \sigma_z = (0,5 + 0,3) \cdot \sigma_z = 0,8$.
 Итакъ при касаніи двухъ шаровъ коэффициенты $k_x = k_y = 0,8$, такъ что
 $\psi = \left[1 - \eta_1 (k_x + k_y) \right] = (1 - 0,3 \cdot 2 \cdot 0,8) = 0,52$. Слѣдовательно, допускае
 напряженіе R_δ на смятіе при свободномъ касаніи двухъ шаровъ:

$$R_\delta = \frac{1}{\psi} \cdot G = \frac{1}{0,52} \cdot G = 1,92 G. \dots\dots\dots$$

2) Въ случаѣ касанія шара съ плитою несомнѣнно можетъ

1) Н. Hertz. Gesammelte Werke 1895. I Bd. Pg. 168.

шее напряженіе, чѣмъ при касаніи шара съ шаромъ; изъ сравненія и 9 для расчета наибольшаго нормальнаго напряженія σ въ томъ случаѣ усматривается, что σ всегда меньше въ случаѣ касанія шара также результаты опытовъ Стрибека въ табл. 1 и 3 на стр. 20 ая допускаемое напряженіе $R_2 = 1,92.G$, т. е. такимъ же, какъ ня двухъ шаровъ, мы безусловно поступаемъ въ пользу прочности. случаяхъ касанія цилиндра съ цилиндромъ или съ допускаемое напряженіе на смятіе получается меньше, чѣмъ при касаніи мъ, такъ какъ сжимаемые элементы при ихъ боковомъ выпираниі препятствіе лишь по направленію, перпендикулярному къ производя- между тѣмъ какъ вдоль нея выпирание матеріала можетъ проис- ственно. Поэтому $\sigma_y = 0$ и $k_y = 0$. Что же касается бокового то за отсутствіемъ иныхъ данныхъ, принимаемъ его $= 0,8.\sigma_z$, какъ ставляя значенія $k_x = 0,8$ и $k_y = 0$ въ формулу для ϕ , получаемъ

$$\phi = (1 - 0,3 \cdot 0,8) = 0,76.$$

допускаемое напряженіе R_2 на смятіе при свободномъ касаніи шара съ плитою или съ цилиндромъ:

$$R_2 = \frac{1}{\phi} \cdot G = \frac{1}{0,76} \cdot G = 1,32.G \dots \dots \dots (44)$$

упругости G для стали. Для опорныхъ частей примѣняютъ два сорта литее и кованную сталь. Подушки и балансиры обыкновенно изъ жидкаго металла. Такое стальное литее бываетъ Мартенов-Бессемеровскаго производства, изъ которыхъ первое лучше. Катки и обыкновенно изготовляютъ изъ болѣе твердой кованной стали, которая жидкомъ видѣ по Мартеновскому или Бессемеровскому способу затѣмъ уплотняется путемъ проковки подъ паровымъ молотомъ. частей, работающих на смятіе, наиболѣе цѣннымъ свойствомъ высокая твердость или предѣлъ упругости, что достигается: 1) повыше- ія углерода, 2) проковкою подъ паровымъ молотомъ и 3) быстрымъ отливокъ на воздухъ. Подробности по этимъ вопросамъ приведены

Будемъ различать три сорта стали: мягкое литее съ предѣломъ 3000 к./см.², твердое литее съ предѣломъ упругости G около кованная сталь съ предѣломъ упругости G отъ 3300 до 4000 или 3700 к./см.². Относящіяся къ этимъ сортамъ временныя сопротивле- удлиненія приведены въ таблицѣ 15. Умножая вышеуказанные пре- G на коэффициентъ 1,92 при касаніи шаровыхъ поверхностей и саніи цилиндрическихъ поверхностей (согласно формуламъ 43 и 44), каемые напряженія для стали, выписанныя въ таблицѣ 15.

упругости G для чугуна. Для чугунныхъ частей, работающих на смя- ѣннымъ свойствомъ является твердость, которую можно повысить: содержанія карбида, т. е. углерода, химически связаннаго съ же- шеніемъ содержанія кремнія, 2) быстрымъ охлажденіемъ отливокъ орной переплавки чугуна, вслѣдствіе чего повышается содержаніе новременномъ уменьшеніи содержанія кремнія. Подробности по приведены въ § 8 I тома. Будемъ различать мягкой сѣрый ломъ упругости G на сжатіе около 2000 к./см.² и твердый чу-

гунъ съ G около 2600 к./см.². Умножая эти значенія G на коэффициентъ при касаніи шаровыхъ поверхностей и на 1,32—при касаніи цилиндрически-верхностей (согласно формуламъ 43 и 44), получаемъ допускаемыя напряженія смятіе для чугуна, выписанныя въ таблицѣ 15.

Таблица 15 допускаемыхъ напряженій на смятіе при свободномъ касаніи.

	Стальное литье		Кованная	Чугунное литье		
	мягкое.	твердое ⁹⁾ .	сталь.	мягкое.		
Времен. сопротив. разрыву не менѣе .	4500 *)	6500	5000 до 6000 *)	1000 *)		
Удлиненіе не менѣе	8 ⁰ / ₀ *)	—	12 ⁰ / ₀ *)	—		
Предѣлъ упругости G около	3000	3800	3700	2000	2600	
Допуск. напряженіе на смятіе при свободномъ касаніи	шаровыхъ поверхностей	1,92.3000	1,92.3800	1,92.3700	1,92.2000	1,92.
		или 5800	или 7300	или 7100	или 3800	или
	цилиндрически-поверхностей . .	1,32.3000	1,32.3800	1,32.3700	1,32.2000	1,32.
		или 4000	или 5000	или 4900	или 2600	или

Для повѣрки допускаемыхъ напряженій, указанныхъ въ таблицѣ 15, рассмотримъ: 1) нормы, заимствованныя изъ существующихъ мостовъ, 2) нормы, предложенныя специалистами того дѣла, и 3) результаты опытовъ съ катками.

Таблица 16 напряженій въ стальныхъ каткахъ существующихъ мостовъ.

Название моста, рѣки и мѣста.	Пролетъ фермъ м.	Давленіе на опоры тон.	Размѣры катковъ			Напряженіе ⁹⁾	
			n число.	d диаметр метръ см.	l длина см.	p_0 равномерное на диаметр. площадь катковъ к./см. ² .	на по ф. 22 Г к. см.
Енисей въ Красноярскѣ	144	395	6	17,8	122	30	
Лекъ въ Кюйленбургѣ	150	720	10	20	164	22	
Дунай въ Чернаводѣ (фиг. 87)	140	1000	6	20	142	59	
	90						
Висла въ Диршау (фиг. 157)	129	520	8	30	40	54	
То же, нижній ярусъ катковъ		520	6	30	90	32	
Зюдеръ-Эльбе въ Гамбургѣ	101	500	5	25	100	40	
Зюдеръ-Эльбе въ Гарбургѣ	101	380	6	25	82	31	
Чер. каналъ Эльбе-Траве въ Любекѣ (Mühlenthorbrücke)	42+20	346	6	25	44	52	
Рейнъ въ Вормсѣ ж.-дор.	117	510	7	25	80	37	
То же, нижній ярусъ катковъ		510	7	30	108	23	
Миссисиппи въ Мемфисѣ (фиг. 148)	189	1814	15	38	206	15	
	241						
Опоры съ однимъ каткомъ.							
Берлин. гор. ж. д. у парка Бельвю	16	49	1	14	45	78	
Бевронъ у Celettes	42	70	1	40	81	22	
Изель у Вестерворта	42,2	102,5	1	30	58	59	
Изель у Вестерворта ¹⁰⁾	116,5	335	1	50	130	52	
Зуша въ Шейнѣ	55	78,9	1	40	60	33	

⁹⁾ Быстро охлажденное на воздухѣ.

^{*}) Согласно техническимъ условіямъ на поставку стали, утвержден. Мин. Пут. 5 іюля 1897 г. за № 113.

⁹⁾ Между давленіемъ p на пог. см. катка и напряженіемъ p_0 на см.² диаметральнаго нія катка существуетъ зависимость $p = p_0 \cdot d = p_0 \cdot 2 \cdot r$. Подставляя въ формулу 22 Герца, им

$$c = 0,418 \sqrt{\frac{2p \cdot E}{r}} = 0,418 \sqrt{2p_0 \cdot E}.$$

¹⁰⁾ Такія же опоры съ однимъ каткомъ устроены: 1) въ шоссейномъ мостѣ черезъ mond въ Heusden, Prov. Nord-Brabant (Голландія), съ двумя пролетами по 120 м., 2) въ черезъ каналъ Mermeda (Голландія) (около 1889 года).

каемыхъ напряженій для цилиндр. катковъ, предложен. специалистами мостовъ.

я.	Годъ.	Стальные катки		Чугунные катки		Источники.
		Допускаемое напряжение въ к./см. ²				
		p_0 равно- мѣрное на діам. пл. катка.	σ на смятіе по формуль 22 Герца.	p_0 равно- мѣрное на діам. пл. катка.	σ на смятіе по формуль 22 Герца.	
1875	62 32	6880 4960	50—26	4180—3010	Gitterträger u. Lager. 1875. Pag. 277.	
1869	36 30	5270 4770	24 20	2880—2630	Civilingenieur 1869. Pag. 196.	
1888	28	4650	22	2760	Eiserne Brücken. 1888.	
1899	60	6820	25	2960	Maschinenelemente. 1899. Pag. 479.	
1904	67	7200	20	2630	Elasticit. u. Festigk. 1904. Pag. 281.	
1894	30—12	4800—3000 мягкая сталь.	25 11	2960—1960	Zft. d. Arch. u. Ing. Ver. Hannov. 1894 Pag. 142	
1900	47	6000	—	—	Zft. d. Ver. Deut. Ing. 1900. Pag. 216.	
1896	21	4030	21	2710	Modern Framed Structures. 1896. Pag. 277.	
	35—30	5200—4770 мягкая сталь.	20—30	2650 3240		

18 результатовъ испытанія стальныхъ и чугуновыхъ катковъ.

а л ъ.	Размѣры катка		Напряжения, соответствующія началу остающихся деформаций		Авторъ. Источникъ.
	d діам. см.	l длина см.	p_0 равном. на діам. плоч. катка к./см. ² .	σ на смятіе по форм. 22 Герца к./см. ² .	
сталь. 0,61% марганца; фосфора и крем- =2531 к./см. ² . ызу=4077 к./см. ² . разрывъ=31% E=1919200 к./см. ² .	2,5	2,5	67	6700	Marston. Proceed. Amer. Soc. Civ. Eng. XXXII 1894. Pg. 125. Описание опытовъ на нашей стр. 29.
	5,1	2,5	78	7200	
	7,6	2,5	82	7410	
	10,2	2,5	75	7090	
	15,2	2,5	59	6280	
	20,3	2,5	53	5980	
	25,4	2,5	56	6140	
сталь. 0,51% марганца; 0,089% фосфора; зема. =2180 к./см. ² . ызу=3515 к./см. ² . разрывъ=21% E=2031700 к./см. ² .	2,5	3,8	77	7400	McKim. Proceed. Amer. Soc. Civ. Eng. XXXII. 1894. Pg. 124. Описание опытовъ на нашей стр. 29.
	5,1	3,8	64	6710	
	7,6	3,8	58	6400	
	10,2	3,8	55	6270	
твердости. к. см. ² . на сжатіе =	2,5	3,8	225	13200	Crandall, Wing. Proceed. Amer. Soc. Civ. Eng. XXXII. 1894. Pg. 126. Pl. XIX. См. нашу стр. 30.
	5,1	3,8	134	10190	
	7,6	3,8	130	10060	
	16	20	44	3920	Deslandres. Annales d. ponts et chaus. 1893. Pg. 1174.
	12	20	104	6030	
сти на сжатіе = =7031 к./см. ² . сжатіе E =	2,5	3,8	434	12400	Grandall, Wing. Proceed. Amer. Soc. Civ. Eng. XXXII. 1894. Pg. 126. Pl. XIX.
	5,1	3,8	328	10740	
	7,6	3,8	245	9320	
	10,2	3,8	336	10930	

Въ существующихъ мостахъ, указанныхъ въ таблицѣ 16, напряженіе стальныхъ на смятіе, рассчитанное по формулѣ 22 Герца, колеблется отъ 4080 до 7750, въ среднее к./см.², такъ что нельзя считать преувеличенными тѣ допускаемыя напряженія (4000 до 5000) которыя указаны въ таблицѣ 15.

Результаты опытовъ, произведенныхъ со стальными и чугунными ками и дающихъ возможность опредѣлить ихъ предѣлы упругости, помѣщены въ табл. Всѣ напряженія σ , соответствующія началу остающихся деформаций, значительно больше емыхъ напряженій, предложенныхъ въ таблицѣ 15.

Сюда же можно отнести опыты Crandall'я на качаніе нагруженныхъ катковъ, въ § 18. Изъ приведенной тамъ таблицы усматривается, что стальной катокъ средн достига не смялся даже послѣ 468000 качаній при нагрузкѣ 75 к. на см.² диаметральнаго катка, что соответствуетъ напряженію $\sigma = 7630$ к./см.² на смятіе по формулѣ 22 Герца. сается твердыхъ чугунныхъ катковъ, то они начинали сминаться при давленіи около см.² ихъ диаметральнаго сѣченія, выдерживая до 800000 качаній.

II. Смятіе при плотномъ касаніи. При плотномъ касаніи двухъ кривыхъ верхностей давленіе распредѣляется по нимъ неравномерно. Наибольшее напряженіе испытываютъ элементы въ центрѣ касанія; во избѣжаніе остатковъ деформаций, это наибольшее напряженіе не должно превышать предѣла упругости матеріала на смятіе. Со способомъ расчета наибольшаго напряженія тах. смятіе мы ознакомились въ § 7 для случая плотнаго касанія двухъ полуцилиндровъ и полушарій. Если соприкасаніе поверхностей происходитъ лишь по некоторому сегменту цилиндра или шара, то нетрудно замѣнить формулы 32 и 33 вышними, для чего потребуется проинтегрировать выраженія для A при новыхъ предѣлахъ φ или ϑ и ψ . Рассчитанныя такимъ образомъ напряженія имѣютъ на нашу величину въ вершинѣ цилиндра или шара.

Такъ какъ касаніе обѣихъ поверхностей можетъ быть не совсѣмъ плотное, то допускаемое напряженіе на смятіе слѣдуетъ назначать запасомъ, принимая его не болѣе половины предѣла упругости G , т. е.

Таблица 19 напряженій въ шарнирахъ нѣсколькихъ большихъ мостовъ. Касаніе вездѣ плотное. Матеріалъ сталь.

Форма шарнира.	Названіе моста, рѣчки и мѣста.	Пролетъ фермъ м.	A давленіе опоры тон.	Размѣры цапфы		Напряженія въ к. см.	
				d діам. см.	l длина см.	p_0 равномерн. на діам. сѣчен. цапфы.	max σ въ вершинѣ цапфы по формулѣ 32
Цилиндрическая цапфа.	Енисей въ Красноярскѣ .	144	395	17,8	122	183	
	Лекъ въ Кюйленбургѣ. .	150	720	20	164	220	
	Дунай въ Чернаводѣ (фиг. 87)	140	1000	25	142	282	
		90					
Шаровыя головки балансира.	Висла въ Диршау (фиг. 157)	129	520	12	101	428	668
	Зюдеръ-Эльбе въ Гамбургѣ (фиг. 106)	101	500	15	74	450	702
Шаровая цапфа.	Рейнъ въ Вормсѣ ж. дор. по типу фиг. 77	117	510	34	20	562	944
	Эльбе въ Дрезденѣ (фиг. 100) арочный	52,9	530	50	$\frac{180}{160}^2$	1718	

1) Для цилиндрическихъ цапфъ max $\sigma = 1,56 p_0$.

2) Вслѣдствіе разности въ 20 см. между радиусами кривизны шаровыхъ поверхностей касаніе не совсѣмъ плотное, и p_0 равно 1718 к./см.² при условіи распредѣленія давленія A весь сегментъ, а на круглую площадку, діам. около 20 см.

для мягкаго и твердаго чугуна, 1500 и 1900 к./см.²—для мягкаго и твердаго литья и 1800 к./см.²—для кованной стали.

Для цилиндрическихъ цапфы шарнировъ у насъ принято рассчитывать не по напряженію въ центрѣ касанія, а по равномерному напряженію, которое получается при раздѣленіи опорнаго давления A на діаметральное сѣченіе l и принимается не болѣе 250 до 350 к./см.² для стали и 165 к./см.² для чугуна. Отъ этого равномернаго напряженія $\frac{A}{2r.l}$ нетрудно перейти

къ напряженію σ въ вершинѣ цилиндра, если воспользоваться формулой Пуассона. По той-же формулѣ можно рассчитать допускаемое напряженіе R_δ для цилиндра, если извѣстно равномерное допускаемое напряженіе R_0 ; получается $R_\delta = 1,56.R_0$ отъ 390 до 550 к./см.², а для чугуна — $R_\delta = 1,56.R_0$ отъ 260 до 390 к./см.². Эти напряженія слѣдуетъ признавать очень низкими сравнительно, которыя рекомендованы выше и назначены съ достаточнымъ запасомъ, такъ какъ не превышаютъ половины предѣла упругости G .

При расчетѣ цапфы приходится рассчитывать опорныя части на изгибъ, перерѣзъ. Всѣ нужныя для этой цѣли допускаемыя напряженія приведены въ таблицѣ 20.

Таблица 20 допускаемыхъ напряженій для чугуна и стали.

Э Р І А Л Ъ.	На смятіе			На раздробленіе. Непосред. сжатіе.	На изгибъ для волоконъ		На перерѣзваніе.	На растяженіе.
	при свободномъ касаніи		при плотномъ касаніи.		растянутыхъ.	сжатыхъ.		
	цилиндрич. дровъ.	шаровъ.						
мягкое $G = 2000$.	2600	3800	1000	500	250	500	200	150
твердое $G = 2600$.	3400	5000	1300	до 750	до 350	до 750	до 400	до 250
мягкое $G = 3000$.	4000	5800	1500	до 1000	до 1000	до 1000	до 750	до 1000
твердое $G = 3800$.	5000	7300	1900	до 1500	до 1500	до 1500	до 1000	до 1500
.....	4900	7100	1800	до 1400	до 1400	до 1400	до 1000	до 1200

§ 9. Подферменные камни и ихъ расчетъ.

При устройствѣ моста на каменныхъ опорахъ, было бы нераціонально опираться оппорныя части непосредственно на каменную кладку, которая выдерживаетъ сравнительно небольшое давленіе на единицу площади, такъ какъ основаніе оппорныхъ частей получилось бы слишкомъ большимъ. Между оппорными частями прокладываютъ между ними и каменныя подферменные камни изъ гранита или другой твердой породы, которые выдерживаютъ гораздо болѣе напряженіе, чѣмъ каменная кладка. Въ постройкахъ также примѣняютъ бетонныя подферменники съ желѣзною арматурой.

Расчетъ подферменника производится по допускаемому напряженію каменной кладки; что же касается допускаемаго напряженія самаго подферменника, то имъ пользуются для опредѣленія размѣровъ нижней части.

Обозначимъ черезъ:

- a въ см.—длину подферменника вдоль моста,
 e въ см.—ширину „ поперекъ моста,
 A въ кил.— наибольшее давленіе на одну опорѣ отъ совмѣстнаго дѣйствія постоянной и
 ной нагрузки,
 σ въ к./см.²—допускаемое напряженіе каменной кладки на раздробленіе.

Приравнивая опорное давленіе A сопротивленію подферменнаго ка-
 сжатіе, получаемъ $A = a.e.\sigma$. Задавшись однимъ изъ размѣровъ a или e ,
 расчитать другой размѣръ. Если подферменникъ имѣетъ квадратное осн-

то длина его стороны $a = \sqrt[2]{\frac{A}{\sigma}}$

Допускаемая напряженія на раздробленіе:

- 1) для подферменниковъ (цѣльныхъ) изъ гранита—20 до 40 к.
 изъ песчаника—20 к./см.²; изъ другого камня не болѣе $\frac{1}{30}$ временнаго
 тивленія на раздробленіе пробныхъ кубиковъ;
- 2) для кирпичной кладки на цементномъ растворѣ—8 до 10 к./см.²;
- 3) для бутовой кладки изъ крупныхъ камней на цемент. растворѣ—10 к
- 4) для тесовой на цементномъ растворѣ кладки изъ грубо окол
 гранита—25 до 30 к. см.², песчаника или известняка—15 до 20 к./см.².

Чѣмъ больше пролетъ моста, тѣмъ выше можно принять допускаемс
 пряженіе, такъ какъ съ увеличеніемъ пролета уменьшаются удары, передак
 опорамъ при проходѣ поѣздовъ



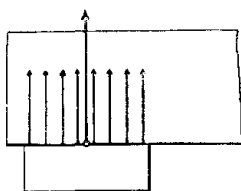
Глава II.

§ 10. Плоскія подушки.

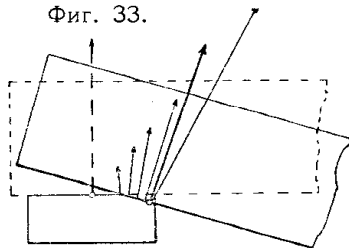
Плоскія подушки представляютъ самый несовершенный типъ опорныхъ ча
 Теперь онѣ примѣняются только для малыхъ мостовъ и все больше вытѣсня
 выпуклыми подушками.

Недостатки плоскихъ подушекъ. 1) Давленіе фермы никогда не передае
 равномѣрно на плоскую подушку, такъ какъ подъ дѣйствіемъ нагрузки ѣ
 не можетъ оставаться въ горизонтальномъ положеніи согласно фиг. 32, а
 зательно прогибается и при этомъ опирается на ребро подушки со стороны
 лета (фиг. 33) вдавливаясь въ него или сминаетъ его, такъ что сжимающіе

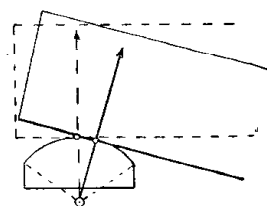
Фиг. 32.



Фиг. 33.

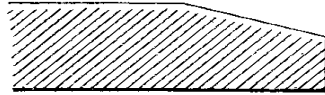


Фиг. 34.

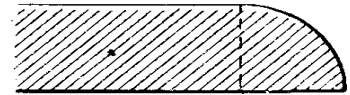


ряженія передаются только узкой полосѣ подушки, достигая наибольшей вел
 въ ребрѣ подушки, а затѣмъ быстро понижаясь до нуля. Итакъ при пр
 фермы точка приложенія опорнаго давленія передвигается изъ середины по
 на ея внутреннее ребро, т.-е. на весьма значительную величины, приче
 шается центральность передачи силъ и вызываются дополнительныя напря

акъ и въ опорахъ. При устройствѣ верхней поверхности подушки дается гораздо меньшее перемѣщеніе точки приложенія опорнаго какъ уголъ отклоненія реакціи обыкновенно не превышаетъ 1° касается способа распредѣленія сжимающихъ напряженій вокругъ фермы съ выпуклою поверхнью Герца), то оно оставимъ, какъ до, такъ фермы. Нѣкоторое подушекъ достигнемъ внутренняго ребра подушки (фиг. В); больше пользы приноситъ (фиг. А).



Фиг. А.

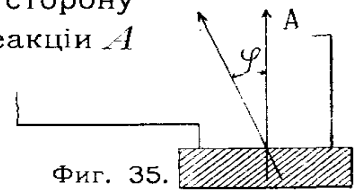


Фиг. В.

Основной недостатокъ плоскихъ подушекъ, въ случаѣ примѣненія подвижныхъ опоръ, заключается въ значительномъ треніи, при скольженіи по нимъ фермы и возрастающемъ при засореніи и ржавленіи на нихъ ржавчины. Доходитъ до того, что опоры утрачиваютъ подвижность, такъ что наблюдались случаи сдвига подферменныхъ слоевъ каменной кладки быковъ и устоевъ, а также изгиба фермъ. Поэтому заслуживаютъ предпочтенія выпуклыя подушки, которыя даютъ меньшаго сопротивленія въ первый періодъ ихъ установки, меньше страдаютъ отъ засоренія и ржавчины, сохраняя незначительное треніе.

Трение подушекъ. Сопротивленіе W подушекъ, вызванное трениемъ пропорціонально опорному давленію A и направлено по прямой горизонтальной линіи, соединяющей подвижную опору съ неподвижной. Оно можетъ быть направлено въ ту или другую сторону и влечетъ за собою отклоненіе опорной реакціи A отъ ея вертикальнаго положенія на уголъ φ ,

$$\text{словія: } \operatorname{tg} \varphi = \frac{W}{A} .$$



Фиг. 35.

Если f_1 —коэффициентъ тренія I рода, черезъ опорное давленіе, получимъ горизонтальное сопротивленіе

Въ f_1 тренія I рода имѣетъ разныя значенія, зависящія отъ гладкости трущихся поверхностей, причемъ f_1 уменьшается отъ твердости и гладкости тѣлъ, 2) отъ величины трущихся поверхностей f_1 увеличивается при уменьшеніи площади соприкасанія и уменьшенія трущихся тѣлъ, причемъ f_1 уменьшается по мѣрѣ увеличенія коэффициента тренія въ моментъ начала движенія значительно наступившемъ движеніи, такъ что слѣдуетъ различать два коэффициента тренія въ моментъ начала движенія и другой—во время движенія. Для мостовъ имѣетъ значеніе только коэффициентъ тренія въ на-

трущихся поверхностяхъ имѣетъ громадное вліяніе на коэффициентъ тренія. Испытанія Perrissée показали для чугуна по чугуну: $f_1 = 0,18$ при гладкихъ поверхностяхъ, $f_1 = 0,36$ до $0,50$ при поверхностяхъ, заржавленныхъ мелкимъ пескомъ.

Для мостовъ, особенно тѣхъ, которыя расположены на устояхъ под-

Таблица 21. Коэффициенты трения I рода.

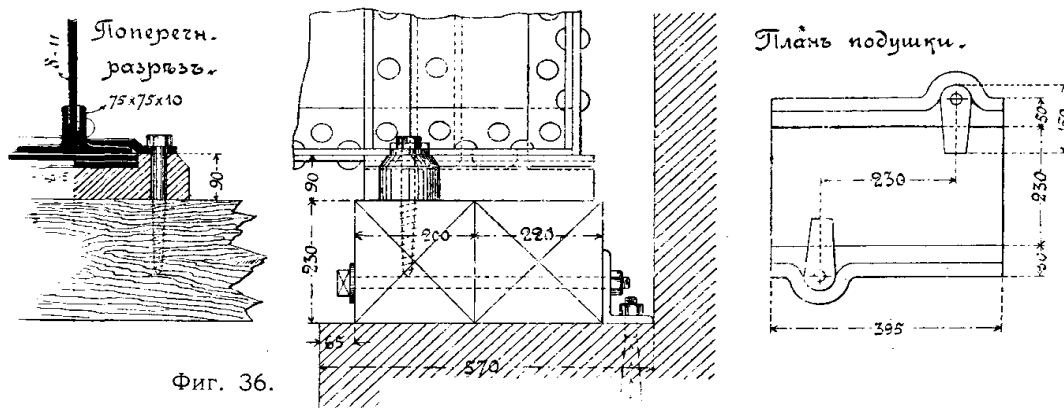
Название трущихся тѣлъ.	Коэффициентъ трения I рода		Состояніе трущихся поверхностей.
	въ началѣ	во время	
	д в и ж е н і я .		
Желѣзо по желѣзу	—	0,14—0,41	Сухія.
" " чугуна	0,19	0,17—0,43	Сухія.
" " дубу вдоль волоконъ .	0,62	—	Сухія.
" " " " " "	0,65	0,26	Смоченныя водою.
Чугунъ по чугуна	0,16—0,18	0,15	Чисто строганныя, сух
" " " " " "	0,36—0,50	—	Заржавленные или засо
" " стали	—	0,17 0,40	Сухія.
" " дубу вдоль волоконъ .	—	0,49	Сухія.
" " " " " "	0,65	0,22	Смоченныя водою.
" " камню	0,49	—	Сухія.
" " " " " "	—	0,30	Смоченныя водою.
Дубъ по дубу вдоль волоконъ . .	0,62	0,48	Сухія.
" " " " " "	0,44	0,16	Натертыя сухимъ мыл
" " " поперекъ волоконъ .	0,54	0,34	Сухія.
" " " " " "	0,71	0,25	Смоченныя водою.
" " камню	0,63	0,38	Сухія.
Гранитъ по граниту	0,66	—	Получисто тесанныя.
" " " " " "	0,49	—	Покрытыя свѣж. раст
Песчаникъ по песчанику	0,71	—	Гладкія и сухія.
" " " " " "	0,66	—	Покрытыя свѣж. раст
Известнякъ по известняку	0,58	—	Полированные.
" " " " " "	0,78	—	Грубо отесанныя.
Кирпичъ по камню	0,67	0,60	Сухія.
Камень по глинистому грунту сырому	0,51	—	
Камень по глинистому грунту сырому	0,34	—	

вержены засоренію пескомъ, вслѣдствіе чего рекомендуется принимать коэффициентъ трения плоскихъ подушекъ $f_1=0,3$. Обозначая через A верное давленіе опоры, получимъ горизонтальное сопротивленіе подвижной $W=0,3.A$. Оно возрастаетъ вмѣстѣ съ пролетомъ и въ большихъ мостахъ велико, какъ усматривается изъ слѣдующихъ данныхъ, относящихся къ онымъ желѣзнодорожнымъ мостамъ съ ѣздою по низу, проектированнымъ слѣднимъ нормамъ М. П. С.

Пролетъ	$l =$	5	10	20	30	50	80	100
Давленіе опоры . $A =$	25	42	76	108	165	265	340	
Сопротивленіе . $W =$	7	13	23	33	50	79	102	

Уже для среднихъ пролетовъ, не говоря о большихъ, сопротивленіе W велико, что необходимо принять мѣры къ его уменьшенію. Для этой цѣли всего примѣняютъ катки, при которыхъ значительно понижается коэфф трения. Какъ наивысшій предѣлъ примѣненія скользящихъ подвижныхъ наше М. П. С. предписываетъ для желѣзнодорожныхъ мостовъ пролетъ въ для большихъ пролетовъ обязательно устройство катковъ. Правильнѣе б обусловливать этотъ предѣлъ тѣмъ опорнымъ давленіемъ, которое выз одною постоянною нагрузкою, считая его въ 10 до 12 тон. Недостатк скихъ подушекъ настолько велики, что такія опоры не слѣдовало бы вовсе нять, пользуясь исключительно выпуклыми подушками. На прусскихъ ка жел. дорогахъ обязательно примѣненіе выпуклыхъ подушекъ предписано ромъ Мин. Пуб. Раб. отъ 1 мая 1903 г.

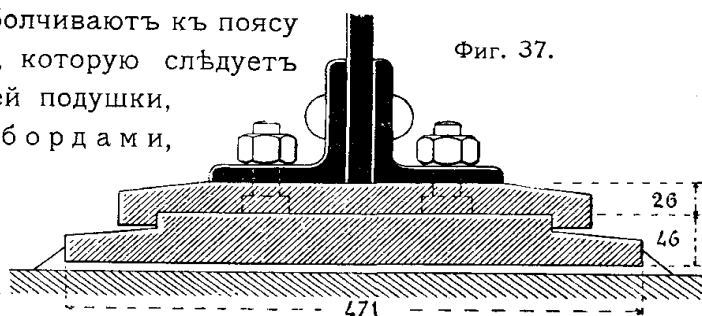
ція плоских подушекъ. Плоскія подушки обыкновенно отливаются изъ чугуна и опираются на нихъ или непосредственно, или помощью такъ называемаго листа, толщиною отъ 10 до 15 мм., прикрѣпленнаго къ подушкѣ помощью заклепокъ съ нижними потайными головками. Во избѣжаніе



Фиг. 36.

вѣта фермы, подушка обыкновенно снабжается продольными ребрами шириною отъ 20 до 50 мм. и толщиною отъ 8 до 12 мм. Между ребро-опорнаго листа желательнаго оставлять зазоръ въ 2 до 3 мм. на случай расширенія пролетнаго строенія. Въмѣсто опорнаго листа иногда, особливо на опорахъ, приболчиваютъ къ поясу

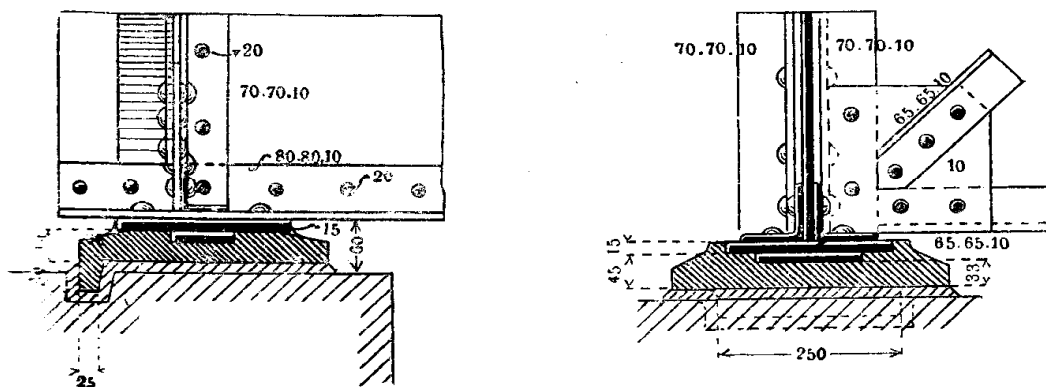
чугунную подушку, которую слѣдуетъ сделать на 70 мм. шире нижней подушки, снабженную продольными ребрами шириною отъ 20 до 30 мм., для предупрежденія сдвига. Такую подушку делаютъ такой толщиною, которой вода и паръ не могутъ проникать на поверхность подушекъ,



Фиг. 37.

вмѣсто обыкновенному способу устройства ребордъ въ нижней

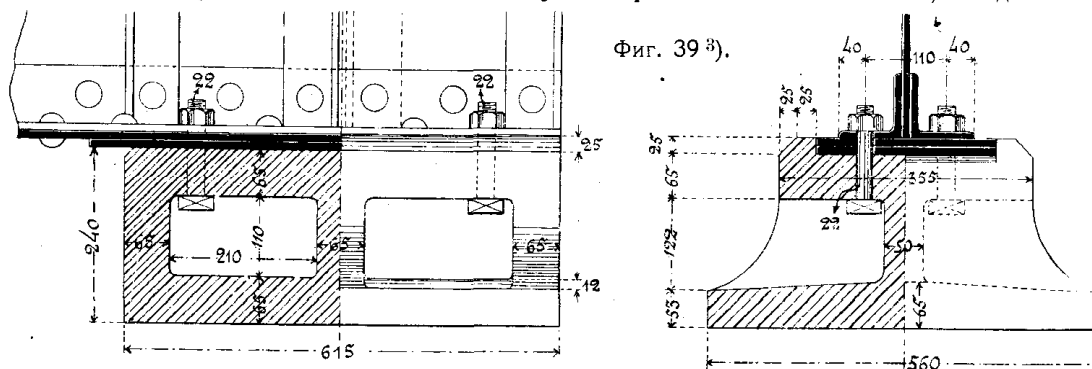
поперечнаго расширенія пролетнаго строенія отъ теплоты (см. § 4), оставлять между ребордами и верхнею подушкою зазоры въ 2 до 10 мм. Поверхности подушекъ обыкновенно строгаются. При отсутствіи



наго листа или верхней подушки съ нижнею подушкою, опора должна быть жесткою, ибо возможно скольженіе фермы по нижней подушкѣ. Для жесткой нижней опоры необходимо прикрѣплять ферму къ подушкѣ. Для

этой цѣли можно рекомендовать слѣдующія мѣры: 1) шурупы, завинчиваемые поясъ и опорный листъ въ нижнюю подушку; 2) боковыя реборды нижней по снабжаются прямоугольными шпонками, которыя входят въ соотвѣственные въ опорнаго листа (фиг. 37); 3) къ опорному листу подклепывается снизу небол. прямоугольный листъ, толщиной 10—12 мм., который втапливается въ нижнюю подушку (фиг. 38). Небольшая поперечная подвижность опоры, на случай измѣ температуры воздуха, достигается зазорами въ 1 до 3 мм., оставляемыми фермы между втопленнымъ листомъ и краями его гнѣзда. Прикрѣпленіе втопаго листа производится помощью потайныхъ заклепокъ, рассчитанныхъ на зонтальное сопротивление подвижной опоры $W = f_1 \cdot A$.

Двухъярусныя подушки или стулья примѣняются въ тѣхъ чаяхъ, когда высота плоской опоры больше 200 мм., напримѣръ, при жел. придать плоской неподвижной опорѣ одинаковую высоту съ подвижной оп на каткахъ. Стулъ состоитъ изъ двухъ горизонтальныхъ плитъ, соединен



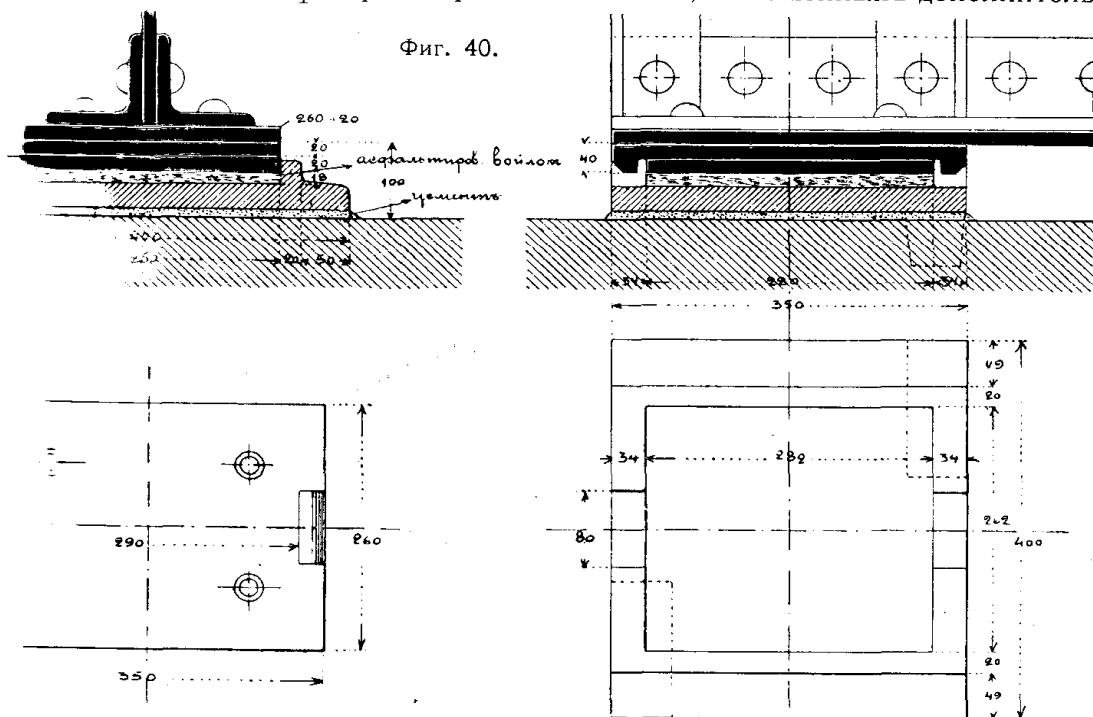
между собою продольными и поперечными ребрами. Подушка, представленная фиг. 39 3), имѣетъ одно продольное и три поперечныхъ ребра. Вопросъ объ укладк подушекъ на подферменныхъ камняхъ рассмотрѣнъ на стр. 50.

Подушки съ упругими прокладками примѣняются въ небольшихъ желѣзнодорожныхъ мостахъ, которые подвержены значительнымъ сотрясеніямъ при проходѣ поѣздовъ. Упругія прокладки смягчаютъ удары, которые дѣйствуютъ разрушающимъ образомъ на каменную кладку и расшатываютъ опорныя подушки. Наилучшимъ матеріаломъ для упругихъ прокладокъ считается асфальтированный войлокъ, прессованный подъ большимъ давленіемъ. Въ фиг. 40 представленъ типъ упругихъ подвижныхъ опоръ, примѣненныхъ въ большомъ количествѣ при постройкѣ желѣзнодорожнаго узла въ Дрезденѣ. Согласно фиг. 40 чугунная нижняя подушка снабжена со всѣхъ сторонъ закрайнами; въ образованную ими прямоугольную выемку, глубиною 28 мм., вложена плитка изъ асфальтированного войлока, шириною 18 мм., и сверху нея желѣзный листъ $282 \times 262 \times 20$ мм., плотно пригнанный къ закрайнамъ подушки и выступающій надъ ними на 10 мм. По этому листу скользитъ опорный листъ $350 \times 260 \times 20$ мм., прикрѣпленный къ поясу помощью 4 заклепокъ съ потайными нижними головками. Во избѣжаніе поперечнаго сдвѣга фермы, опорный листъ снабженъ двумя выступами, для которыхъ имѣются вырѣзки въ поперечныхъ закрайнахъ нижней подушки.

Основные размѣры плоскихъ подушекъ. Подушки устраиваются обыкновенно съ прямоугольнымъ основаніемъ. Ширина b подушки принимается

3) Болты для прикрѣпленія фермы къ стулу показаны въ фиг. 39 не вѣрно; ихъ слѣдуетъ перевернуть головкою вверхъ, такъ какъ нельзя вставить болты снизу.

ше ширины b_1 пояса, а именно около $1,5 \cdot b_1$ при узкихъ горизонтахъ, и $1,25 \cdot b_1$ при широкихъ листахъ, снабженныхъ дополнитель-



заклепокъ на свѣсахъ за уголками.

ренте подушки нераціонально, такъ какъ влечетъ за собою чрез-
 ененіе. Зная давленіе A опоры и задавшись шириною b подушки, раз-
 длину a изъ условія прочности того матеріала, на которомъ уложена
 ему соотвѣтствуетъ допускаемое напряженіе R на сжатіе (см. § 9).

$$A = b \cdot a \cdot R, \text{ откуда } a = \frac{A}{b \cdot R}.$$

подушки дѣлается не менѣе 40 мм. По Винклеру, можно
 $\pm 0,9 \cdot l$ въ мм., гдѣ l — пролетъ фермы въ метрахъ.
 подушки на переломѣ по способу, изложенному въ слѣдующемъ
 ся лишь въ томъ случаѣ, если ширина подушки больше полутор-
 за. Реборды, расположенныя по краямъ подушки вдоль фермы,
 ють отъ 20 до 50 мм., и высотой отъ 8 до 15 мм.



Глава III.

Балансиры и шарниры.

должны устраиваться шарнирными для того, чтобы при прогибѣ
 могли свободно вращаться. Шарнирныя опорныя части имѣютъ
 имущества: 1) центральность передачи давленія на составныя
 фиксируется точка приложенія опорной реакціи, и не мѣняется
 при прогибахъ фермъ. Шарнирность опорныхъ частей, или спо-
 балансира вращается относительно нижняго, достигается двумя
 кругленіемъ головки балансировъ въ мѣстахъ ихъ вза-
 и 2) помѣщеніемъ шарнирной цапфы между баланси-

рами. Соответственно этому будем различать два типа балансиров: 1) сиры безъ отдѣльнаго шарнира и 2) балансиры съ цапфами.

А. Балансиры безъ отдѣльнаго шарнира.

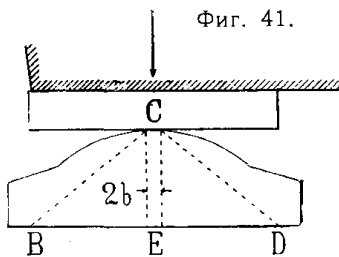
Взаимное соприкосаніе балансировъ можетъ быть плотное, если оно исходитъ по поверхности, или свободное, если оно происходитъ по линіи и одной точкѣ. Соприкасающіяся головки балансировъ бываютъ: 1) обѣ цилиндрическія съ одинаковымъ или разными радіусами кривизны (плотное и свободное касаніе), 2) обѣ шаровыя съ одинаковымъ или разными радіусами кривизны (плотное и свободное касаніе) и 3) одна головка плоская, а другая выпуклая, цилиндрическая или шаровая (свободное касаніе). Во всѣхъ трехъ случаяхъ одна изъ соприкасающихся поверхностей должна быть выпуклая, а другая—вогнутая или плоская. Во избѣжаніе накопленія воды и сора въ шарнирѣ слѣдуетъ снабжать выпуклостью нижній балансиръ.

При разсмотрѣніи балансировъ безъ отдѣльнаго шарнира будемъ придаваться слѣдующей классификаціи: 1) выпуклыя подушки, 2) балансиры съ шарниромъ и 3) балансиры съ шаровой головкой.

§ 11. Выпуклыя подушки (цилиндрическія).

Выпуклыя подушки представляютъ простѣйшій типъ шарнирнаго балансира. Свободное касаніе опорнаго листа фермы съ подушкой происходитъ теоретически по производящей цилиндра, которая перемѣщается при прогибѣ фермы, такъ происходитъ качаніе фермы по подушкѣ. Центръ давленія на подушку лишь немного отодвигается отъ вертикальной оси (фиг. 34), а опорная реакція направлена нормально къ цилиндрической выпуклости, проходя черезъ ея центръ.

Распределеніе напряженій въ подушкѣ. Касаніе между опорнымъ листомъ и выпуклою подушкой происходитъ въ дѣйствительности по ширинѣ весьма незначительной ширины $2b$ (формула 21 Герца), и назначеніе подушки заключается отчасти въ томъ, чтобы распределить на большую ширину ея основанія то давленіе, которое передается ей ширинѣ C (фиг. 41). Подушка находится въ условіяхъ сжатого тѣла переменнаго сѣченія, ширина котораго возрастаетъ отъ $2b$ въ вершинѣ до ширины BD на основаніи. Вертикальный элементъ CE подушки сжимается по высотѣ неравномерно и его напряженіе постепенно убываетъ къ низу. Въ вершинѣ подушка работаетъ на смятіе и можетъ выдержать большое давленіе въ виду того, что непосредственно сжимаемая часть подушки какъ заключена въ прочную и мало напряженную оболочку, препятствующую боковому выпучиванію матеріала и тѣмъ значительно повышающую его сопротивленіе (см. § 8). Средняя часть подушки находится въ условіяхъ сжатого тѣла боковой поверхности котораго приложены сжимающія силы, препятствующія поперечному расширенію.

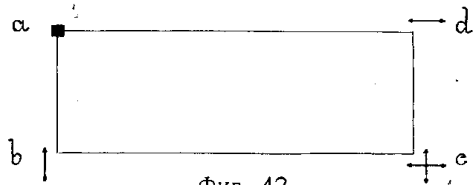


Трение. При скольженіи свободнаго конца фермы по выпуклой подушкѣ вызывается трение I рода, оказывающее горизонтальное сопротивленіе $W = f$. За неимѣніемъ опытныхъ данныхъ о коэффициентѣ f_1 трениа при скольженіи по поверхности по выпуклой, можно руководствоваться коэффициентомъ трениа.

для расчета силы сцепленія ведущихъ колесъ паровоза съ рельсами въ f_1 тренія между бандажемъ и рельсомъ зависитъ отъ состоянія рельса: при вполнѣ чистой и сухой поверхности $f_1=0,2$; при сырыхъ время дождя и тумана, $f_1 = 0,08$; при гололедицѣ $f_1 = 0,05$. Такъ я подушки имѣютъ менѣе гладкія поверхности, чѣмъ бандажи и рельсы, и для выпуклыхъ подушекъ коэффициентъ тренія $f_1 = 0,3$, т.-е. не для плоскихъ подушекъ.

Форма выпуклыхъ подушекъ. Смотря по величинѣ опорнаго давленія, подушки отливаются изъ чугуна или стали. Ферма опирается на подушку слѣзнаго опорнаго листа или же верхней подушки изъ чугуна или стальной листъ изъ полосового желѣза, толщиной 12—20 мм., прикрѣп-

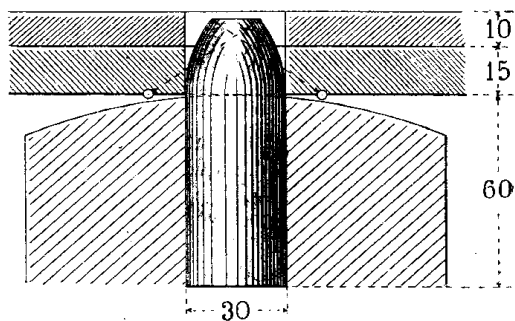
фермы помощью заклепокъ съ нижними потайными головками. Ферма прикрѣпляется къ фермѣ помощью болтовъ, располагая гайки закрѣпленія фермы на подушкахъ слѣдуетъ имѣть въ виду возможность продольнаго, такъ и поперечнаго расширенія отъ теплоты. При двухъ фермахъ, одна опора *a* должна быть неподвижною, а остальные три опоры подвижными, указанными стрѣлками *b* и *c*.



Фиг. 42.

Ферма снабжается продольными ребордами или шипами. Продольныя реборды, шириною отъ 20 до 50 мм., выступаютъ надъ подушкой на 8 до 12 мм. (фиг. 45). На случай поперечнаго расширенія строенія, между опорнымъ листомъ и ребордами оставляютъ зазоры по 2 мм. На неподвижныхъ (вдоль фермы) опорахъ продольныя реборды поддерживаются прямоугольными шпонками *t* (фиг. 45), для которыхъ вырѣзываются пазы по краямъ опорнаго листа.

Шпонки представляютъ стальные цилиндрическіе стержни, діаметромъ отъ 10 до 15 мм., которые въ количествѣ двухъ или трехъ штукъ задѣлываются въ подушки и пропускаются черезъ опорный листъ, а иногда также черезъ уголки (фиг. 43). Эти отверстия въ неподвижныхъ опорахъ и в подвижныхъ опорахъ съ поперечною подвижною подушкой. Небольшое неудобство заключается въ томъ, что при вращеніи фермы нельзя убѣдиться въ томъ, действительно поставлены ли шпонки на мѣсто.



Фиг. 43.

Подушки на деревянныхъ мауэрлатахъ. По правиламъ нашего Мин. путей сообщенія, для мостовъ, отверстіемъ до 3 саж. включительно, слѣдуетъ класть подушки на деревянныхъ мауэрлагахъ, а при большихъ отверстияхъ на каменныхъ. Мауэрлаты обыкновенно состоятъ изъ двухъ брусьевъ прямоугольнаго сѣченія (см. фиг. 36), уложенныхъ на опоры поперекъ моста и прикрѣпленныхъ помощью двухъ горизонтальныхъ стальныхъ уголковъ. Уголки закрѣплены на опорной площадкѣ устоя каж-

дый помощью двухъ заершенныхъ болтовъ. Польза упругихъ мауерлатовъ зачается въ смягченіи ударовъ, передающихся кладкѣ устоевъ при переходѣ ко поѣзда съ устоевъ на пролетное строеніе и наоборотъ. Хотя мауерлаты не нѣнно смягчаютъ удары, но съ другой стороны они являются причиною но ударовъ вслѣдствіе того, что, сжимаясь отъ дѣйствія нагрузки, они вызываютъ временную осадку пути на опорахъ, т.-е. происходитъ то же явленіе, кот наблюдается при устройствѣ рельсовыхъ стыковъ не на вѣсу, а на шпаль. виду указаннаго недостатка деревянныхъ мауерлатовъ, они рѣдко примѣня за границу; въ случаѣ необходимости, ихъ замѣняютъ упругими проклад незначительной толщины изъ асфальтированнаго войлока (фиг. 40), изъ ре и проч.

Укладка подушекъ на подферменныхъ камняхъ. Подушка давить равномерн камень только въ томъ случаѣ, если вся ея подошва плотно соприкасаетс камнемъ. Это достигается однимъ изъ слѣдующихъ способовъ.

1) Притирка подушки съ камнемъ (фиг. 78): этотъ способъ рѣдко няется по своей дороговизнѣ и потому, что при установкѣ фермъ нельзя ни стить, ни поднять подушку.

2) Прокладка слоя свинца или другого мягкаго матеріала, как асфальтированнаго войлока, просмоленнаго простого войлока, резины и проч. всего между подушкой и камнемъ прокладываютъ свинцовый листъ, толщину 5 до 7 мм., рассчитывая на то, что подъ давленіемъ подушки свинецъ разда и заполнить пустоты между подушкой и камнемъ. Простымъ опытомъ однако убѣдиться, что при давленіяхъ въ 18 до 36 к см.², обыкновенно допу емыхъ между подушкой и камнемъ, свинецъ еще не раздавливается. Бахъ ⁴⁾ слѣдующіе результаты опытовъ на раздавливаніе образцовъ изъ литого св при температурѣ 20° Ц.

Матеріаль.	Форма образцовъ.	Диаметръ мм.	Высота мм.	Напряженіе въ к. см. которомъ матеріа	
				еще не раз- давливался.	разда вал
Литой свинецъ	Цилиндръ	35	70	46	
	Цилиндръ	35	35	59	
	Цилиндрическая плитка	35	10	105	
	Цилиндрическая плитка	160	15	100	
Твердый свинецъ.	Кубикъ	80	80	50	
	Кубикъ	80	80	250	

Для мягкаго прокатнаго свинца получились почти тѣ же результаты. для литого свинца. Интересующіе насъ образцы, въ видѣ плитокъ, толщину и 15 мм., имѣютъ временное сопротивленіе 126 и 152 к см.², т.-е. въ нѣск разъ больше давленія, допускаемаго между подушкой и камнемъ. Слѣдовате при укладкѣ опорной подушки на свинцовомъ листѣ ни въ коемъ случаѣ не рассчитывать на раздавливаніе свинца; поэтому нельзя рекомендовать этого соба и слѣдуетъ отдать предпочтеніе цементному слою.

3) Слой цементнаго раствора, толщиной въ 1 до 1,5 см., наиболѣе годенъ для плотной укладки подушки на камнѣ. Растворъ готовится изъ 1 портландскаго цемента на 1 часть просѣяннаго мелкаго песку и долженъ

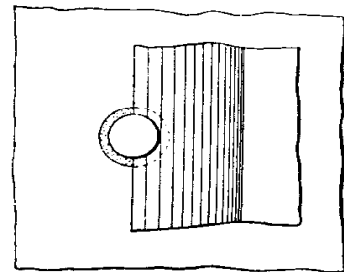
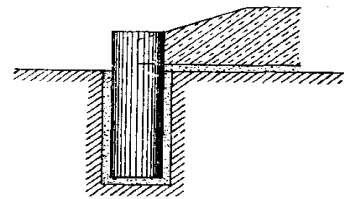
⁴⁾ Zft. d. V. D. Ing. 1885. Pg. 629.

пустоты. Иногда растворъ имѣеть пропорцію 1:2. При подливкѣ по-
мощь растворомъ или при укладкѣ подушки на ранѣе залитый слой
образуются пустоты подъ подушкой. Во избѣжаніе этого посту-
Установивъ ферму на проектной высотѣ (помощью домкратовъ), кла-
непосредственно на камень; загоняя подъ подушку дубовые или же-
лѣзные клинья, поднимають подушку и подводятъ ее точно подъ ферму. За-
подушкой и камнемъ заполняютъ цементомъ двумя способами, въ за-
отъ размѣровъ подушки. Если подушка не велика, обмазываютъ ее
и устанавливаютъ двѣ желѣзные трубки; въ одну трубку накачи-
давленіемъ жидкій цементный растворъ, а другая трубка слу-
жаленія воздуха, послѣ чего въ ней поднимается жидкій растворъ со-
давленію въ насосѣ. При большихъ размѣрахъ подушки заливка жид-
плохо удается; поэтому, заготовивъ густой цементный растворъ,
подъ подушку, уплотняя его ударами желѣзныхъ брусковъ, пропу-
подушку. Ферму выдерживаютъ на домкратахъ до полного затвер-

подушки на камнѣ. Трение между подушкой и подферменнымъ
больше трения при скольженіи опорнаго листа подвижной опоры
подушкѣ, а тѣмъ болѣе въ случаѣ устройства подвижной опоры на
му можно было бы обойтись безъ особаго прикрѣпленія подушекъ
камнѣ, если бы не было сотрясеній при проходѣ поѣздовъ. Въ ма-
эти сотрясенія особенно чувствительны и слѣдуетъ озаботиться
влеченіемъ подушекъ, какъ отъ поперечнаго, такъ и отъ продоль-
имѣнная одинъ изъ слѣдующихъ способовъ.

енные болты, которые нижнимъ концомъ втапливаются въ ка-
концомъ пропускаются черезъ отверстіе въ подушкѣ и снабжаются
. На каждую небольшую подушку достаточно употреблять два болта.
говъ заключаются въ томъ, что они слабо
поперечному и продольному сдвигу подушки,
женіе ослабѣваетъ со временемъ, особенно
въ подушки. Кромѣ того, иногда поврежда-
ники при вырубкѣ въ нихъ глубокихъ
товъ.

ые штыри круглаго сѣченія, діаме-
до 70 мм., которые заливаются въ ка-
до $4d$ и располагаются по окружности
круглыхъ отверстіяхъ, сдѣланныхъ въ ея
Обыкновенно ставятъ два штыря, рас-
си подушки поперекъ фермы (фиг.
точно закрѣпляютъ подушку отъ попе-
аго сдвига, не ослабляютъ рабочей пло-
ны тѣмъ, что заливаются послѣ окончательной установки подушки.



Фиг. 44.

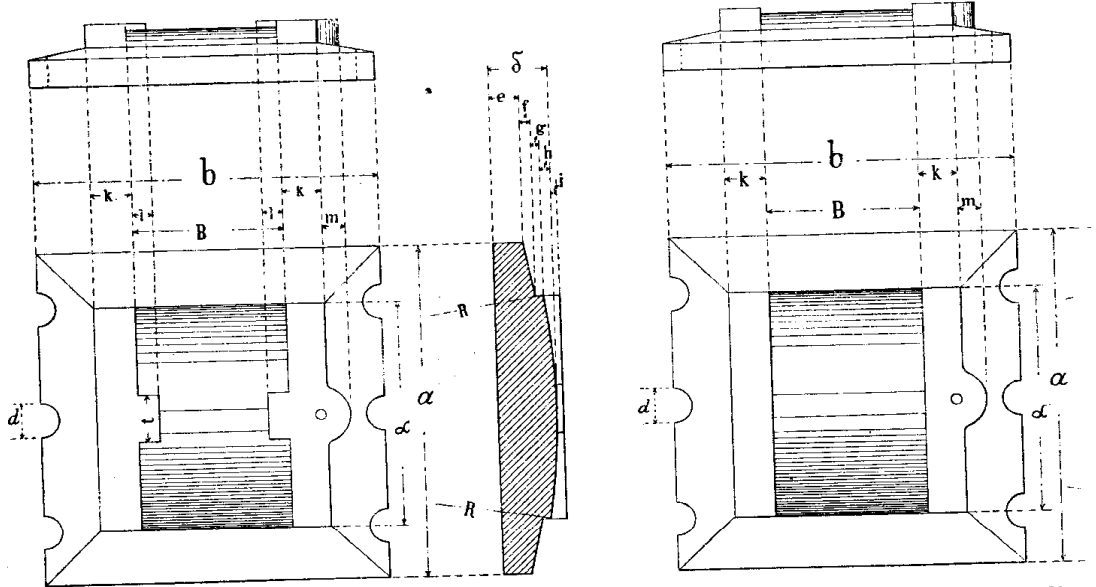
примѣненія желѣзныхъ клиньевъ необходимо удалять ихъ изъ-подъ подушекъ
раствора. Въ противномъ случаѣ подушка можетъ сломаться, въ виду того,
не будетъ передаваться клиньямъ, такъ какъ коэффициентъ упругости желѣза
клинью цементнаго раствора. Что же касается деревянныхъ клиньевъ, то они
въ растворѣ, но лучше этого не дѣлать.

3) Сплошная врубка подушки въ камень на глубину око. верти толщины подушки. Хотя этимъ способомъ достигается солидное закрѣ

Неподвижная опора.

Фиг. 45.

Подвижная опора.



Размѣры въ миллиметрахъ.		№ по- душки.	I	II	III	IV
Пролетъ фермы въ мет.			1 до 3	4 до 6	7 до 10	11 до 1
Основаніе подушки {	ширина	<i>b</i>	$b_0 + 100$	$b_0 + 100$	$b_0 + 150$	$b_0 + 21$
	длина	<i>a</i>	240	300	360	420
Цилиндрическая выпуклость {	ширина	<i>B</i>	$b_0 + 10$	$b_0 + 10$	$b_0 + 10$	$b_0 + 10$
	длина	<i>a</i>	160	200	240	280
	радіусъ	<i>R</i>	400	500	600	700
Толщина подушки {	полная	<i>e</i>	40	50	60	70
		<i>e</i>	20	25	30	35
	по крайнѣмъ	<i>f</i>	8	10	12	14
		<i>f</i>	4	5	6	7
выпуклости	<i>g</i>	8	10	12	14	
	<i>g</i>	8	8	8	8	
закрайнѣмъ	<i>h</i>	8	8	8	8	
Ширина реборды	<i>k</i>	20	20	30	35	
Шпонки неподвижн. опоры {	длина	<i>t</i>	35	40	50	55
	ширина	<i>l</i>	30	30	30	30
Диаметръ полукруглыхъ отверстій	<i>d</i>	30	30	35	40	
Приблизит. вѣсъ чугунной подушки въ кил.			14	26	45	68

b_0 обозначаетъ ширину опорнаго листа фермы въ мм.

подушки, но зато очень затрудняется заливка цементнаго слоя по вынужденнымъ способамъ. Поэтому врубка подушки въ камень не можетъ быть доведена; она даже запрещена на прусскихъ казенныхъ жел. дор. (циркуляръ 1903 года).

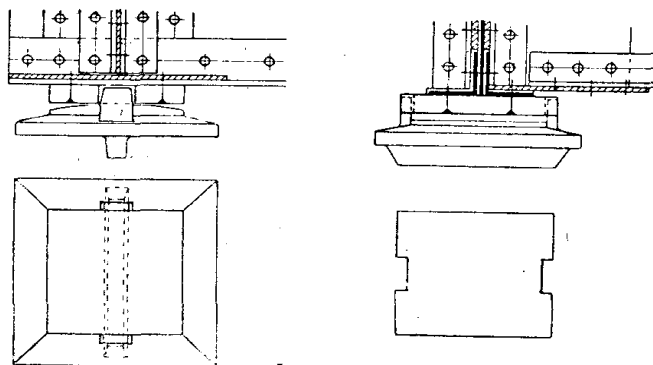
4) Наибольшимъ распространениемъ пользуется способъ закрѣпленія подушки помощью одного или двухъ приливовъ, втѣпленныхъ въ камень. При этомъ приливы слѣдуетъ имѣть въ виду: 1) возможно меньшее ослабленіе площади камня, особенно въ его опасномъ сѣченіи подъ центромъ и 2) возможность заливки ихъ цементомъ въ пазахъ, вырубленныхъ въ камень. Этимъ требованіямъ лучше всего удовлетворяютъ приливы, помѣщенные въ подушки (фиг. 122) или въ ея углахъ (фиг. 82); они мало ослабляютъ камень и удобны для заливки. Что же касается приливовъ, расположенныхъ на подушкахъ (фиг. 59 и 60), а въ особенности въ видѣ креста (фиг. 61 и 62)

желательны, такъ какъ они ослабляютъ камень въ мѣстахъ его на-
напряженія, и, кромѣ того, невозможна плотная заливка приливовъ
даже при устройствѣ приливовъ съ уклономъ къ серединѣ подушки
62).

люченіе. Для закрѣпленія подушки на подферменникѣ можно реко-
одинъ изъ слѣдующихъ способовъ: 1) два штыря по краямъ подушки
2) одинъ поперечный приливъ вдоль края подушки (фиг. 122), 3) два
прилива, расположенныхъ въ углахъ подушки (фиг. 82). Точная
екъ на подферменникахъ безусловно необходима для правильной
летнаго строенія моста. Въ случаѣ неточной укладки подушекъ, строе-
только на трехъ опорахъ и при входѣ поѣзда на мостъ получаетъ
вая его четвертой опорѣ, лежащей ниже остальныхъ. Со временемъ
увеличиваются и могутъ повлечь за собою переломъ подушки и раз-
заклепочныхъ соединеній въ поперечной конструкціи моста.

выпуклыхъ подушекъ. Фиг. 45 изображаетъ типовую подушку извѣ-
анскаго завода Gutehoffnungshütte. Эти подушки примѣняются пяти раз-
талибровъ, смотря по величинѣ пролета моста отъ 1 до 20 м. Всѣ раз-
калибра указаны въ таблицѣ. Тамъ же приведенъ приблизительный
при отливкѣ изъ чугуна. Ширина цилиндрической выпуклости и
нованія подушки опредѣляются въ зависимости отъ ширины b_0 опорнаго
рую назначаютъ съ такимъ расчетомъ, чтобы вырѣзы, дѣлаемые по
аго листа для прямоугольныхъ шпонокъ t , не захватывали поясныхъ
ы. Дабы ферма не могла соскочить съ подушки, что впрочемъ мало
можно придерживать ее желѣзною лапкою (фиг. 36), привинчиваемую
помощью шурупа, для котораго въ фиг. 45 предвидѣна дыра. Подушка
на подферменникѣ при помощи штырей, для которыхъ имѣются по-
верстія по краямъ подушки. Достаточно двухъ штырей; при опасеніи,
будетъ вращаться, ставятъ три штыря: съ одной стороны—одинъ
а съ другой сторо-

нихъ штыря.
практична и проста по-
женная въ фиг. 46.
края цилиндриче-
и снабжены двумя
рые входятъ въ прямо-
зы по краямъ желѣз-
иста, приклепаннаго
Эти зубья удерживаютъ
емѣщенія какъ вдоль,
моста.

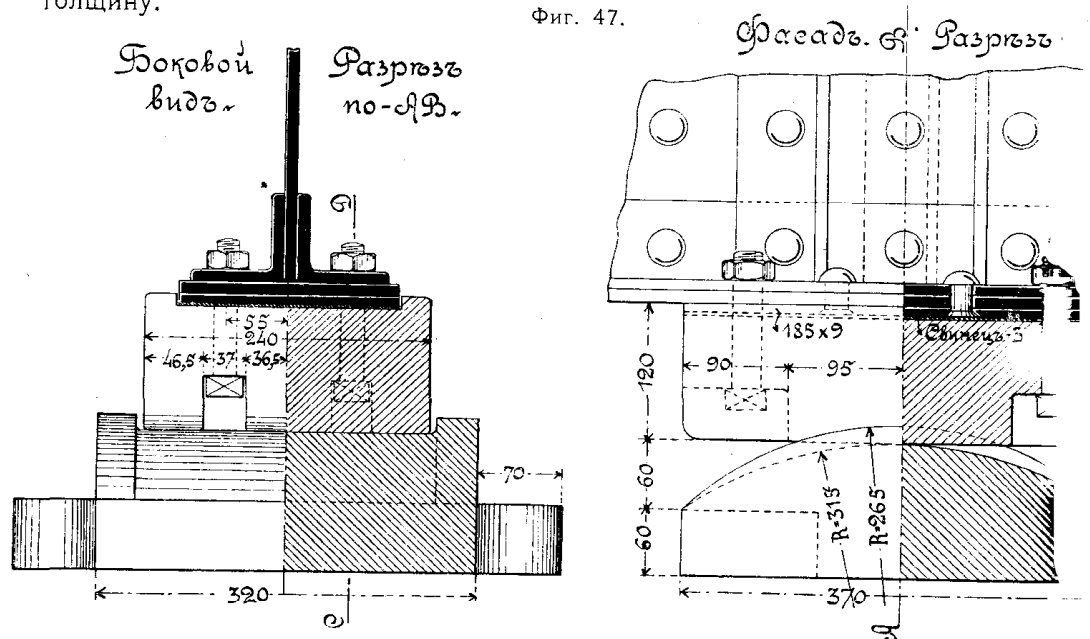


Фиг. 46.

47 представленъ типъ выпуклыхъ подушекъ Юго-Западныхъ и За-
желѣзныхъ дорогъ для подвижныхъ опоръ. Верхняя подушка плоская
къ фермѣ четырьмя болтами, для которыхъ въ подушкѣ сдѣланы
подушка имѣетъ сплошную цилиндрическую выпуклость, радиусомъ
взя реборды устроены не плоскими, какъ въ фиг. 45, а круговыми
265 мм. Для закрѣпленія на подферменникѣ, нижняя подушка снаб-
роушинами, черезъ которыя пропущены вертикальные болты. Обѣ

подушки спроектированы слишкомъ массивно, слѣдовало бы уменьшить толщину.

Фиг. 47.



Недостатокъ выпуклыхъ цилиндрическихъ подушекъ заключается въ томъ, что при значительной ширинѣ пояса, опирающагося на подушку, давление неравномерно вдоль линіи касанія, особенно при перекашиваніи въ случаѣ прогиба поперечной конструкціи моста. Для устраненія этой статка, рекомендуется дѣлать выпуклость подушки не цилиндрическою, а конической (фиг. 72).

Основные размѣры выпуклыхъ подушекъ и ихъ расчетъ. Радиусъ цилиндрической выпуклости принимается отъ 300 до 800 мм., смотря чинъ опорнаго давления, повѣряя соприкасающіяся поверхности подушки наго листа на смятіе по формулѣ № 20 Герца.

Площадь основанія подушки. Ширина b основанія принимается отъ 100 до 300 мм. больше ширины опорнаго листа пояса. Задавшись шириною b , можно рассчитать длину a основанія изъ условія прочности камня на разрывъ

$$A = b \cdot a \cdot R, \text{ откуда } a = \frac{A}{b \cdot R}.$$

Допускаемое напряженіе R для камня указано въ § 9.

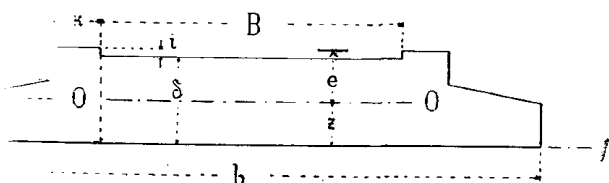
Толщина подушки опредѣляется расчетомъ, или лучше, зачетомъ, повѣряютъ прочность подушки, т. е. ея напряженія, разсчитывая ее на переломъ по двумъ направленіямъ: 1) поперекъ фермы и 2) вдоль фермы.

А. Повѣрка на переломъ поперекъ фермы, т. е. вдоль линіи касанія фермы съ цилиндрическою выпуклостью. Исходя изъ предположенія, что нагрузка опоры распределяется равномерно по основанію подушки, можно разсчитать подушку какъ изгибаемый брусъ, длиною a , нагруженный снизу равномерною нагрузкою и поддерживаемый сверху одною среднею опорою, совпадающею съ линіею касанія фермы и цилиндрической выпуклости подушки (фиг. 48). Брусъ въ расчетномъ отношеніи не отличается отъ бруса половинной длины, задѣланнаго однимъ концомъ по линіи $a-a$ (фиг. 49). Повѣряемъ на изгибъ

а—а (фиг. 49) по формулѣ $n = \frac{M_1 \cdot e}{J_0} < R_n$, гдѣ M_1 — изгибающій моментъ сѣченія а—а (фиг. 49).

$$= \frac{A}{2} \cdot \frac{a}{4} = \frac{A \cdot a}{8}.$$

моментъ инерціи сѣченія по тавленнаго въ фиг. 50, отъ горизонтальной оси 0—0 (рис. тяжести сѣченія, разстояніе нейтральной оси отъ болѣе удаленнаго отъ нея



Фиг. 50.

относительно подошвы,

допускаемое напряжение, указанное въ таблицѣ 20 на стр. 41.

Разстояніе z нейтральной оси 0—0 до подошвы 1—1 рассчитывается по

$$z = \frac{S_1}{\omega}, \text{ гдѣ } \omega \text{ — площадь всего сѣченія, } S_1 \text{ — статическій моментъ всего сѣченія}$$

относительно подошвы 1—1.

$$= \frac{B \cdot \delta^2}{2} + 2 \left[\frac{p \cdot \Delta^2}{2} + \frac{p \cdot f}{2} \left(\Delta + \frac{f}{3} \right) + \frac{k(\delta + i)^2}{2} \right].$$

Моментъ инерціи относительно нейтральной оси 0—0

$$J_0 = J_1 + \omega \cdot z^2,$$

Моментъ инерціи относительно подошвы 1—1.

$$= \frac{B \cdot \delta^3}{3} + 2 \left[\frac{p \cdot \Delta^3}{3} + \frac{p \cdot f}{2} \left(\Delta + \frac{f}{3} \right)^2 + \frac{p \cdot f^3}{36} + \frac{k(\delta + i)^3}{3} \right].$$

напряженіе на переломѣ вдоль фермы. Ширина b основанія по

ширины B выпуклости, на которую давить

подошва имѣетъ стремленіе переломиться

поперекъ. Для повѣрки прочности на переломѣ

поперекъ, подошва разсматривается какъ

плоская стѣна b_2 съ однимъ задѣланнымъ концомъ (фиг.

51) двумя силами A_2 , приложенными на

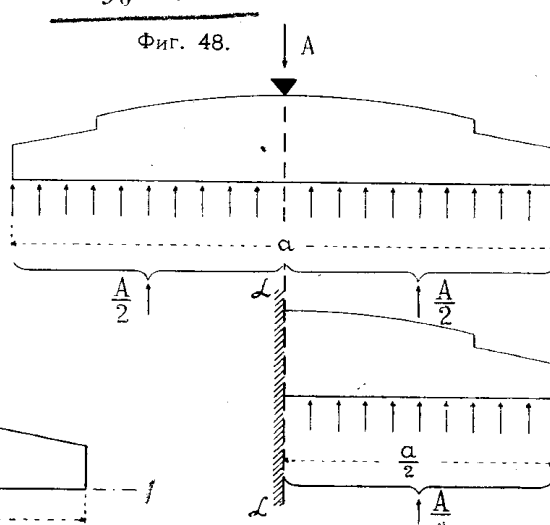
расстояніяхъ B_4 и b_4 отъ опаснаго сѣченія β — β .

Изгибающій моментъ въ сѣченіи β — β :

$$\left(\frac{b}{4} \quad \frac{B}{4} \right) = \frac{A}{8} (b - B).$$

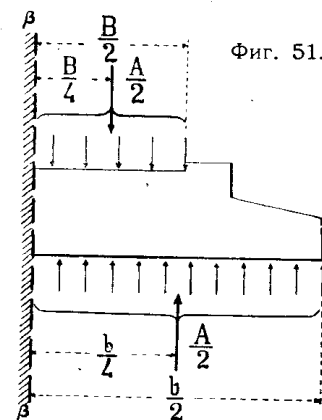
Максимальное напряжение:

$$n = \frac{M_2 \cdot e}{J_2} < R_n, \text{ гдѣ}$$



Фиг. 48.

Фиг. 49.



Фиг. 51.

e — расстояние горизонтальной нейтральной оси до наиболее удаленного волокна сечения, представленного в фиг. 52,

J_0 — момент инерции того же сечения относительно той же нейтральной оси

$$J_0 = J_1 + \omega \cdot z^2, \text{ причемъ}$$

$J_1^{(6)}$ — момент инерции того же сечения относительно подошвы подушки 1—1;

ω — площадь сечения, представленного в фиг. 52,

z — расстояние нейтральной оси 0—0 до подошвы 1—1, рассчитываемое по формулѣ $z = \frac{S_1}{\omega}$

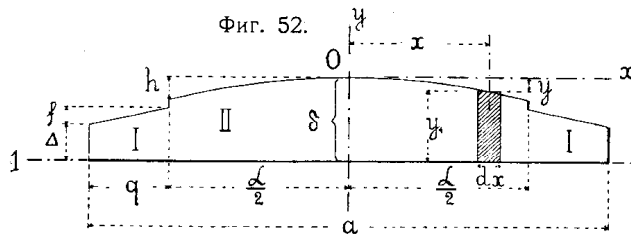
$S_1^{(8)}$ — статический момент того же сечения (фиг. 52) относительно подошвы 1—1.

6) Разлагая сечение, представленное в фиг. 52, на двѣ трапеции *I* и выпуклый уч *II*, получимъ

$$J_1 = 2J_1^I + J_1^{II}.$$

Моментъ инерции каждой трапеции *I* относительно подошвы 1—1:

$$J_1^I = \frac{q \cdot \Delta^3}{3} + \frac{q \cdot f}{2} \left(\Delta + \frac{f}{3} \right)^2 + \frac{q \cdot f^3}{36}.$$



Выпуклую часть *II* раземъ на рядъ элементарныхъ угольниковъ. Моментъ инерции штрихованнаго в фиг. 52 угольника, съ основаніемъ dx сотою y_1 , относительно 1—1 равенъ $\frac{dx \cdot y_1^3}{3}$, а для пуклой части *II*:

$$J_1^{II} = \frac{2}{3} \int_0^{\frac{a}{2}} y_1^3 \cdot dx, \text{ причемъ } y_1 = \delta - y, \text{ гдѣ } \delta = \text{const.}, \text{ а}$$

y ордината кривой, отнесенная къ горизонтальной оси черезъ вершину 0. Погрѣшность незначительная, если предположить кривую за параболу; тогда $x^2 = 2p \cdot y$, причемъ p опредѣляется такъ:

$$\text{при } x = \frac{a}{2} \quad y = h, \quad \text{такъ что } 2p = \frac{x^2}{y} = \frac{a^2}{4h}.$$

Подставляя в интегралъ $y_1 = \delta - y = \delta - \frac{x^2}{2p}$, получимъ

$$\begin{aligned} J_1^{II} &= \frac{2}{3} \int_0^{\frac{a}{2}} y_1^3 \cdot dx = \frac{2}{3} \int_0^{\frac{a}{2}} \left(\delta - \frac{x^2}{2p} \right)^3 \cdot dx \\ &= \frac{2}{3} \left[\delta^3 \int_0^{\frac{a}{2}} dx - \frac{3\delta^2}{2p} \int_0^{\frac{a}{2}} x^2 \cdot dx + \frac{3\delta}{4p^2} \int_0^{\frac{a}{2}} x^4 \cdot dx - \frac{1}{8p^3} \int_0^{\frac{a}{2}} x^6 \cdot dx \right] \\ &= \frac{2}{3} \left[\delta^3 \left(\frac{a}{2} \right) - \frac{3\delta^2}{2p} \left(\frac{a}{2} \right)^3 + \frac{3\delta}{20p^2} \left(\frac{a}{2} \right)^5 - \frac{1}{56p^3} \left(\frac{a}{2} \right)^7 \right]. \end{aligned}$$

7) Площадь ω сечения, представленнаго в фиг. 52:

$$\omega = 2q \cdot \frac{2\Delta + f}{2} + a(\delta - h) + \frac{2}{3} \cdot a \cdot h.$$

8) Статический моментъ S_1 сечения, представленнаго в фиг. 52, относительно подошвы

$$S_1 = 2S_1^I + S_1^{II}.$$

Статический моментъ каждой трапеции *I*:

$$S_1^I = \frac{q \cdot \Delta^2}{2} + \frac{q \cdot f}{2} \left(\Delta + \frac{f}{3} \right).$$

Для расчета статическаго момента S_1^{II} выпуклой части *II* рассмотримъ элементарную площадку, заштрихованную в фиг. 52. Ея статический моментъ относительно подошвы 1—1

b основанія подушки мало разнится отъ его длины a_2 , къ чему
 мятся, то $b - B$ значительно (почти вдвое) меньше, чѣмъ a ,
 и моментъ M_2 во второмъ случаѣ разсчета значительно мень-
 ше, чѣмъ въ первомъ случаѣ. Поэтому, въ большинствѣ случаевъ, можно не
 считать на переломъ вдоль фермы, такъ какъ напряженіе получается
 на переломѣ подушки поперекъ фермы.

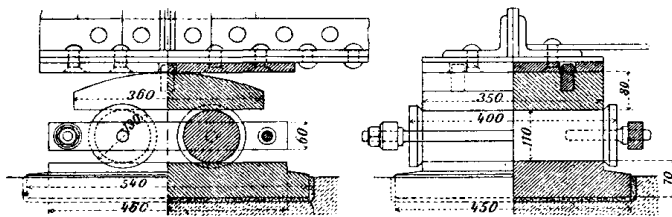
§ 12. Балансиры съ цилиндрическою головкою.

Балансировъ въ мѣстѣ ихъ взаимнаго соприкасанія бываетъ вы-
 ступою. Можно различать три случая, смотря по тому, снабжена
 головка нижняго балансира, или верхняго балансира, или частью
 нижняго балансира. Наилучшимъ слѣдуетъ признать первый
 случаю, въ которомъ головка нижняго балансира, ибо исключена
 возможность задержанія воды и сора въ шарнирѣ; кромѣ того, высота по сере-
 динѣ балансира, получается больше, что выгодно потому, что нижній
 диаметръ длиннѣе верхняго и требуетъ соотвѣтственно бѣльшей высоты.
 65) изрѣдка примѣнялся съ цѣлю устранить возможность
 балансиравъ, но не можетъ быть рекомендованъ, вслѣдствіе
 непрочности.

При взаимнаго соприкасанія, головки балансиравъ должны быть точно
 цилиндрической поверхности. Вогнутыя головки могутъ быть всегда
 употреблены на станкѣ. Что же касается выпуклыхъ головокъ, то онѣ
 употребляются лишь въ томъ случаѣ, если ихъ радіусъ кривизны r больше
 диаметра балансира ($r \geq a/2$). Въ большинствѣ случаевъ $r < a/2$
 и тогда выпуклыя головки балансиравъ, причѣмъ точная цилиндри-
 ческая поверхность достижима.

Соприкасаніе цилиндрическихъ головокъ можетъ быть плотное,
 если радиусы кривизны обѣихъ головокъ (фиг. 61 и 62), или
 можетъ быть свободное, если оно происходитъ по прямой
 линии, а радиусы кривизны обѣихъ головокъ не равны между собою

Балансировъ съ
 головками за-
 счетъ давленіе
 неравно-
 мѣрности; по-
 этому часть ба-
 лансировъ съ
 головками,



Фиг. 53.

$y_1^2 \cdot dx$. Подставляя, согласно вышеизложенному, $y_1 = \delta - \frac{x^2}{2p}$, получимъ.

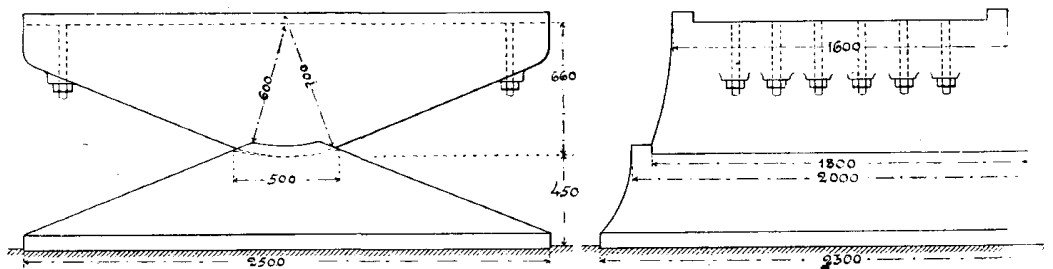
$$\left(\delta - \frac{x^2}{2p}\right)^2 \cdot dx = \delta^2 \int_0^{\frac{a}{2}} dx - \frac{\delta}{p} \int_0^{\frac{a}{2}} x^2 \cdot dx + \frac{1}{4p^2} \int_0^{\frac{a}{2}} x^4 \cdot dx$$

$$= \delta^2 \left(\frac{a}{2}\right) - \frac{\delta}{3p} \left(\frac{a}{2}\right)^3 + \frac{1}{20p^2} \left(\frac{a}{2}\right)^5.$$

при которыхъ центральность передачи давленія всегда обезпечена. Р кривизны цилиндрической головки балансировъ колеблется отъ 5 до и болѣе. При радиусахъ отъ 15 до 200 см. соприкасаніе между балансиромъ имущественно свободное (фиг. 53); при радиусахъ отъ 5 до 12 см. вст какъ плотное, такъ и свободное касаніе (фиг. 59 и 60).

Мѣры противъ поперечнаго сдвига одного балансира по другому. Треніе соприкасающимися головками балансира недостаточно, чтобы воспрепятствовало поперечному сдвигу моста по шарниру. Известны случаи, когда вслѣдствіе нія вѣтра пролетное строеніе большихъ мостовъ (мостъ отверстиемъ 35 срезъ Тверцу на Новоторжской желѣзной дорогѣ) было сдвинуто по ш. Чтобы предупредить поперечный сдвигъ одного балансира по другому приня слѣдующія мѣры. 1) Торцы головки одного балансира снабжаютъ боковы крайнами, захватывающими головку другого балансира (фиг. 59 и 93). борды никогда не слѣдуетъ устраивать въ томъ балансирѣ, который имѣе пуклую головку, такъ какъ обработка такой головки представляетъ больш трудненія; для примѣра укажемъ на фиг. 57, гдѣ головку нижняго балан нельзя ни обточить, ни выстрогать. Во избѣжаніе этого неудобства, боко крайны можно замѣнить круглыми накладками, которыя привинчиваются цамъ балансирной головки (фиг. 61). 2) По срединѣ головки устраивают ружи захваты въ видѣ вертикальной реборды, которая пропущена въ гнѣ жду двумя зубцами (фиг. 64).

Балансиры бываютъ массивные (фиг. 54, 57) и ребристые (фиг. 60, 64). Ребристые балансиры выгоднѣе, вслѣдствіе меньша но въ отношеніи доброкачественности и удобства отливки лучше массивны сиры, простыя формы которыхъ исключаютъ возможность образованія ра при отливкѣ. Такъ какъ массивные балансиры надежнѣе, то можно де въ нихъ болѣе высокія напряженія на изгибъ, чѣмъ въ ребристыхъ сирахъ. Многіе конструкторы отдають предпочтеніе массивнымъ баланс примѣняя ихъ не только при малыхъ, но и при очень большихъ опорны леніяхъ въ 2000 тон. и болѣе (фиг. 54 и 78). Опасное сѣченіе балансировъ



Фиг. 54. Мостъ Франца-Иосифа черезъ Дунай въ Будапештѣ.

ломъ обыкновенно совпадаетъ съ центромъ опоры; поэтому высота бала дѣлается тамъ наибольшею и они имѣютъ видъ треугольника съ верши шарнирѣ. Вслѣдствіе прогиба балансира, давленіе передается его основа совсѣмъ равномѣрно, имѣя наибольшее значеніе въ срединѣ балансира. мѣрность передачи достигается тѣмъ лучше, чѣмъ выше балансиръ, т. больше его жесткость.

Нижній балансиръ подвижной опоры обыкновенно покоится на катк неподвижной опорѣ его устанавливають непосредственно на подферменн

одъ балансиръ подкладываютъ чугунную подушку, чтобы облегчить передвижки балансира, необходимыя при его установкѣ (фиг. 62 и 90). Размеры нижняго балансира для фермъ пролетомъ отъ 20 до 150 мет.

Размѣры въ сантиметрахъ.	На подвижной опорѣ.	На неподвижной опорѣ.
Фермы)	40 до 130 см.	45 до 150 см.
Фермы)	40 " 130 "	50 " 140 "
Шарниромъ)	9 " 25 "	25 " 50 "
.	4 " 9 "	4 " 9 "
.	4 " 10 "	7 " 12 "
.	3,5 " 10 "	3,5 " 10 "

нижняго балансира неподвижной опоры обыкновенно принимается нижняго балансира подвижной опоры + диаметръ катковъ + тол- Въ этомъ случаѣ подферменные камни обѣихъ опоръ имѣютъ мѣтку, и опорныя площадки обоеихъ устоевъ находятся на одномъ ный приемъ вызывается необходимостью лишь въ многопролетныхъ положеніи подвижной и неподвижной опоръ смежныхъ пролетовъ быкъ и подферменникѣ; въ большинствѣ случаевъ можно уда- части, если не придавать излишней высоты нижнему балансиру ры, а располагать ея подферменный камень выше съ соответ- вленіемъ каменной кладки устоя. Сбереженіе получается на ме- нъшеніи числа моделей, такъ какъ можно отливать нижній балан- модели, какъ для подвижной опоры; что же касается добавочной и, то ея стоимость ничтожна. Кромѣ того, уменьшеніе общей вы- ой опоры благоприятно отражается на устойчивости пролетнаго йствіи горизонтальной нагрузки. Способы закрѣпленія нижняго двигной опоры на подферменникѣ не отличаются отъ описанныхъ

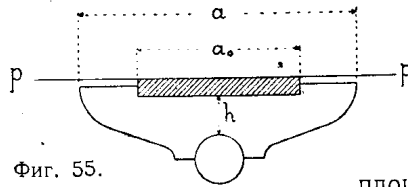
ансиръ подвижной и неподвижной опоръ обыкновенно отливается и. Ширина b балансира (поперекъ фермы) принимается на 5 до ширины B пояса, т. е. $b = B + 5$ до 25 см.

балансира (вдоль фермы) опредѣляется не столько изъ условія ко по конструктивнымъ соображеніямъ, въ зависимости отъ раз- стойки фермы, отъ удобства размѣщенія болтовъ, прикрѣпляющихъ есу и пр. При назначеніи длины a можно руководствоваться слѣдую- стносящимися къ балансирамъ ребристаго типа:

въ м.	20	30	40	50	60	70	80	90	130
балансира вдоль фермы въ см.	30	35	40	50	60	70	70	75	80

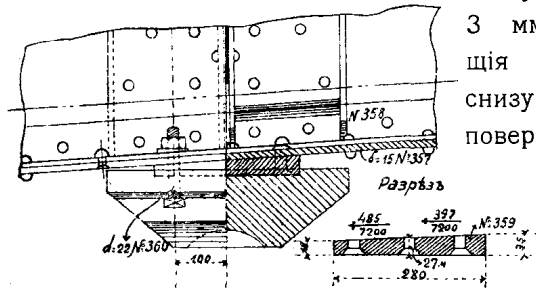
балансира по оси шарнира тѣсно связана съ длиною a балан- и должна быть по возможности мала, въ видахъ уменьшенія между центромъ опорнаго узла и шарниромъ опоры (см. стр. 552 опредѣляется изъ расчета балансира на переломъ вдоль шар- тся тѣмъ больше, чѣмъ больше длина a (фиг. 55). При расчетѣ атривается какъ брусъ, задѣланный однимъ концомъ вдоль оси аемый половиною вертикальнаго опорнаго давленія $A/2$, вызы- положеніи равномернаго его распределенія, наибольшій изги-

бающий момент $M = \frac{A}{2} \cdot \frac{a}{4}$. Чтобы этот момент и вмѣстѣ съ нимъ сота балансира получались возможно меньше, слѣдуетъ принимать длину a балансира какъ можно короче. Если конструктивныя соображенія не позволя-



Фиг. 55.

сократить длину a , то уменьшеніе момента можетъ быть достигнуто путемъ передачи дѣянія фермы не на всю верхнюю площадку балансира, а только на среднюю ея часть. Это достигается двумя способами: 1) устраивая верх-



Фиг. 56.

площадку балансира такъ, чтобы ея средняя возвышалась надъ краями на 2 до 3 мм. (фиг. 64 и 76), или 2) прокладывая между фермою и балансиромъ небольшую плитку a_0 толщиной 12 до 15 мм. которая приклепана къ фермѣ и втуплена въ балансиръ настолько, чтобы выступала надъ краями балансира на 3 мм. (фиг. 55). Заклепки, прикрѣпляющія втупленный листъ къ фермѣ, имѣютъ снизу потайныя головки. Соприкасающіяся поверхности плитки и балансира должны быть чисто выстроганы. Въ случаѣ мѣненія плитки, балансиръ не отдѣляется въ прикрѣпленіи къ фермѣ, какъ плитка удерживаетъ его на мѣ-

стѣ поэтому достаточно притянуть балансиръ къ фермѣ четырьмя болтами. Если опорная площадка фермы расположена наклонно, а верхній балансиръ желательнo установить горизонтально, то достигается очень просто, если втупленной плиткѣ придать клинообразную форму (фиг. 56).

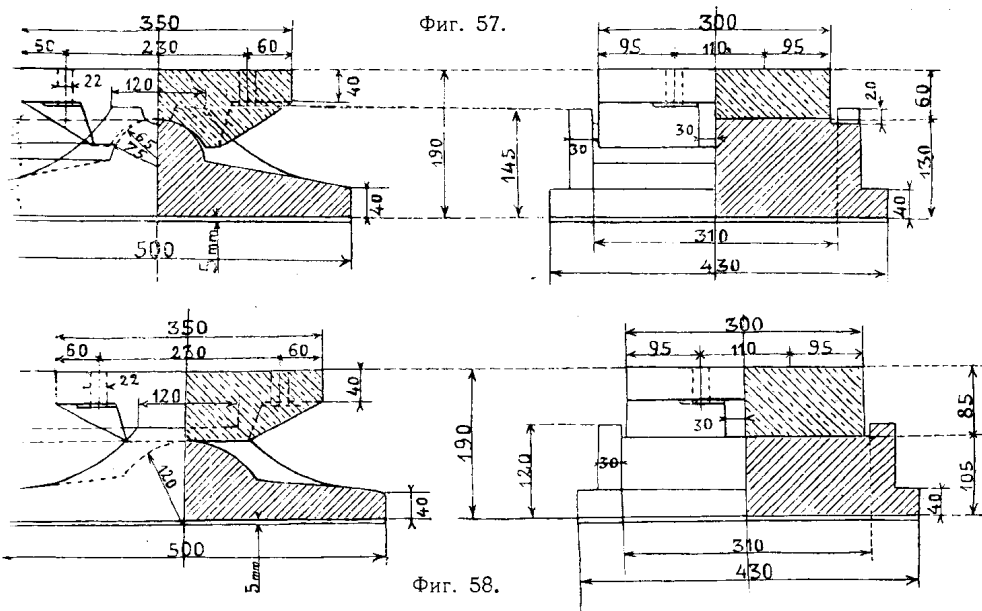
Предѣльные размѣры верхняго балансира подвижныхъ и неподвижныхъ опоръ для мостовъ пролетомъ отъ 20 до 150 м.:

длина (вдоль фермы)	30 до 80 см.	толщина плиты	4 до 6
ширина (поперекъ фермы) 40 „	125 „	толщина шейки	6 „ 11
высота (надъ шарниромъ) 7 „	20 „	толщина ребордъ	3,5 „ 5

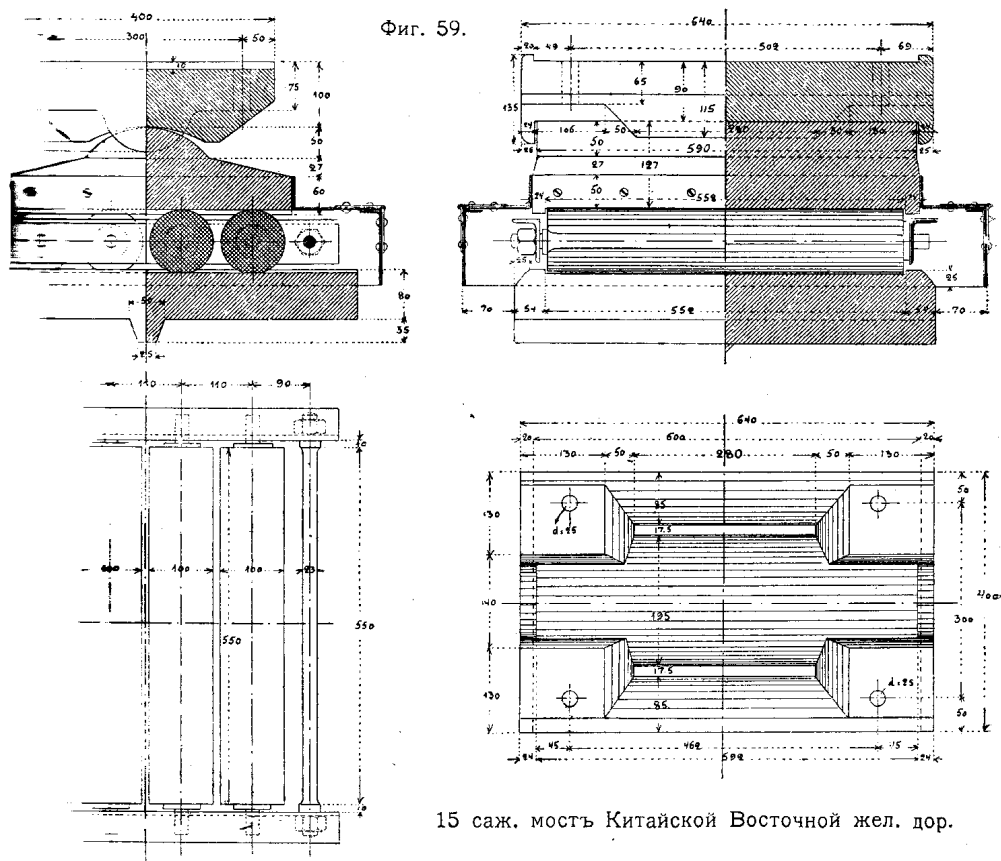
Способы прикрѣпленія верхняго балансира къ фермѣ. 1) Прикрѣпленіе балансира только болтами (фиг. 57, 58) применяется въ тѣхъ случаяхъ, не требуется особенной прочности. 2) Прикрѣпленіе балансира при помощи стальныхъ и двухъ закрайныхъ по краямъ балансира, направленныхъ вдоль моста (фиг. 59, 61), является наиболѣе употребительнымъ способомъ. Закрайныя удерживаютъ балансиръ отъ сдвига поперекъ моста; разстояніе между ними равняется ширинѣ горизонтальныхъ листовъ пояса. 3) Прикрѣпленіе балансира при помощи круглыхъ или прямоугольнаго выступа, который отливаеся въ центрѣ верхней площадки балансира и входитъ въ вырѣзъ такой-же формы, сдѣланный въ опорномъ стержнѣ фермы (фиг. 98 и 99). Вмѣсто одного средняго выступа, можно сдѣлать ихъ по срединѣ тѣхъ краевъ балансира, которые направлены поперекъ моста (фиг. 136). Балансиръ стягивается съ фермою четырьмя болтами. 4) Прикрѣпленіе балансира при помощи прямоугольной плитки, приклепанной къ фермѣ и втупленной въ верхнюю площадку балансира (фиг. 55). Этотъ способъ уже описанъ на стр.

Примѣры балансировъ съ цилиндрическою головкою. I примѣръ (фиг. 57)

я и скользящая подвижная опора съ массивными балансирами. тансиры снабжены цилиндрическою выпуклою головкою; что же ка- няго балансира, то въ подвижной опорѣ онъ плоскій, а въ неподвиж- нѣ имѣеть цилиндрическое гнѣздо съ большимъ радиусомъ кривизны,



головка нижняго балансира. Въ обѣихъ опорахъ касаніе баланси- по прямой линіи, такъ что возможно качаніе верхняго балансира. Закрайны на случай поперечнаго сдвига устроены по бокамъ нижняго

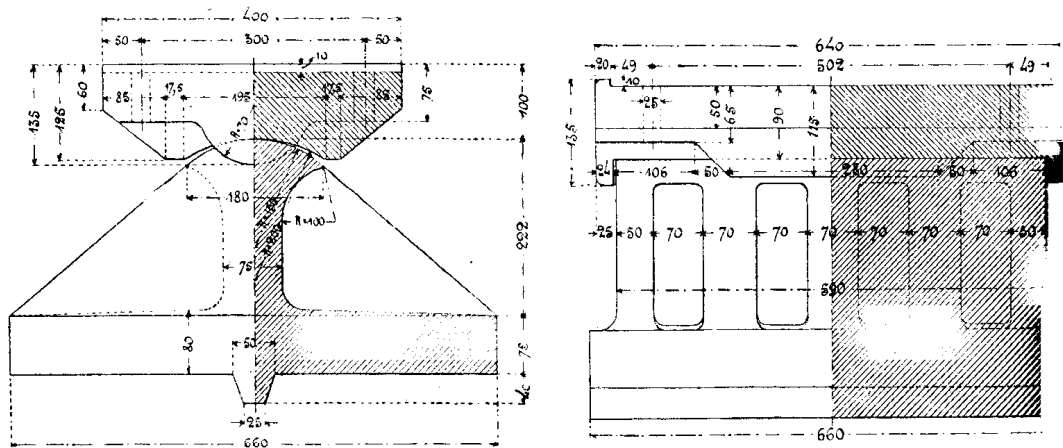


15 саж. мостъ Китайской Восточной жел. дор.

балансира, что очень плохо, такъ какъ нельзя ни обточить, ни выстрогать го нижняго балансира; слѣдовало бы снабдить боковыми закрайнами верхній б сирь, который всегда можно обточить.

II примѣръ (фиг. 59) подвижная на каткахъ опора 15 саж. моста съ по веру. Оба балансира массивнаго типа; нижній снабженъ цилиндрическою пуклою головкою радиусомъ 125 мм., а верхній — цилиндрическимъ гнѣздомъ бѳльшимъ радиусомъ кривизны (200 мм.), такъ что при прогибѣ фермы в балансиръ качается по нижнему. Закрайны на случай поперечнаго сдвига уст по бокамъ верхняго балансира. Въ его четырехъ углахъ сдѣланы гнѣзда съ зонтальными площадками для помѣщенія болтовъ, которыми балансиръ при ляется къ фермѣ. Втопленный въ камень приливъ нижней подушки было ціональнѣе помѣстить не по серединѣ, а вдоль поперечнаго края подушки.

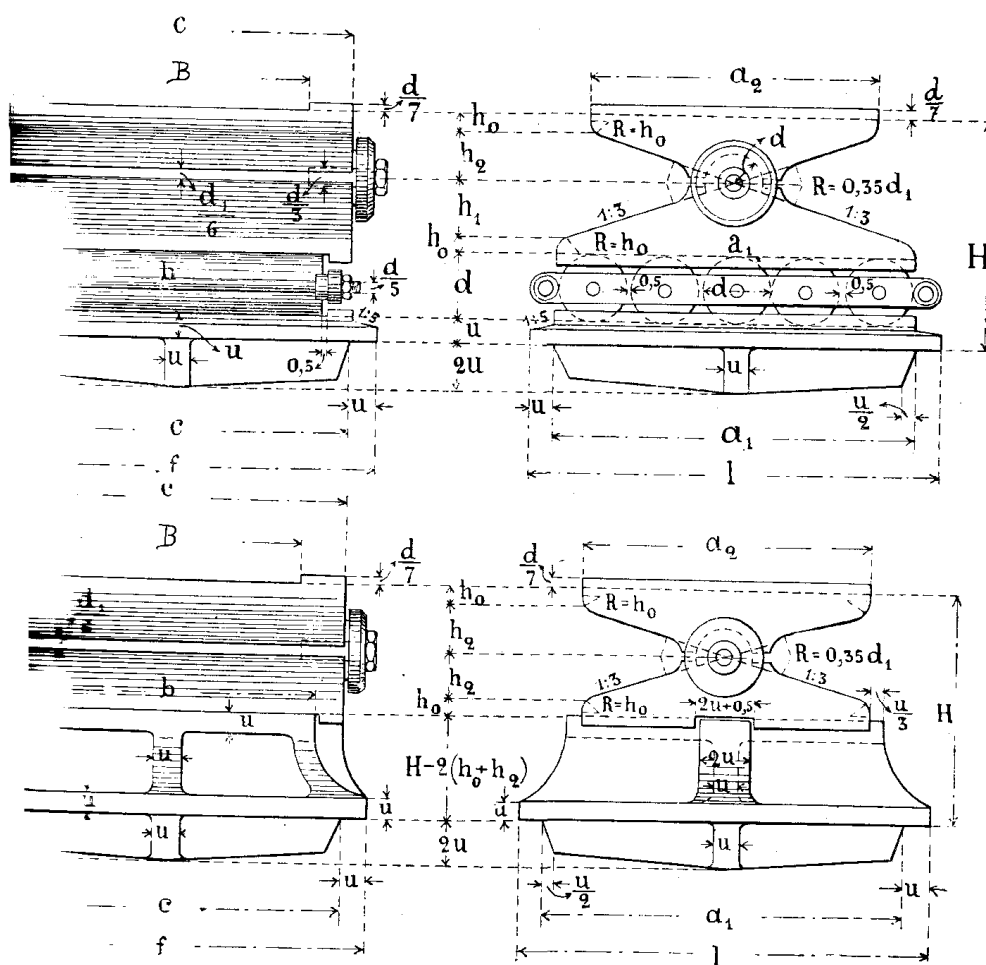
III примѣръ (фиг. 60). Неподвижная опора, соотвѣтствующая фиг. 59. сивный верхній балансиръ ничѣмъ не отличается отъ балансира въ фиг. 60. Нижній балансиръ ребристый состоитъ изъ плиты и шейки съ выпуклою г кою, укрѣпленную 5-ю продольными ребрами. Радиусы кривизны головокъ б



Фиг. 60. 15 саж. мостъ Китайской Восточной жел. дор.

сировъ разнятся на 50 мм., такъ что возможно качаніе верхняго баланс нижнему. Боковыми закрайнами, на случай поперечнаго сдвига, снабженъ балансиръ. Средній приливъ нижняго балансира, втопленный въ камень, было бы расположить вдоль поперечнаго края балансира.

IV примѣръ (фиг. 61 и 62). Типъ подвижной и неподвижной опоръ „Gutehoffnungshütte“. Всѣ части предположены изъ стали, кромѣ чугуннаго неподвижной опоры. Въ прилагаемой таблицѣ приведены основные размѣры б калибровъ опорныхъ частей, соотвѣтственно пролету фермъ отъ 22 до Всѣ балансиры массивнаго типа; нижніе снабжены цилиндрическою выпуклою ловкою, а верхніе — цилиндрическимъ гнѣздомъ той же кривизны, такъ что с касаніе балансировъ плотное и при ихъ вращеніи вызывается треніе I ро: избѣжаніе поперечнаго сдвига, устроены круглыя накладкы, привинченныя ловкѣ нижняго балансира. Общая высота H обѣихъ опоръ одинаковая. Н балансиръ неподвижной опоры покоится на чугунномъ стулѣ. Крестообразныѣ ливы подушки и стула, втопленные въ подферменникъ, нераціональны; лучше бы сдѣлать только одинъ приливъ вдоль поперечнаго края подушки.



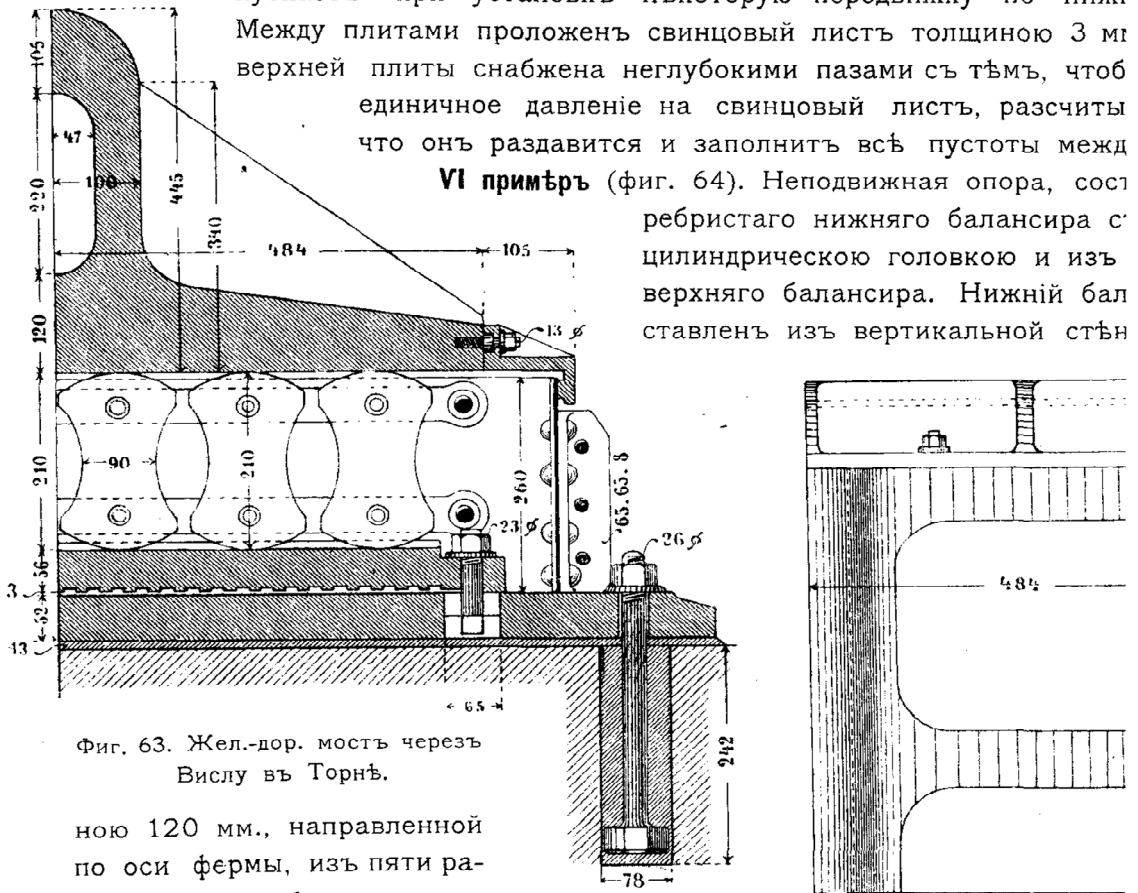
Фиг. 61 и 62. Типъ завода „Gutehoffnungshütte.“

всѣ въ метрахъ.		до 22	23	28	29	34	35	44	45	54	55	60
даны въ см.												
позвонокъ	n	4	4	5	5	5	5	5	5	6		
диаметръ	d	9	10	10	11	12	12	12	12	12		
длина	b	35	39	43	49	56	60	60	60	60		
длина подвижн. опоры	a_1	38	42	53	58	63	76	76	76	76		
длина неподвижн. опоры = $0,8 a_1$	a_2	30	34	42	46	50	61	61	61	61		
высота	c	42	46	51	59	67	72	72	72	72		
высота подвижн. опоры	$h_1 + h_0$	8,2	9,1	11,4	12,6	13,7	16,5	16,5	16,5	16,5		
высота неподвижн. опоры	$h_2 + h_0$	7,0	7,7	9,7	10,6	11,6	14,9	14,9	14,9	14,9		
радиусъ выпуклости	d_1	7	8	8,5	10	11	12	12	12	12		
длина	l	45	50	61	66	72	86	86	86	86		
ширина	f	49	53	59	67	76	82	82	82	82		
толщина	u	3,1	3,4	3,7	4,2	4,7	5,0	5,0	5,0	5,0		
общая высота	H	27,3	30,2	34,8	38,4	42,0	47,4	47,4	47,4	47,4		
весъ одной опоры (одна):												
— балансирующаго	кил.	273	363	557	780	1063	1500	1500	1500	1500		
— поддерживающаго	кил.	94	120	213	292	401	609	609	609	609		
— стула	кил.	116	155	225	315	433	580	580	580	580		

63). Ребристый нижній балансиръ съ выпуклою цилиндрическою головкою. Шейка балансира полая и поддерживается съ каждой стороны двумя ребрами. Ради удобства установки, подушка подъ катками уложена на слоѣ цемента толщ.

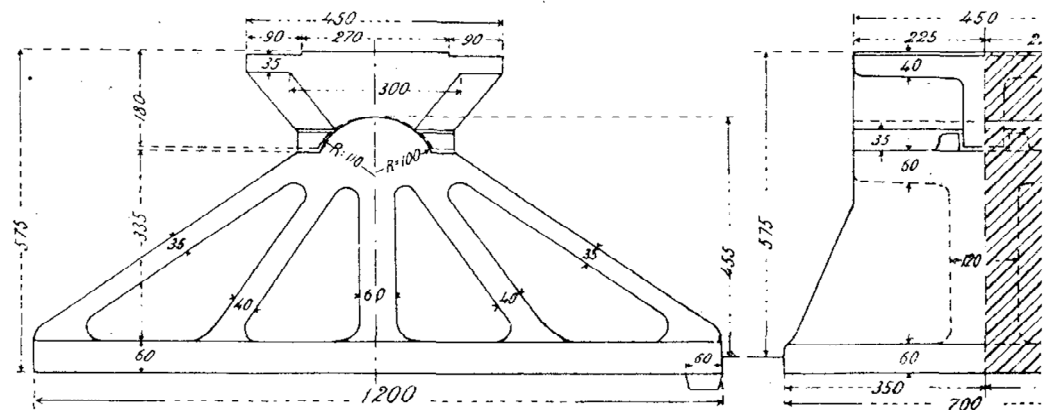
щиною 13 мм. и прикрѣплена къ камню помощью 4 болтовъ. Верхняя пускаетъ при установкѣ нѣкоторую передвижку по низу. Между плитами проложенъ свинцовый листъ толщиною 3 мм. Верхняя плита снабжена неглубокими пазами съ тѣмъ, чтобъ единичное давленіе на свинцовый листъ, разсчитано, что онъ раздавится и заполнитъ всѣ пустоты между

VI примѣръ (фиг. 64). Неподвижная опора, состоящая изъ ребристаго нижняго балансира съ цилиндрическою головкою и изъ верхняго балансира. Нижній балансиръ поставленъ изъ вертикальной стѣны



Фиг. 63. Жел.-дор. мостъ черезъ Вислу въ Торнѣ.

толщиною 120 мм., направленной по оси фермы, изъ пяти радіальныхъ ребордъ и изъ нижней плиты. Для удержанія верхняго балансира отъ поперечнаго сдви

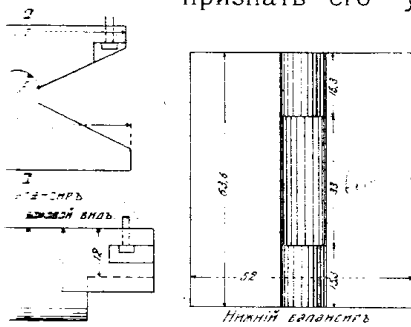


Фиг. 64. Новый жел.-дор. мостъ черезъ Аару у Бругга въ Швейцаріи

нему, по оси фермы устроено снаружи два захвата, въ видѣ вертикальнаго лива къ верхнему балансиру. Этотъ приливъ пропущенъ въ гнѣздо между зубцами, прилитыми къ головкѣ нижняго балансира.

VII примѣръ (фиг. 65). Оба балансира имѣютъ на половину выпуклую и на половину вогнутую головку. Согласно разрѣзу по *a—a* головка верхняго балансира по срединѣ выпуклая, а по краямъ—вогнутая; въ нижнемъ балансирѣ, головка по краямъ выпуклая, а по срединѣ—вогнутая. Такое взаимное

устраняетъ возможность поперечнаго сдвига балансировъ; но нельзя признать его удачнымъ, такъ какъ обработка головокъ представляетъ затрудненія и трудно рассчитывать на плотное соприкасание головокъ на всемъ ихъ протяженіи.



Разсчетъ балансировъ сводится къ разсчету головокъ на смятіе и къ разсчету самаго балансира на изгибъ. Къ разсчету слѣдуетъ приступать послѣ того, какъ составленъ эскизный чертежъ опоры въ масштабѣ.

Мостъ черезъ Вѣру у Эшвеге.

Разсчетъ на смятіе. Соприкасающіяся

балансиры должны быть разсчитаны на смятіе, примѣняя въ случаѣ касанія формулу Герца 22 или 20 на стр. 19, а въ случаѣ плотнаго касанія формулу 32 на стр. 32. При назначеніи допускаемыхъ напряженій руководствоваться § 8.

Верхняго балансира на изгибъ. Предполагается: 1) что опорное давленіе редѣлено равномерно по всей верхней площадкѣ балансира или по дугѣ, въ случаѣ примѣненія втопленной плитки (фиг. 55), и 2) что въ свободномъ касаніи верхній балансиръ опирается на выпуклую головку нижняго балансира по прямой, совпадающей съ вершиною дуги. Половину балансира (фиг. 66) можно разсматривать какъ брусъ, зажатый концомъ вдоль оси шарнира и нагруженный сплошною равнодѣйствующею, равнодѣйствующая которой $= A/2$. Наибольшій изгибающій моментъ при шарнирѣ:

1. а. Сѣченіе балансира

представляетъ брусокъ сѣченіемъ $b \times h$, такъ что его моментъ инерціи относительно оси тяжести заштрихованной

$$W = \frac{1}{12} b \cdot h^3.$$

нормальное напряженіе матеріала при изгибѣ будетъ

$$n = \frac{M}{W} = \frac{3}{4} \cdot \frac{A \cdot a}{b \cdot h^2} < R_n'$$

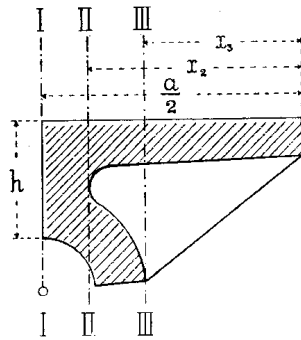
Если балансиръ массивный и его высота убываетъ прямолинейно въ обѣ стороны, то нормальное напряженіе въ остальныхъ сѣченіяхъ будетъ меньше, чѣмъ n .

Если балансиръ ребристый (фиг. 67), то, кромѣ повѣрки средняго сѣченія $I-I$, необходимо произвести повѣрку сѣченія $II-II$ въ началѣ сѣченія $III-III$, соответствующаго началу реборда или концу втулки

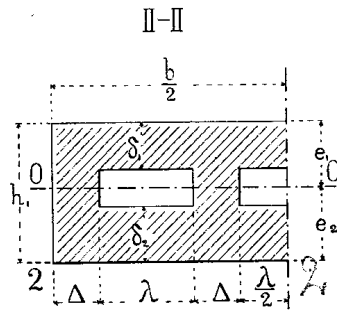
сѣченія $II-II$, представленнаго въ фиг. 68 и отстоящаго на расстоянии x_2 отъ шарнира. Наибольшій изгибающій моментъ для сѣченія $II-II$:

$$M_{II} = \frac{A}{a} \cdot \frac{x_2^2}{2}$$

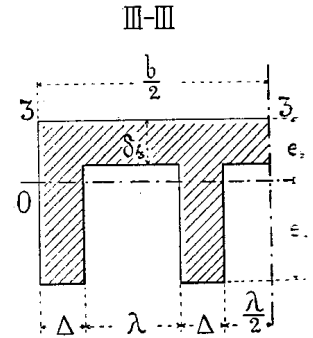
Въ виду несимметричности сѣченія $II-II$, необходимо сперва опредѣлить положеніе горизонтальной нейтральной оси $0-0$, т.е. ея разстояніе e_2 от дошвы 2-2, по формулѣ $e_2 = \frac{S_2}{\omega}$, гдѣ S_2 — статическій моментъ заштрихованнаго въ фиг. 68 сѣченія относительно подошвы 2-2, ω — площадь сѣченія, захованнаго въ фиг. 68.



Фиг. 67.



Фиг. 68.



Фиг. 69.

Моментъ инерціи сѣченія относительно нейтральной оси $0-0$ при обозначеніяхъ, принятыхъ въ фиг. 68:

$$J_0 = 2 \left[\frac{b}{3 \cdot 2} (e_1^3 + e_2^3) - \frac{1,5}{3} \cdot \lambda \left\{ (e_1 - \delta_1)^3 + (e_2 - \delta_2)^3 \right\} \right].$$

Наибольшее нормальное напряженіе при изгибѣ:

$$\text{для растянутого верхняго волокна: } n_1 = + \frac{M_{II} \cdot e_1}{J_0} < R'_n$$

$$\text{для сжатого нижняго волокна: } n_2 = - \frac{M_{II} \cdot e_2}{J_0} < R''_n.$$

R'_n и R''_n обозначаютъ допускаемыя напряженія для растянутыхъ и сжатыхъ волоконъ, указанныя въ таблицѣ 20 на стр. 41.

Повѣрка сѣченія $III-III$, представленнаго въ фиг. 69 и отстоящаго на x_3 отъ края балансира.

Наибольшій изгибающій моментъ для сѣченія $III-III$:

$$M_{III} = \frac{A}{a} \cdot \frac{x_3^2}{2}.$$

Въ виду несимметричности сѣченія $III-III$ необходимо опредѣлить положеніе горизонтальной нейтральной оси $0-0$, т.е. ея разстояніе e_3 отъ вершины 3-3 по формулѣ $e_3 = \frac{S_3}{\omega}$, гдѣ S_3 — статическій моментъ заштрихованнаго въ фиг. 69 сѣченія относительно вершины 3-3, ω — площадь заштрихованнаго въ фиг. 69 сѣченія.

Моментъ инерціи относительно нейтральной оси $0-0$ при обозначеніяхъ, принятыхъ въ фиг. 69:

$$J_0 = 2 \left[\frac{b}{3 \cdot 2} (e_3^3 + e_4^3) - \frac{1,5}{3} \cdot \lambda \left\{ (e_3 - \delta_3)^3 + e_4^3 \right\} \right].$$

Наибольшее нормальное напряженіе при изгибѣ:

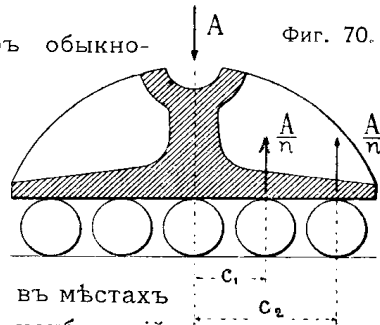
$$\text{для растянутого верхняго волокна: } n_3 = + \frac{M_{III} \cdot e_3}{J_0} < R'_n$$

$$\text{для сжатого нижняго волокна: } n_4 = - \frac{M_{III} \cdot e_4}{J_0} < R''_n.$$

еть нижняго балансира на изгибъ. На неподвижной опорѣ нижній лежитъ на подферменномъ камнѣ или на подушкѣ, и его расчетъ про- къ для верхняго балансира въ предположеніи, что опорное давленіе ля равномерно по подошвѣ балансира.

двигной опорѣ нижній балансиры обыкновенно

на цилиндрическихъ каткахъ, ось равлена параллельно шарниру. Пред- номъ рное распределеніе давленія катки и рассматривая каждую по- сира какъ брусъ, задѣланный однимъ оси шарнира и нагруженный нѣ- средоточенными грузами, приложенными въ мѣстахъ атковъ, имѣемъ, согласно фиг. 70, наибольшій

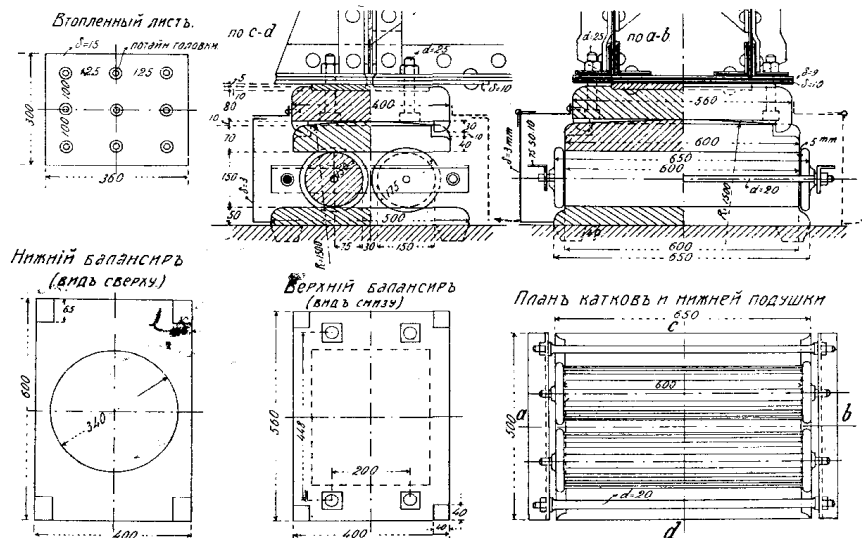


ментъ по оси шарнира: $M = \frac{A}{n} (c_1 + c_2 + \dots)$.

шаго запаса прочности иногда рассчитываютъ моментъ M въ томъ . что все давленіе передается только первому или послѣднему катку; случится только въ томъ случаѣ, если по ошибкѣ средніе катки вы- аго діаметра, чѣмъ остальные. При одинаковомъ діаметрѣ катковъ, ирь находится въ условіяхъ неразрѣзной балки переменнаго сѣ- йся на рядѣ упругихъ опоръ, и давленіе на крайніе катки всегда на средніе. Дальнѣйшій расчетъ нижняго балансира производится асно вышеприведенному расчету верхняго балансира.

§ 13. Балансиры съ шаровою головкою.

цилиндрическія головки балансировъ давленіе фермы передается поэтому рекомендуется замѣнять цилиндрическія головки ша-



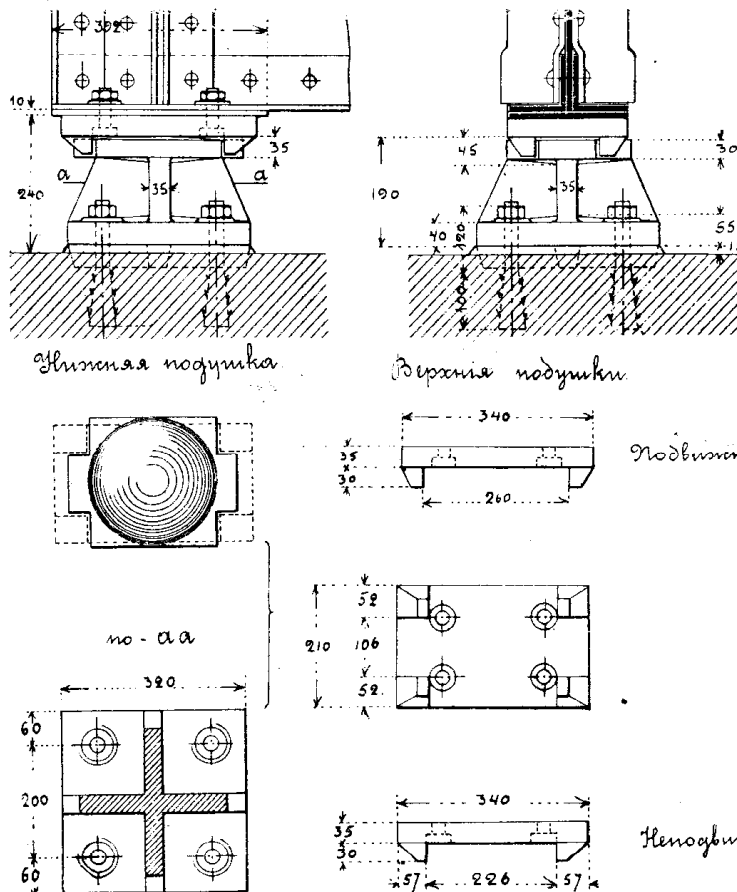
Фиг. 71. Проектъ консольнаго моста черезъ Куру въ Тифлисъ.

скую чашку, а иногда даже плоскую поверхность. При одинаковыхъ изны сферической чашки и выпуклости, происходитъ плотное не; при различныхъ радіусахъ кривизны касаніе—свободное.

Расчетъ шаровыхъ головокъ на смятіе производится при свободномъ ка по формуламъ Герца 9 или 6 на стр. 16, а при плотномъ касаніи — по форму на стр. 34. Допускаемая напряженія на смятіе назначаются согласно изложе въ § 8. Обработка обоихъ балансировъ на токарномъ станкѣ всегда во Закрѣпленіе балансировъ отъ сдвига требуется лишь въ тѣхъ случаяхъ. одинъ изъ балансировъ имѣетъ плоскую поверхность соприкасания.

Примѣры балансировъ съ шаровою головкою. I примѣръ (фиг. 71). Оба сира этой подвижной опоры устроены въ видѣ стальныхъ плитъ, причемъ балансиръ имѣетъ шаровую выпуклость, а верхній балансиръ устроенъ п и снизу по угламъ снабженъ 4-мя зубцами, для которыхъ въ углахъ балансира сдѣланы прямоугольныя гнѣзда. Ферма опирается на верхній ба при помощи втопленной плитки 300.360 мм. толщиной 15 мм.

II примѣръ (фиг. 72). Этотъ рациональный типъ примѣняется для ныхъ и неподвижныхъ опоръ малыхъ мостовъ. Нижній балансиръ отлива чугуна по одной модели для обѣихъ опоръ и устроенъ въ видѣ стула,



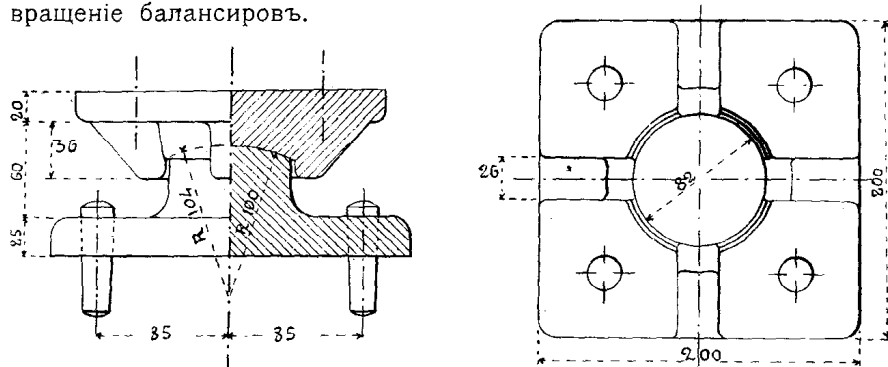
Фиг. 72. Типъ для путепроводовъ въ Дрезденѣ.

зубцами верхней подушки съ зазоромъ въ 6 мм., на случай расширенія речной конструкціи.

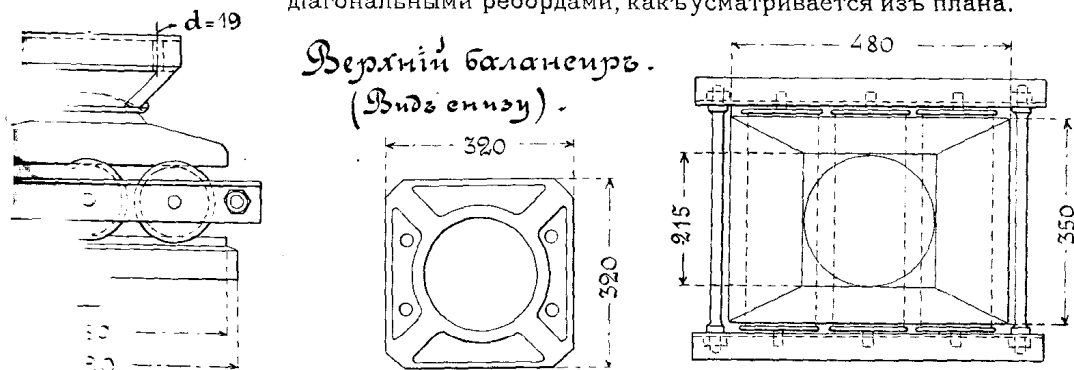
III примѣръ (фиг. 73). Нижній балансиръ этой неподвижной опоры пр вляетъ квадратную плиту съ шейкою, головка которой діаметромъ 80 мм.. чена по шару, радіусомъ 100 мм. Верхній балансиръ, показанный въ план. рѣзѣ и фасадѣ, представляетъ плиту съ шаровою чашкою, радіусомъ 104 снабженъ четырьмя приливами, устраняющими возможность относительнаго

плита котораго имѣ рическую выпуклост усомъ около 1600 м ній балансиръ состоит плоской стальной снабженной снизу чет зубцами по угламъ Вдоль фермы, разстоян свѣту между этими ми = 226 мм. на вижной опорѣ и = 26 на подвижной опорѣ. 4-мя зубцами помѣш квадратная головка няго балансира, размѣ 220 × 220 мм., такъ чт вижная опора может ремѣщаться на 260 — = 40 мм. Во избѣжані перечнаго сдвига, го нижняго балансира жена по оси фермы боковыми приливами ною 100 мм., которь мѣщаются между угла

Разница въ 4 мм. между радиусами чашки и выпуклости облегчаетъ ее вращеніе балансировъ.



Ѣрь (фиг. 74). Подвижная опора фермъ пролетомъ 17 м. Квадрат-балансиръ снабженъ сферическою чашкою, укрѣпленною четырьмя діагональными ребордами, какъ усматривается изъ плана.



Верхній балансиръ.
(Видъ сверху).

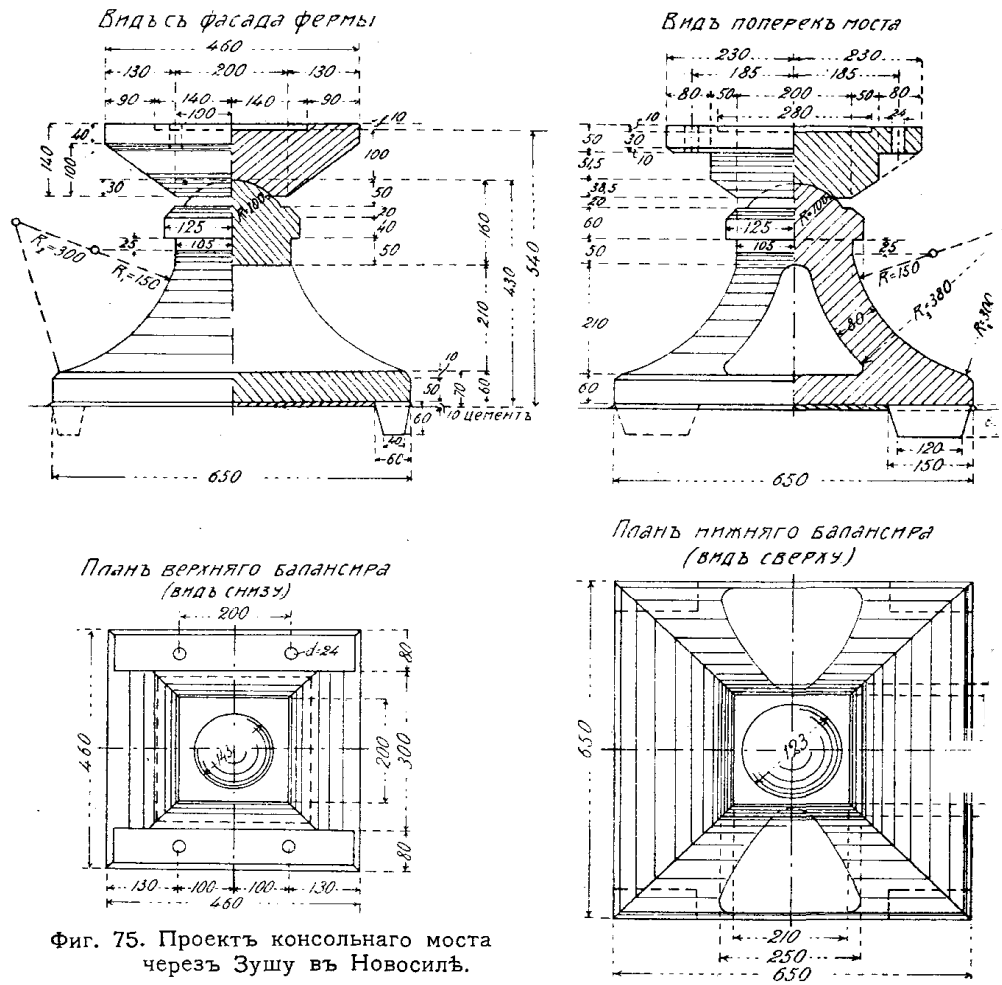
ные мосты черезъ Кубань на 234 и 364 вер. главн. линіи Владикавказской ж. д. нижній балансиръ имѣетъ выпуклую шаровую головку съ меньшимъ радиусомъ, чѣмъ чашка верхняго балансира.

(фиг. 75). Массивный верхній балансиръ имѣетъ сверху прямоуг. отверстие для втoпленной плитки, а снизу сферическую чашку радиусомъ 100 мм. Лонныхъ бокахъ верхняго балансира сдѣланы вдоль фермъ двѣ поперечныя сѣченія, съ цѣлю образовать горизонтальныя площадки для опирающихся балансиръ съ фермою. Нижній балансиръ имѣетъ ферму согнутыми боками, причеиъ внутри, по направленію вдоль фермъ, выемка треугольнаго сѣченія. Сферическая головка имѣетъ радиусъ 100 мм. Нижняя плита балансира снабжена по угламъ приливами, втoплен-

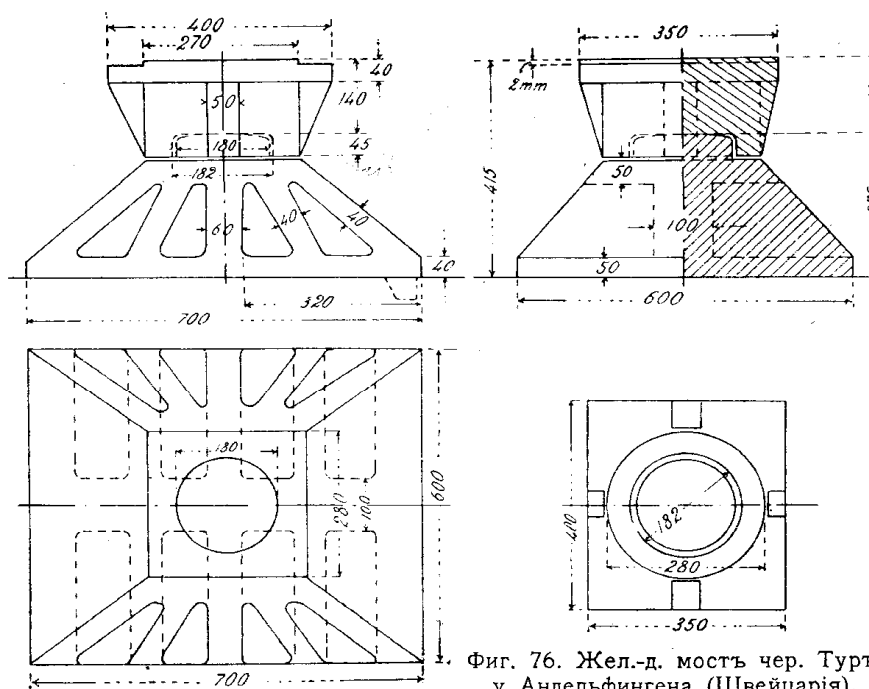
(фиг. 76). Оба балансира этой неподвижной опоры устроены такъ, что касаніе между ними—свободное. Верхній балансиръ состоитъ изъ шарика діам. 280 мм., который снизу имѣетъ цилиндрическое гнѣздо съ плоскимъ дномъ. Въ это гнѣздо входитъ головка нижняго балансира съ шаровую поверхность соприкасанія. Нижній балансиръ состоитъ изъ двухъ плитъ, верхней и нижней, которыя связаны между собою вертикальною стержнемъ толщиной 100 мм., направленною вдоль фермъ, и пятью радиальными ребордами, изъ коихъ средняя стоитъ вертикально.

(фиг. 77.). Эта неподвижная опора, спроектированная германскою фирмою „Narkort“, уже неоднократно примѣнялась для большихъ мостовъ и представляетъ массивную опору съ шаровою головкою.

плиту, толщиною 200 мм., изъ литой стали, снабженную снизу плоскою с



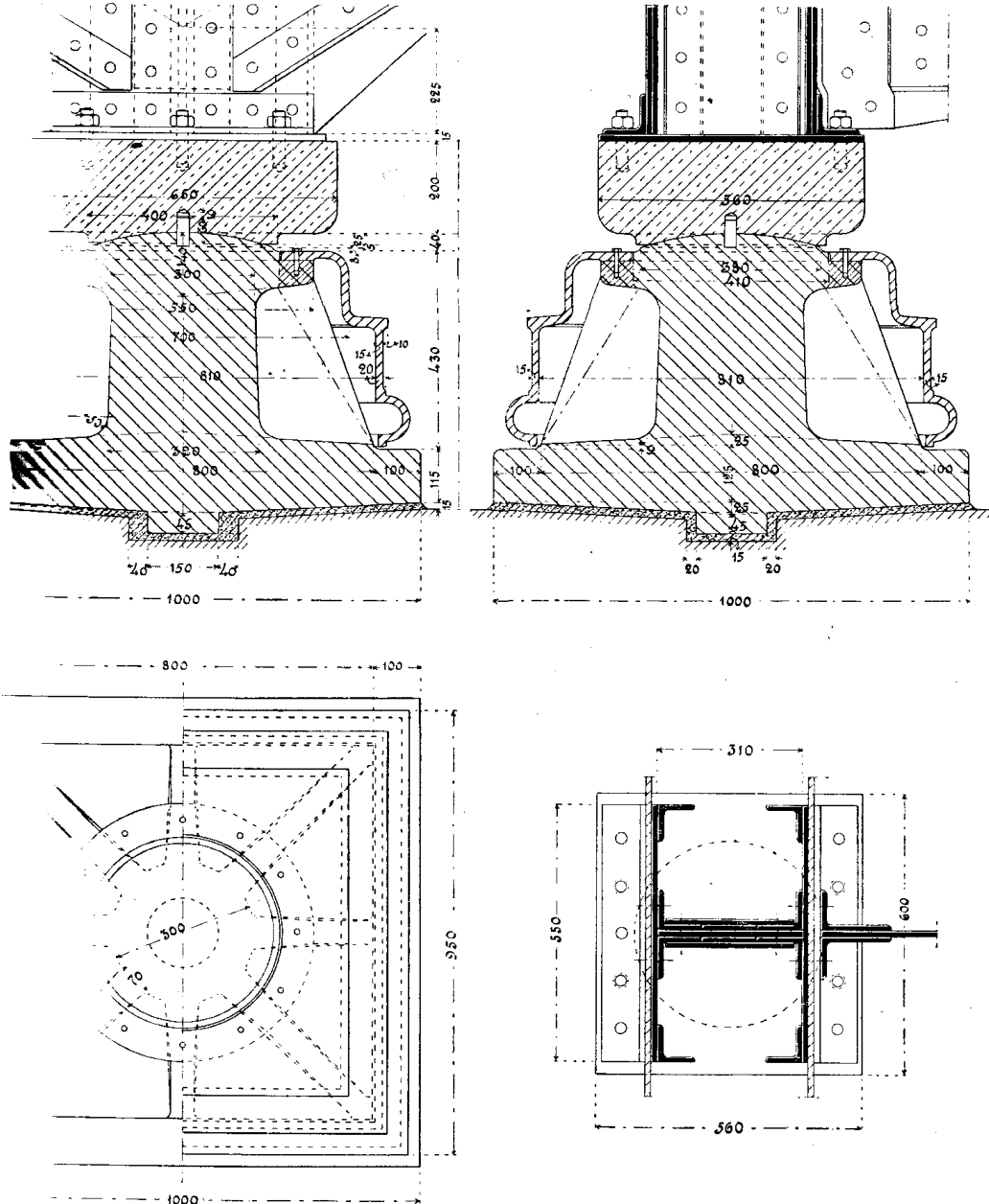
Фиг. 75. Проектъ консольнаго моста черезъ Зушу въ Новосилѣ.



Фиг. 76. Жел.-д. мостъ чер. Туръ у Андельфингена (Швейцарія).

скою чашею радиусомъ около 700 мм. ній чугуныя балансиры изъ прямоугольной плиты и сферическою, подмой 8-ю мм ребромъ саніе между сирами плоскості центръ имѣется пленный в балансира. тическимъ жениямъ

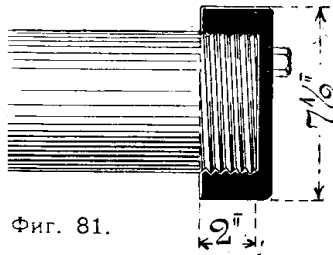
ключень въ чугунный футляръ, который обработанъ такъ, чтобы опора имѣла совершенно одинаковый видъ съ подвижною опорою (стр. 97).



Стр. 97. Опора шаровой головки через Гавель у Шпандау. Zft. f. Bauw. 1904. Соответственная подвижная опора помещена на стр. 97.

Опора (фиг. 78). Эта подвижная опора, несущая большое давление, имеет громадными размѣрами массивныхъ балансировъ, изъ которыхъ нижній балансиръ несетъ шаровую головку (радіусъ 1800 мм.), а верхній балансиръ — шаровую головку (радіусъ 2000 мм.). Интересна также форма нижней плиты, подошва которой имеетъ вогнутую поверхность усѣченной пирамиды, чѣмъ достигается лучшее сцепленіе плиты на подферменникѣ; но укладка такой плиты обходится такъ, какъ приходится притирать ее къ подферменнику. Радиусъ нижней плиты нижняго балансира очень велика, то восьми радіальныхъ реберъ

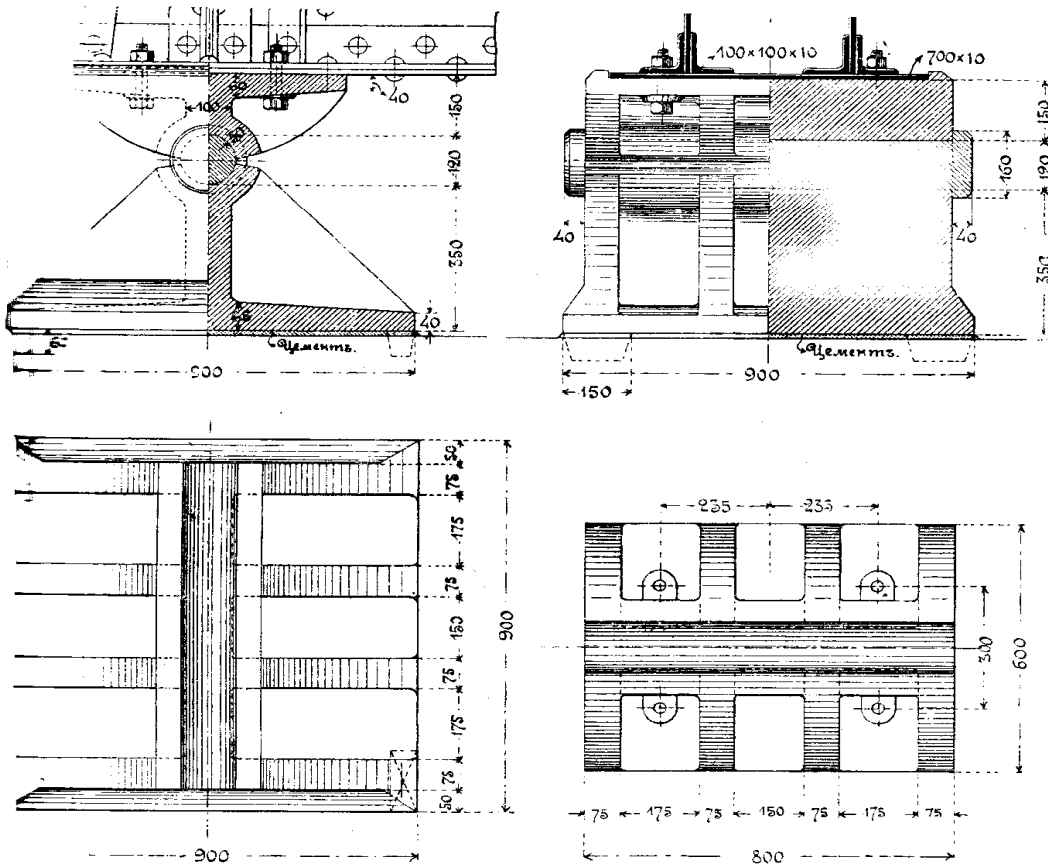
ь плотное касаніе. Цилиндрическія цапфы со свободнымъ касаніемъ очень рѣдко. Діаметръ цапфъ колеблется отъ 100 до 250 мм. Торцы звенно снабжаются кольцеобразною ребордою, наружный діаметръ до 50 мм. больше діаметра цапфы, а толщина 20 до 40 мм. (вдоль этими ребордами и стѣнками балансирныхъ головокъ слѣдуетъ оръ по 3 мм. на случай расширенія опорной поперечной балки отъ ты. Обыкновенно цапфу проковываютъ согласно наружному діаметру в чего стачиваютъ слой, соответствующій высотѣ ребордъ. Чтобы карную работу, иногда изготовляютъ цапфу безъ ребордъ, снабжаютъ ъзкою и навинчиваютъ на нихъ шапки, замѣняющія реборды (фиг. ъжаніе развинчиванія, закрѣпляютъ шапку винтомъ діам. около



Фиг. 81.

15 мм. и длиною около 50 мм., пропущеннымъ въ торець цапфы. Иногда боковыя реборды цапфы замѣняются круглыми желѣзными накладками, которыя привинчиваются къ торцамъ цапфы (фиг. 61 и 62). Расчетъ плотныхъ цилиндрическихъ цапфъ на смятіе можно производить по формулѣ № 32 на стр. 32, названное напряженіе согласно таблицѣ 20 на стр. 41.

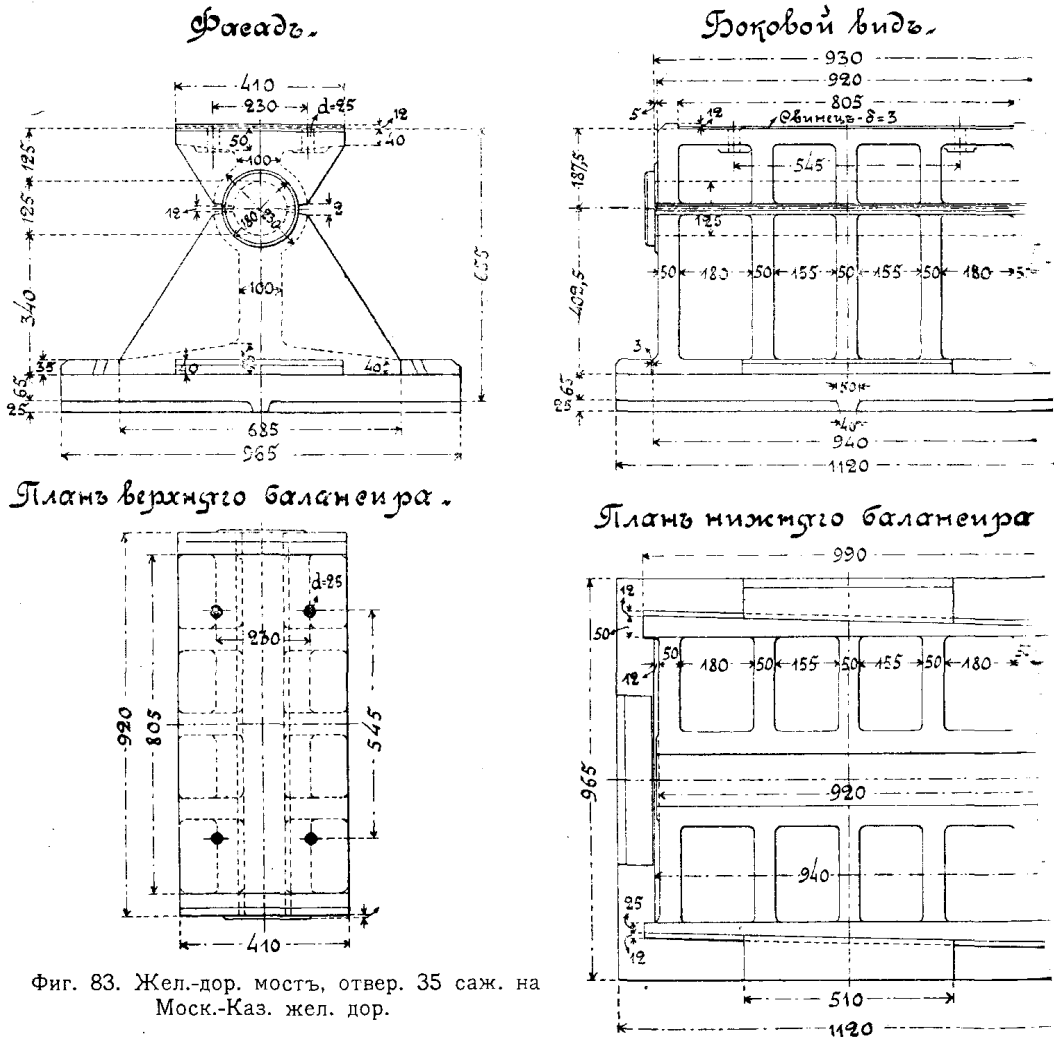
балансировъ съ цилиндрическими цапфами. I примѣръ (фиг. 82). Непора изъ стали, передающая давленіе въ 110 тон. Оба балансира реимѣютъ на своихъ головкахъ гнѣзда для плотной цилиндрической 880 мм. и діаметромъ 120 мм., снабженной глухими торцевыми ре-



мостъ чер. Обшу въ Бѣломъ. Соответств. подвиж. опора помѣщена на стр. 94.

бордами. Каждый балансиръ состоитъ изъ шейки и трехъ продольныхъ ребръ. Закрѣпленіе нижняго балансира на камнѣ устроено помощью двухъ небольшихъ приливовъ, расположенныхъ въ противоположныхъ углахъ и втопленныхъ въ

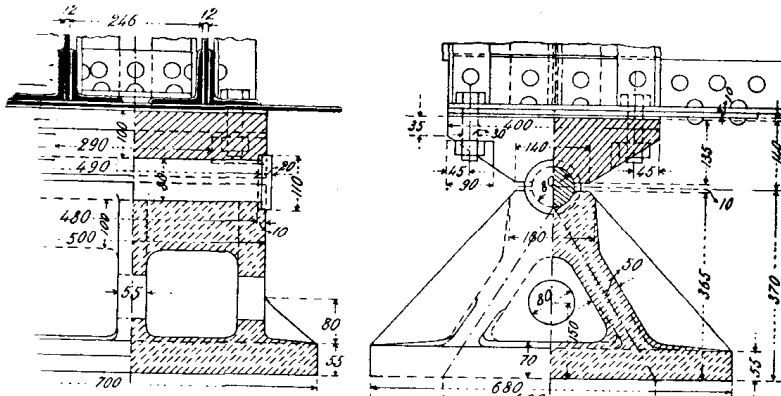
II примѣръ (фиг. 83). Неподвижная стальная опора желѣзнодорожнаго отверстіемъ 35 саж. Цилиндрическая цапфа, діаметромъ 125 мм., имѣетъ цамъ глухія реборды и плотно притерта въ гнѣздахъ балансирныхъ головокъ. Удобства установки, нижній балансиръ покоится на плитѣ и укрѣпляется (см. § 17). Крестообразные приливы, которыми снабжена подошва нижней



нераціональны. Обращаемъ вниманіе на удачную форму верхняго балансира на его небольшую длину вдоль фермъ (410 мм.), вслѣдствіе чего изгибаментъ, по которому рассчитывается высота балансира, имѣетъ небольшую часть (см. стр. 60).

III примѣръ (фиг. 84). Верхній балансиръ этой неподвижной опоры имеетъ трапециoidalнаго сѣченія. Снизу въ немъ имѣется 4 гнѣзда треугольнаго для помѣщенія болтовъ, прикрѣпляющихъ балансиръ къ фермѣ. Шарниръ въ видѣ плотной цилиндрической цапфы діам. 80 мм. съ ребордами на Конструкція ребристаго нижняго балансира отличается отъ предыдущихъ тѣмъ, что вмѣсто одной вертикальной стѣнки (поперекъ фермъ), двѣ наклонныхъ стѣнки. Вдоль фермъ имѣется три вертикальныхъ ребор

къ также между наклонными стѣнками; тамъ образуется два пустыхъ про-

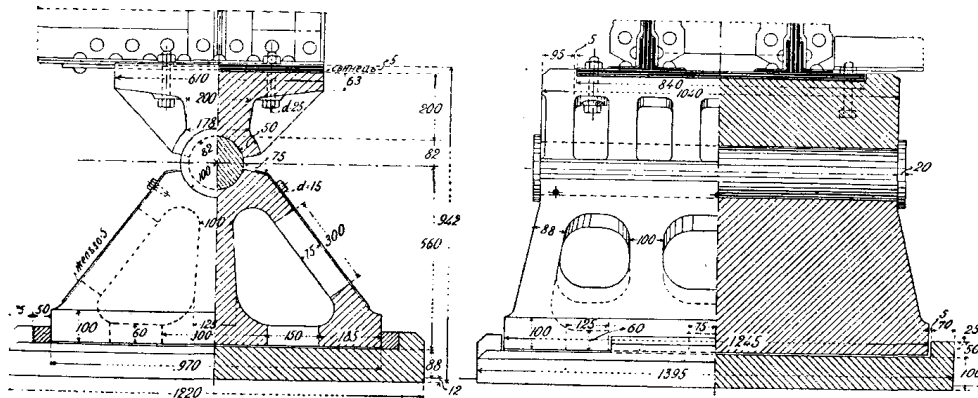


Фиг. 84. Шоссейный мостъ черезъ Иннь у Пруца.

странства, въ ко-
торыя при отлив-
кѣ закладываютъ
глиняныя шиш-
ки; для удаленія
последнихъ послѣ
отливки, въ
ребордахъ сдѣла-
но три круглыхъ
дыры.

IV примѣръ
(фиг. 85). Ребри-
стый верхній ба-

трикрѣпленъ къ фермѣ при помощи двухъ продольныхъ закрайныхъ и 4-хъ Шарниръ устроенъ въ видѣ цилиндрической цапфы діам. 164 мм. съ



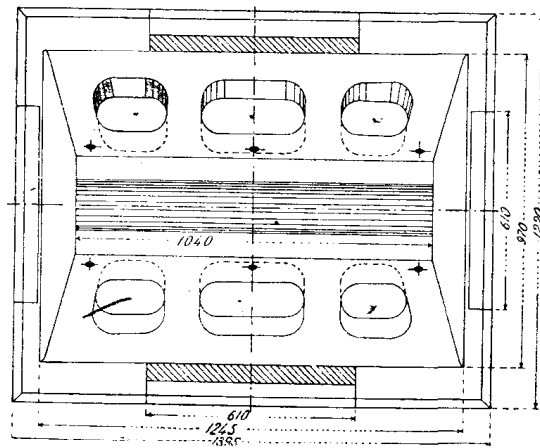
Фиг. 85. Мостъ Николаев. ж. д. черезъ Обводной каналъ въ Петербургѣ.

на торцахъ, заключенной
хъ балансирныхъ головокъ.

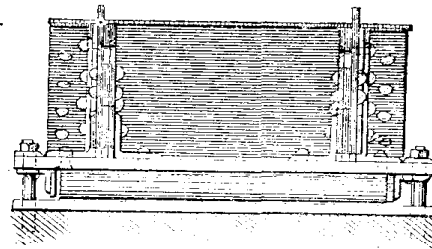
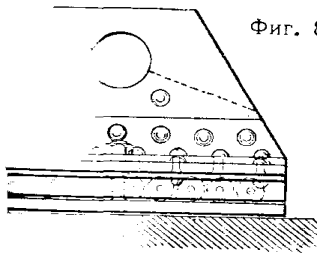
нижній балансиръ соста-
плиты, двухъ наклонныхъ
доль фермъ и трехъ попе-
гѣнокъ, изъ которыхъ сред-
ложена вертикально, а бо-
клонно. Между стѣнками имѣ-
пустоты, въ которыя при
кладываютъ глиняныя шишки;

удаленія послѣ отливки, сдѣлано шесть круглыхъ дыръ въ подошвѣ
и по три дыры въ наклонныхъ поперечныхъ стѣнкахъ. Нижній балан-
енъ на отдѣльной плитѣ и укрѣпленъ на ней двумя клиньями.

имѣрь (фиг. 86). Эта неподвижная опора имѣетъ наклонный верхній ба-
трикрѣпленный къ криволинейному нижнему поясу фермы моста съ
верху. Вслѣдствіе наклоннаго положенія балансира, упрощается кон-
порнаго узла фермы. Если поясъ фермы имѣетъ небольшой уклонъ,

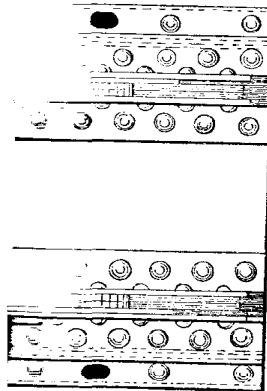


сирѣ имѣетъ, кромѣ двухъ наружныхъ вертикальныхъ стѣнокъ, еще

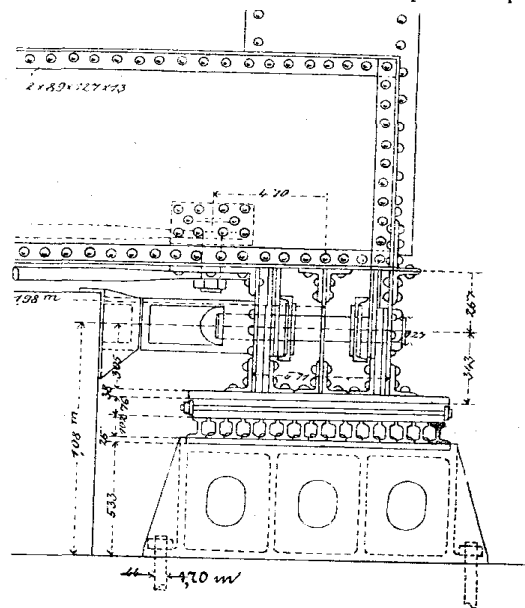
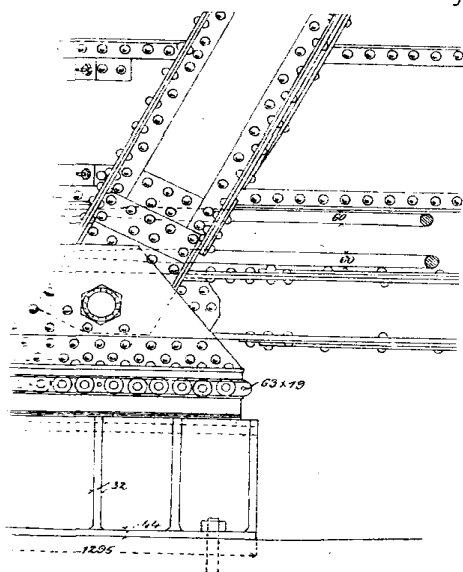


среднюю. На эти стѣнки непосредственно положена опорная поперечная балка. Катки опираются на сплошную настиль изъ рельсовъ, уложенныхъ на высококомъ

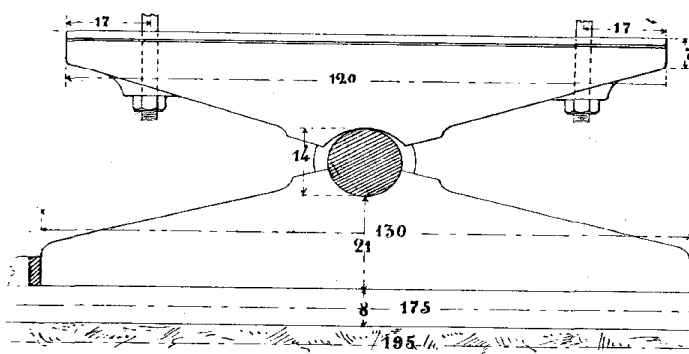
чугунномъ стулѣ.



IX примѣръ (фиг. 90). Это одинъ изъ рѣдкихъ случаевъ, когда имѣется свободное касаніе между цилиндрическою цапфою и верхнимъ балансиромъ, головка котораго выточена по цилиндрической поверхности съ большимъ радиусомъ кривизны, чѣмъ цапфа. Поэтому верхній балансиръ можетъ качаться по цапфѣ. Въ нижнемъ балансирѣ цапфа задѣлана вполнѣ плотно, и ея торцы снабжены ребордами для удержанія балансировъ отъ бокового сдвига. Чтобы облегчить установку опоры, нижній балансиръ закрѣ-



Фиг. 89. Мостъ Бисмарка черезъ Миссури. North Pacific R. R.



пленъ на плоской подушкѣ при помощи пары клиньевъ, расположенныхъ съ правой стороны.

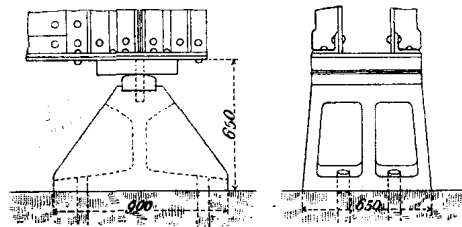
Фиг. 90. Ж.-д. мостъ чер. Эльбу въ Теченѣ.

§ 15. Балансиры съ призматическими цапфами.

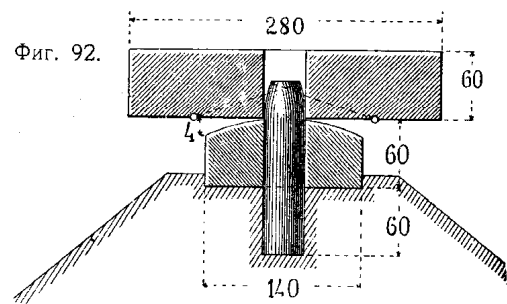
Призматическая цапфа представляет стальной брусок, подошва и которого плоские, между тѣмъ какъ верхняя сторона обработана по выпуклой цилиндрической поверхности, на которую опирается верхній балансиръ (фиг. Касаніе цапфы съ верхнимъ балансиромъ бываетъ почти всегда свободно съ нижнимъ балансиромъ—плотное. Плотное касаніе цапфы съ верхнимъ балансиромъ встрѣчается очень рѣдко.

Ширина цапфы (вдоль фермы). Перемѣщеніе точки приложенія опор реакціи, или точки касанія шарнира, при прогибѣ фермы равно $r \cdot \operatorname{tg} \alpha$ (фиг. если r — радиусъ шарнира, а α — уголъ наклоненія изогнутой оси фермы опорѣ, рассчитываемый по формулѣ на стр. 3. Для однопутныхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ, пролетомъ отъ 30 до 150 м., перемѣщеніе $r \cdot \operatorname{tg} \alpha$ составляетъ то 0,5 до 1 мм., такъ что при назначеніи ширины цапфы можно руководствоваться только конструктивными соображеніями. Расчетъ цапфъ на смятіе можно изводить по формуламъ Герца (см. § 5), назначая допускаемыя напряжения гласно таблицѣ 20 на стр. 41. Призматическія цапфы примѣняются не только для малыхъ, но и для большихъ опоръ съ давленіемъ въ 1000 тон. и б (конс. мостъ черезъ Неккаръ въ Маннгеймѣ, см. фиг. 910 на стр. 328 I тома

Примѣры опоръ съ призматическими цапфами. I примѣръ (фиг. 91). Верхній балансиръ этой неподвижной опоры представляетъ плоскую плиту, которая опирается на стальную призматическую цапфу, задѣланную въ головкѣ чугуна нижняго балансира ребристаго типа. Отъ перемѣщенія вдоль фермы цапфа удерживается тѣмъ, что она втѣплена въ головку нижняго балансира. Кромѣ того, цапфа вмѣстѣ съ верхнимъ балансиромъ удерживается на мѣстѣ двумя вертикальными шипами діам. 40 мм., которые пропущены черезъ цапфу и нижнимъ концомъ



Фиг. 91. Мостъ чер. Дунай въ Маріаортѣ.
Соотвѣтственная подвижная опора
помѣщена на стр. 93. фиг. 119.

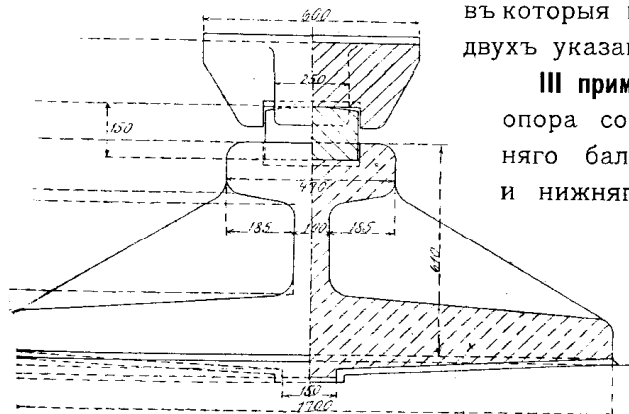


Фиг. 92.

вдѣланы въ нижнемъ балансирѣ (фиг. 92). Выступающій надъ цапфою верхній конецъ шиповъ немного обточенъ, чтобы не препятствовать качанію верхняго балансира. Небольшое неудобство такихъ шиповъ заключается въ томъ, что при установкѣ фермы на опоры нельзя убѣдиться въ томъ, поставлены ли шипы на мѣсто или ихъ забыли.

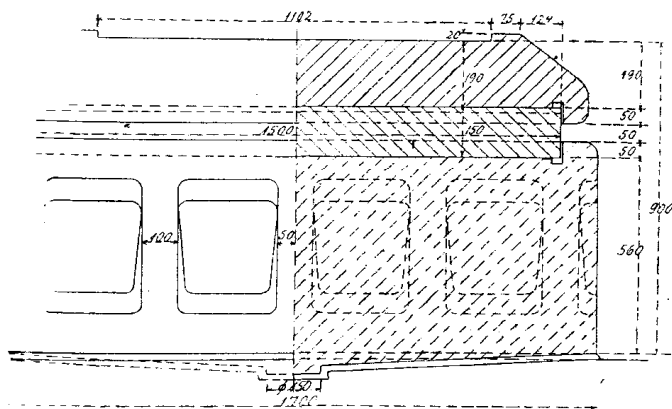
II примѣръ (фиг. 93). Эта неподвижная опора новѣйшей конструкціи состоитъ изъ очень компактнаго верхняго балансира съ плоскою головкою, изъ призматической цапфы съ выпуклою головкою и изъ ребристаго нижняго балансира меньшихъ размѣровъ. Этотъ балансиръ отлить изъ чугуна, а остальные части литой стали. Отъ перемѣщенія, какъ вдоль, такъ и въ поперекъ моста, цапфа удерживается тѣмъ, что она со всѣхъ 4-хъ сторонъ втѣплена въ головку нижняго балансира. Прямоугольная гнѣзда для цапфы, имѣющіяся въ головкахъ нижнихъ балансировъ, закрыты закрайнами со всѣхъ 4-хъ сторонъ; чтобы можно

тъ дно этихъ гнѣздъ, надъ торцами цапфы сдѣланы небольшія выемки, въ которыя проходитъ рѣзецъ при строганіи двухъ указанныхъ плоскостей.

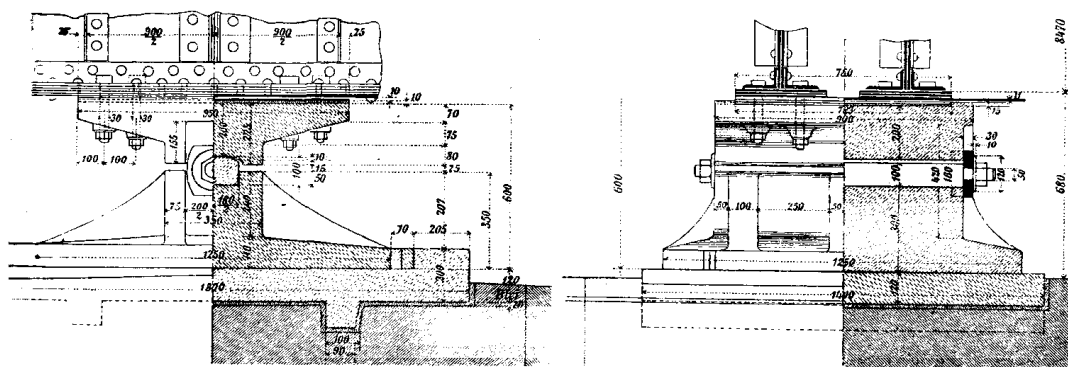


III примѣръ (фиг. 94). Эта неподвижная опора составлена изъ массивнаго верхняго балансира, призматической цапфы и нижняго ребристаго балансира, установленнаго на отдѣльной плитѣ при помощи клиньевъ.

Касаніе цапфы съ верхнимъ балансиромъ свободное, такъ какъ гнѣздо балансира обработано по цилиндрической поверхности съ бѣльшимъ радиусомъ кривизны, чѣмъ выпуклая головка цапфы. Цапфа втѣплена въ головку нижняго балансира и этимъ удерживается отъ движенія вдоль фермъ. Поперечный сдвигъ верхняго балансира по цапфѣ и самой цапфы по нижнему балансиру предупреждается двумя желѣзными плитками толщиной 30 мм., привинченными къ торцамъ цапфы.



93. Жел.-дор. мостъ черезъ Вислу въ Мюнстервальде. Соствѣт. подвижная опора помѣщена на стр. 100.



Жел.-дор. мостъ черезъ Молдаву у Червена (см. фиг. 856 на стр. 314 I тома).

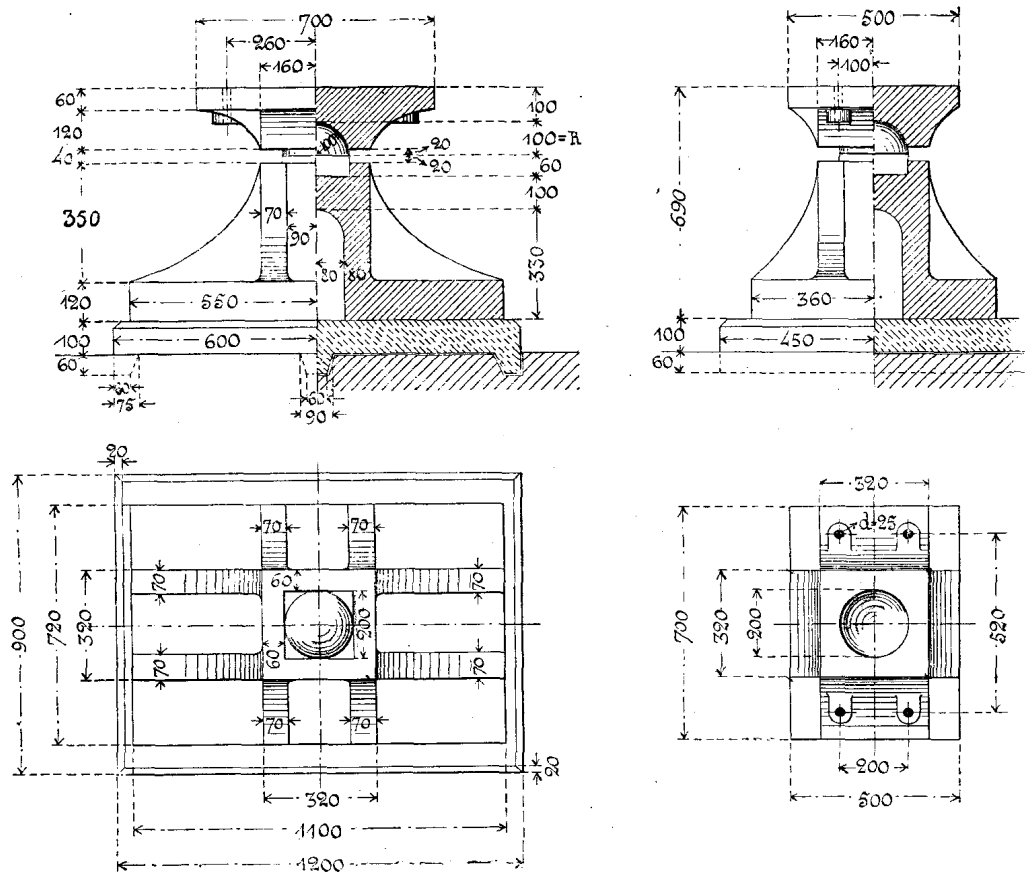
§ 16. Балансиры со сферическими цапфами.

рѣдкихъ случаяхъ сферическая цапфа представляетъ полный шаръ; чаще исполняется въ видѣ отрѣзка призмы или цилиндра со сферическою Касаніе цапфы съ балансиромъ бываетъ чаще всего плотное. Расчетъ сферическихъ цапфъ на смятіе можно производить по формуламъ 40

или 41 на стр. 34, назначая допускаемые напряжения согласно таблицъ 2 стр. 41. Передъ цилиндрическими и призматическими цапфами, работающимъ равномерно, сферическія цапфы имѣютъ то преимущество, что онѣ обеспечиваютъ центральность передачи давленія на опору.

Примѣры опоръ со сферическими цапфами. I примѣръ. Въ фиг. 160, представляющей подвижную опору купола надъ зданіемъ германскаго рейхстага въ Берлинѣ, цапфа исполнена въ видѣ стального шара, діаметромъ 170 мм., заключенна въ сферическія чашки балансировъ.

II примѣръ (фиг. 95). Эта неподвижная опора состоитъ изъ массивнаго чугуна, изъ цапфы въ видѣ полушарія и изъ ребристаго нижняго балансира, установленнаго на чугунной плитѣ. Стальной нижній балансиръ представляетъ плиту, по срединѣ которой поставлена квадратная полая колонка, поддерживаемая четырьмя парами ребордъ и имѣетъ наверху квадратное

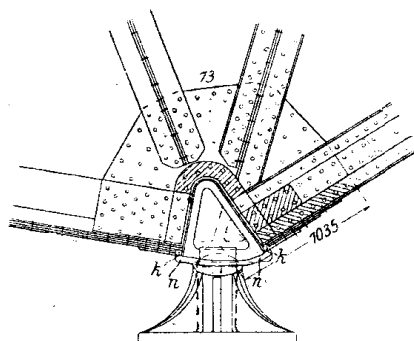


Фиг. 95. Мостъ прол. 61 м. чер. р. Лайбахъ у Лайбаха, на ж. д. Вѣна Триестъ.

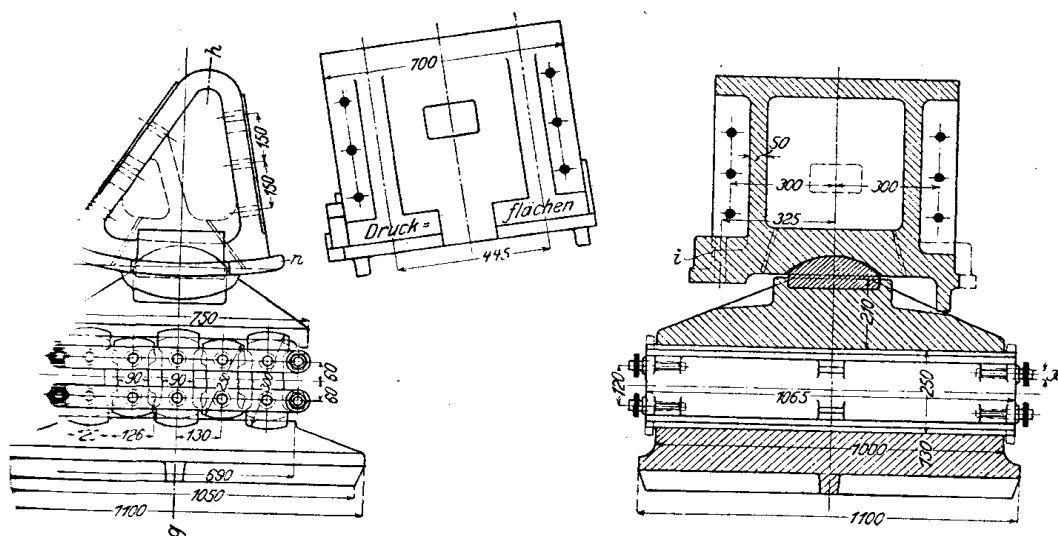
въ которое вставлена стальная цапфа съ полушаровою головкою, радиусомъ мм.; основаніе цапфы имѣетъ квадратное сѣченіе 200.200 мм. Верхній стальной балансиръ снабженъ полушаровымъ гнѣздомъ для цапфы. Полушаровая была примѣнена въ виду постройки моста на очень слабомъ грунтѣ, рассчитана на то, чтобы при ожидаемыхъ осадкахъ устоевъ не нарушилась центральность передачи давленія на составныя части опоръ, какъ катки и проч.

III примѣръ (фиг. 96 и 97). При постройкѣ этого моста пришлось считать ограниченною строительною высотой. Чтобы сохранить какъ можно боль

, пришлось ограничить высоту опорных частей; это достигнуто тем, что верхний балансир помещен в выемку, узловых накладках опорного узла (фиг. 96), вследствие этого на балансир не требуется большой строительной высоты. Верхний балансир стали иметь форму полого клина, в основании которого непосредственно упираются торцы нижнего пояса фермы с прокладкой листов. Верхний балансир имеет шарнирное гнездо и опирается на шаровую головку нижней ступени, закрепленную в головке нижней балансира.

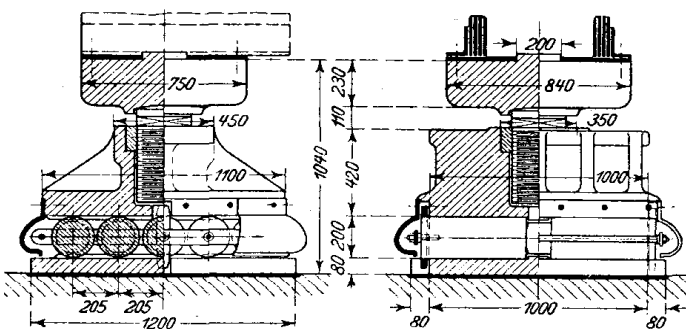


Фиг. 96.



Шоссейный мост Тресковъ черезъ Шпре въ Обершеневейдъ у Берлина.

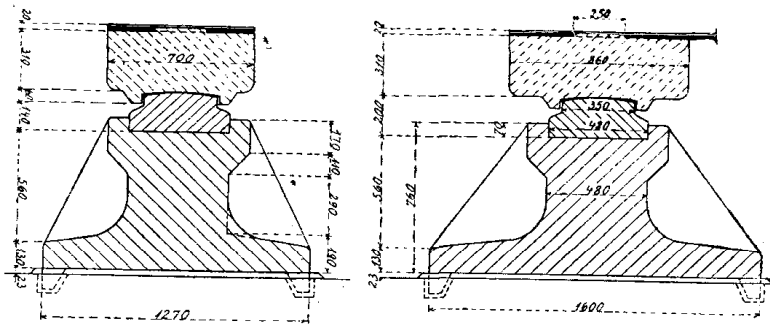
шарнирный (фиг. 98). Особенность этой подвижной опоры заключается в том, что ферма на первой высоте. Это достигнуто тем, что стержень сферической цапфы снабжен винтовой головкой; вращая цапфу, можно опустить ферму на 200 мм.



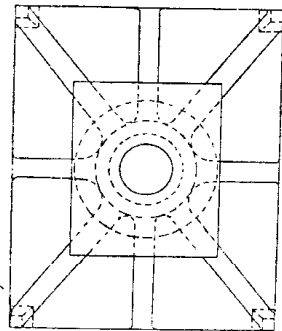
Фиг. 98. Конкурсный проект моста через Рейнъ въ Рурортъ.

шарнирный (фиг. 99). В неподвижной опоре массивный верхний балансир из литой стали, сферическая цапфа из ковальной стали и ребристый балансир из чугуна. Верхний балансир прикреплен к ферме при помощи выступа диаметра 250 мм., пропущенного в соответствующий выемка листа. Снизу балансир имеет гнездо, выточено по шаровой головке большего радиуса, чем головка цапфы, вследствие чего касание между ними является точечным. Цапфа заделана в головку нижнего балансира, который

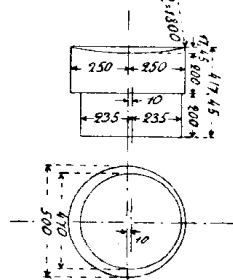
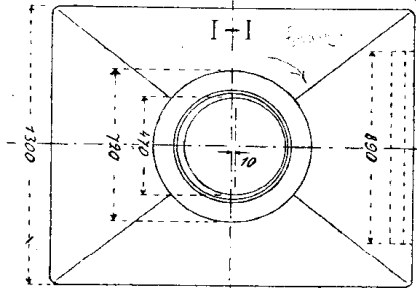
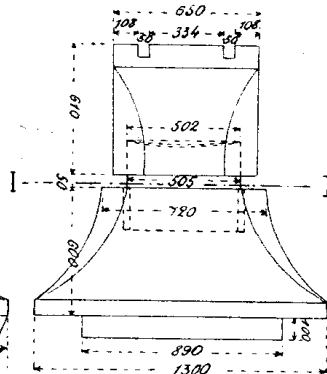
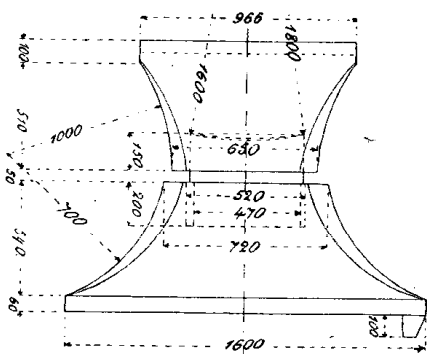
закрѣпленъ на подферменникѣ при помощи 4-хъ приливовъ, расположенныхъ



Фиг. 99. Новый жел.-дор. мостъ черезъ Рейнъ въ Кельнѣ.



и входитъ въ гнѣздо верхняго балансира съ выпуклымъ дномъ, въ видѣ



Фиг. 100. Арочный мостъ Карола черезъ Эльбу въ Дрезденѣ.

мм.), производящія которыхъ образуютъ между собою прямой уголъ. При фермы, верхній балансиръ вращается по верхней выпуклости шарнира. прогибъ опорной поперечной балки, или перекашиваніи фермы отъ инчины, происходитъ вращеніе нижней выпуклости шарнира по нижнему сиру. Эта сравнительно сложная цапфа не имѣетъ особыхъ преимуществъ. довало бы отдать предпочтеніе шаровой цапфѣ.

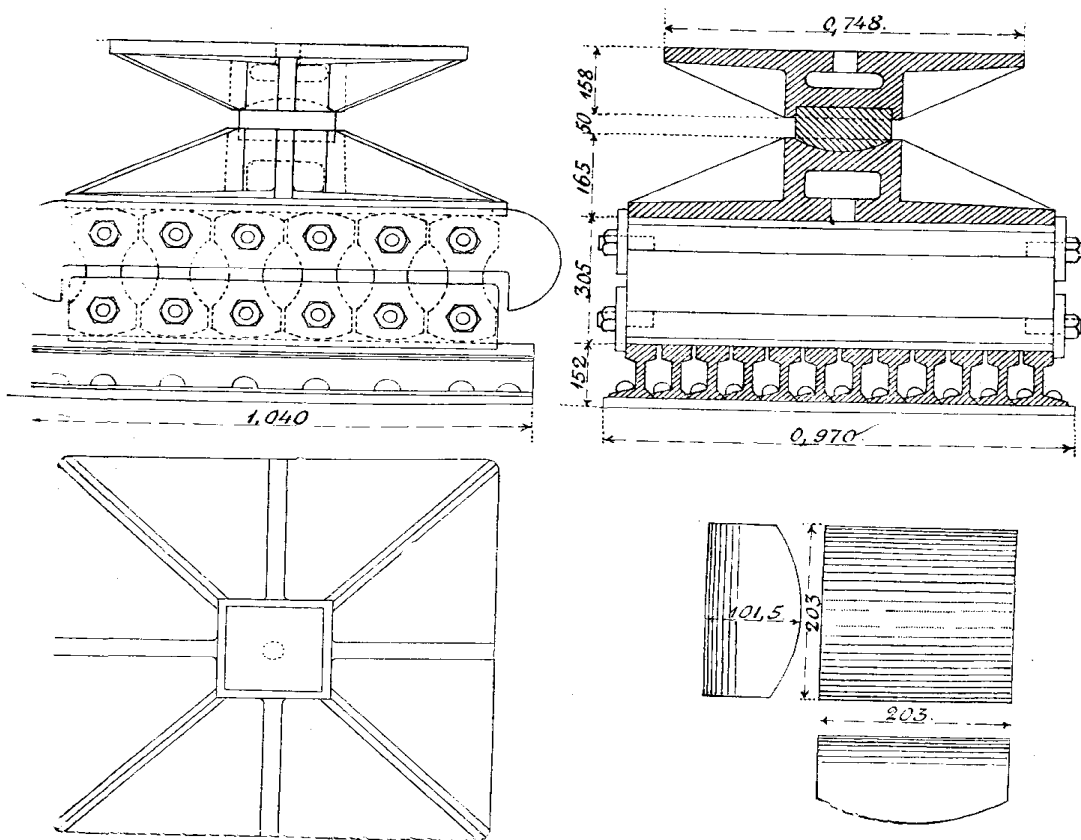
ламъ плиты и ныхъ въ камень.

VI примѣръ 100). Эта неподвижная опора, состоящая изъ двухъ массивныхъ цилиндровъ и сферической цапфы отличается отъ другихъ в томъ, что во время усадки фермы на опоры цапфа можетъ быть передвинута вверхъ.

Балансиры балансира относительно нижняго в горизонтальной плоскости. Это достигается вращеніемъ цапфы, которая образована изъ двухъ коническихъ цилиндровъ, расположенныхъ одинъ надъ другимъ, причемъ діаметръ верхняго — 500 мм., а нижняго — 470 мм., вѣнцентренность — Нижній цилиндръ входитъ въ гнѣздо нижняго цилиндра балансира съ плоскимъ дномъ. Верхній цилиндръ имеетъ головку въ видѣ сферической чашки радиусомъ

и входитъ въ гнѣздо верхняго балансира съ выпуклымъ дномъ, въ видѣ сферической чашки радиусомъ такъ что происходитъ точечное касаніе съ шаромъ. При расчетѣ шарнира предположено, что давление опоры въ шарнирѣ распределяется на сферическую поверхность діаметромъ около 1718 к. см.² вызывая напряженіе

VII примѣръ (с. 100). Эта подвижная опора американской конструкции считается оригинальной. Она представляетъ стальную плиту сферическаго сѣченія (диаметромъ 500 мм.), снабженную снизу цилиндрическими цапфами (радиусомъ

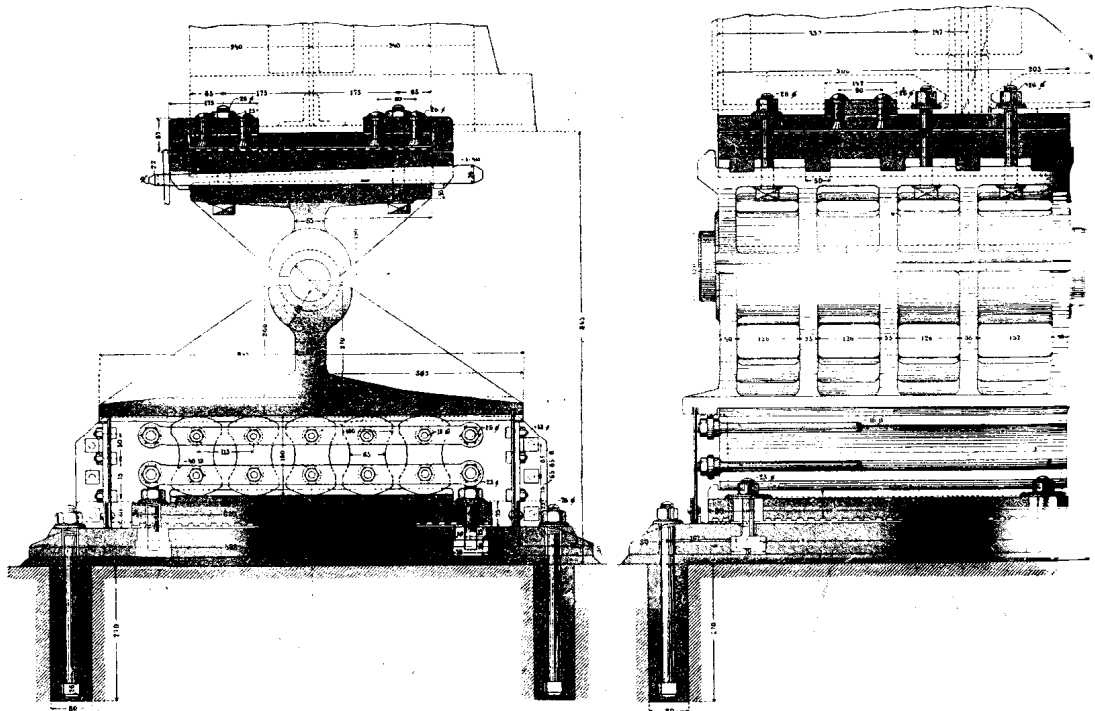


Фиг. 101. Двухпутный мостъ, прол. 64 м., чер. Миссиссиппи у Альтоны.

§ 17. Точная установка балансировъ помощью клиньевъ.

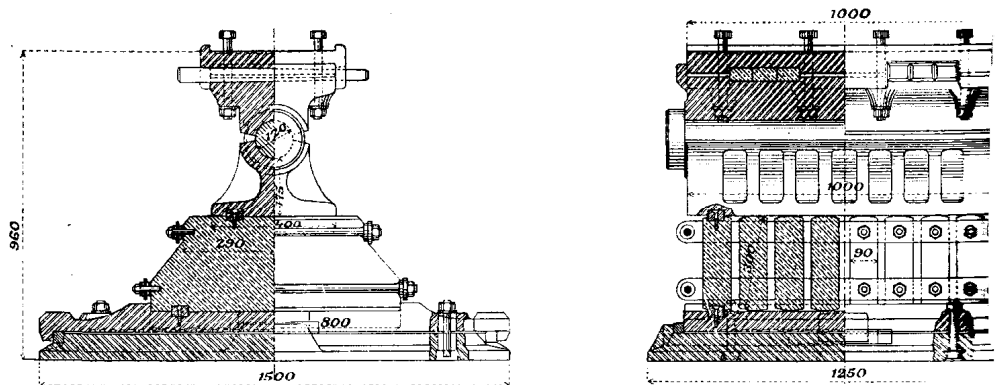
При установкѣ опорныхъ частей часто наблюдается перекашивание фермы днѣ горизонтальное положеніе ея опорной площадки. При опусканіи верх-ансира, прикрѣпленнаго къ фермѣ, на цилиндрическую цапфу опоры, да-едается вдоль цапфы неравномѣрно. Это явленіе можно устранить, если балансиру дать возможность нѣкотораго вращенія относительно про-оси фермы. 2) При опусканіи фермы на опоры наблюдается несовпаденіе верхняго и нижняго балансировъ; чтобы устранить это явленіе, жела-озможность передвижки нижняго балансира относительно верхняго. 3) При-ныхъ фермахъ, опорная реакція и изгибающій моментъ которыхъ въ-ной степени зависятъ отъ уровня опорныхъ точекъ, можетъ потребо-чная установка опоръ на расчетную высоту, т. е., поднятіе или опуска-ныхъ частей. При разрѣзныхъ фермахъ такія приспособленія излишни, малая неточность въ уровнѣ опоръ почти не оказываетъ вліянія на-ермы, особенно въ случаѣ устройства опоръ шарнирными. Для удовле-тремъ вышеуказаннымъ требованіямъ наиболѣе пригодны клинья. Урав-е винты, примененные для той же цѣли въ нѣкоторыхъ старыхъ мостахъ, альны и потому исключаются изъ разсмотрѣнія. зможность вращенія верхняго балансира относительно про-оси пояса, а также его поднятія и опусканія (при неразрѣзныхъ фер-достигнуть, если прикрѣпить къ поясу дополнительную плиту и

расположить между нею и верхнимъ балансиромъ нѣсколько клинѣвъ,



Фиг. 102. Мостъ черезъ Узленкизъ на Тильзитъ-Мемельской желѣзной дорогѣ.

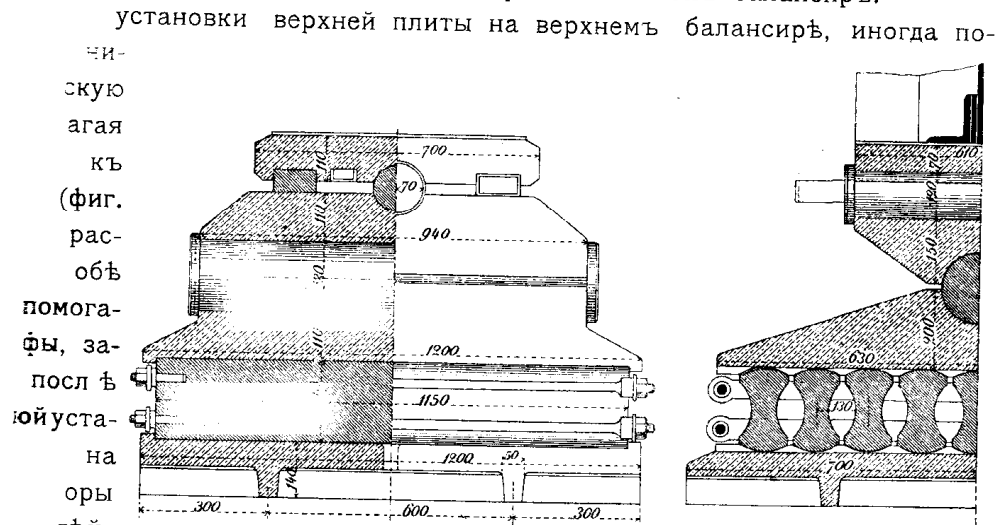
ленныхъ вдоль фермы. Въ фиг. 102 показанъ примѣръ устройства 5 клинѣвъ между верхнимъ балансиромъ и верхнею плитою. Последняя составлена изъ двухъ плитъ съ прокладкою между ними свинцоваго листа, толщиною



Фиг. 103. Желѣзнодорожный мостъ черезъ Вислу въ Диршау.

Клинѣя отставлены одинъ отъ другого на 150 мм. и немного втоплены въ балансиръ, такъ и въ плиту. Клинѣя удерживаются на мѣстѣ вертикальною чекою, пропущенною въ отверстие у тонкаго конца клина. Крепленіе требуется лишь въ малыхъ мостахъ, подверженныхъ сотрясенію при проходѣ поѣздовъ. Во избѣжаніе сдвига верхней плиты по балансирѣ и фермѣ, устроены продольныя и поперечныя закраины и поставлено 6 съѣздныхъ вертикальныхъ болтовъ. Иногда клинѣя располагаются не въ одиночку, какъ въ фиг. 103, гдѣ имѣется 6 клинѣвъ, по три въ группѣ. Верхняя плита снабжена закраинами, захватывающими края

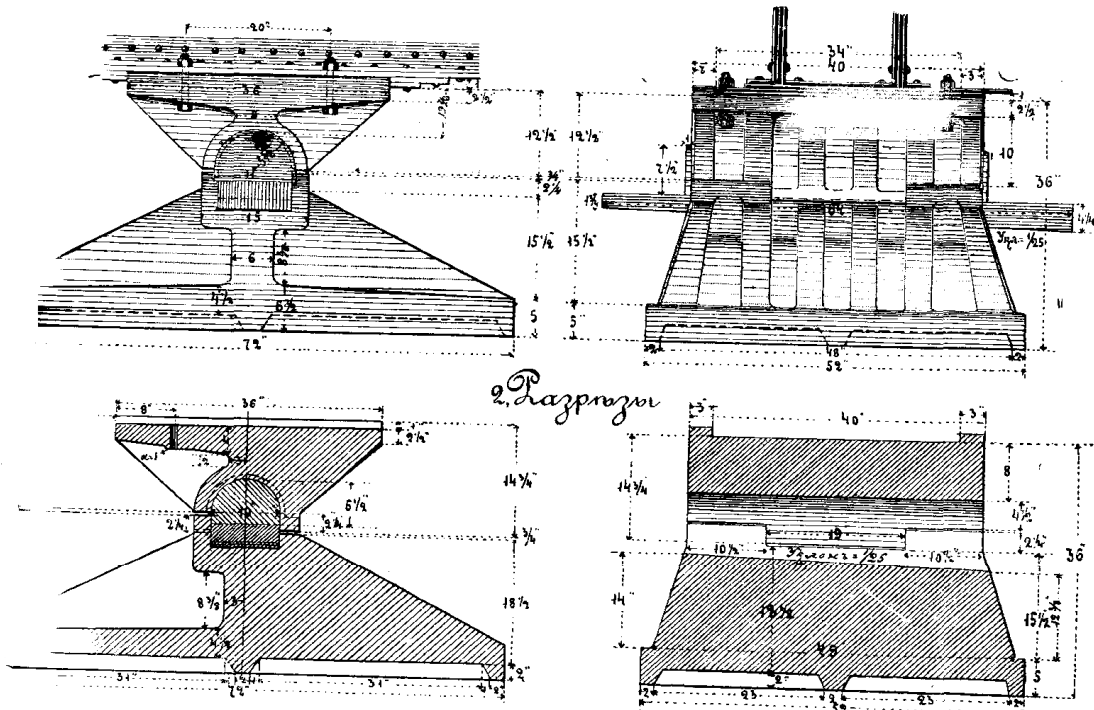
оставленіемъ отверстій для клинѣвъ. Отъ сдвига поперекъ фермы удерживается закрайнами, которыми снабженъ балансиръ.



Фиг. 104. Мостъ черезъ Мозель въ Булле, пролетомъ 88,6 м.

стоянной
моста. Такимъ способомъ можно обезпечить равномерность передачи главную цапфу.

возможность вертикальной установки опоръ неразрѣз-
рмъ достигается проще всего устройствомъ цапфы въ видѣ клина или
мъ отдѣльнаго клина подъ цапфою. Для этой цѣли наиболѣе пригодна
ская цапфа съ выпуклою головкою. Въ фиг. 105, изображающей непод-

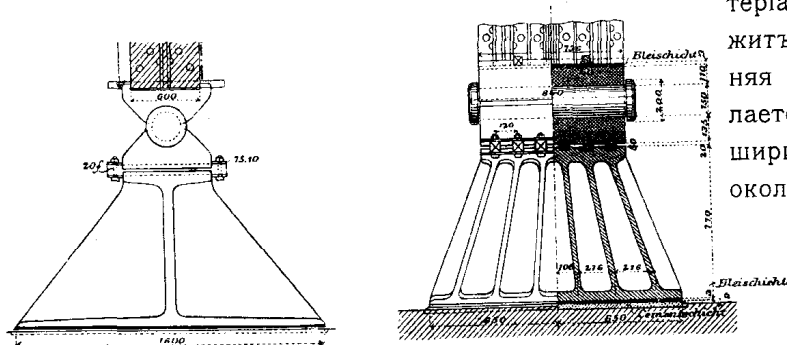


Мостъ съ неразрѣзными фермами черезъ р. Сулу на Ромно-Кременчугской ж. д.

спорю неразрѣзной фермы, цапфа съ полуцилиндрической головкою по-
клинѣ, верхняя сторона котораго горизонтальна, а нижняя — наклонна.

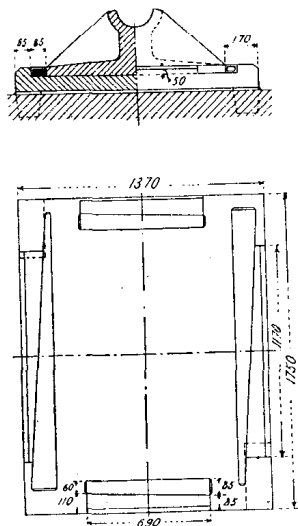
Во избѣжаніе продольнаго сдвига цапфы по клину, устроено взаимное зацепленіе балансировъ, помощью двухъ выступовъ, длиною 19 дм., входящихъ въ пазу балансира. Въ фиг. 106 показанъ примѣръ расположенія клиньевъ главной цапфы. Нижній балансиръ раздѣленъ на двѣ части, между которыми помѣщается 6 клиньевъ. Нижняя часть балансира представляетъ интересъ, въ виду радіальнаго расположенія ребордъ, поддерживающихъ его шейку и позволяющихъ уширить основаніе балансира не только вдоль, но и поперекъ фермы.

Размѣры клиньевъ. Клинья примѣняются одиночные и двойные. Для клиньевъ, выстрагиваемые въ балансирахъ и плитахъ, получаются въ первомъ случаѣ клиновидными, а во второмъ случаѣ ихъ глубина не мѣня-



Фиг. 106. Городской мостъ черезъ Зюдеръ-Эльбе въ Гамбургѣ. также поль- винтомъ, какъ въ фиг. 98, гдѣ цапфа устроена въ видѣ стержня, снабженна вою нарезкою; вращая цапфу, можно поднять верхній балансиръ на 200

При установкѣ пролетнаго строенія на опоры желательно имѣть возможность небольшой передвижки нижняго балансира ферменнику. Это достигается путемъ прокладки чугунной плиты ме-



Фиг. 107.

съ обѣихъ сторонъ имѣются двойные клинья, и въ фиг. 90, гдѣ съ право имѣется двойной клинь, а съ лѣвой—простая прокладка постоянной толщ-

теріаломъ для клинь жить желѣзо и стал няя толщина h клается отъ 0,5 до ширины. Глубина около $0,2 \cdot h$. Уклон дѣлается от до 1:40. Для тія и опускані нягобалансира

ферменнымъ камнемъ и нижнимъ баланси ро передвижки балансира по плитѣ, примѣняютъ четыре клина, которые упираются въ боковыя плиты. Въ случаѣ одиночныхъ клиньевъ, эти скашиваются соотвѣтственно уклону клиньевъ; ныхъ клиньяхъ, закраины строгаются параллел плиты. Если желательно придать баланси р подвижность какъ въ продольномъ, такъ и въ номъ направленіи, то располагаютъ клинья чetyремъ сторонамъ плиты, какъ показано въ гдѣ примѣнены одиночные клинья. Если придать балансиру подвижность только въ правленіи, обыкновенно вдоль фермы, то ог ются устройствомъ клиньевъ поперекъ фер показано въ фиг. 83. Другіе примѣры балан продольною поцвижностью показаны въ фиг

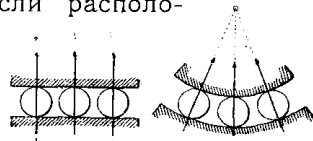
Глава IV.

Катки.

изложено на стр 6, разные типы подвижных опоръ характеризующими родами движенія: 1) скольженіемъ, 2) катаніемъ, 3) качаніемъ (около подвижной оси или точки) и 4) качаніемъ (около оси или точки). Скользящія опоры были разсмотрѣны въ § 10 и 11. Каткахъ посвящена настоящая глава IV, а третій и четвертый типы опоръ будутъ описаны въ слѣдующей главѣ V.

соображенія о каткахъ. Катки примѣняются для уменьшенія тренія при порѣ. Согласно изложенному на стр. 44 катки безусловно необходимы при давленіи на опору. Наше Мин. Пут. Сообщ. предписываетъ прикатковъ при пролетѣ фермъ желѣзнодорожныхъ мостовъ въ 7 саж. (15 е.

обыкновенно укладываются на нижнюю подушку опоры и получаютъ поддержку отъ нижняго балансира. Для того, чтобы балансиръ распредѣлялъ давленіе равномерно на всѣ катки, онъ долженъ быть шарнирнаго типа. Если отъ шарниря, то при прогибѣ фермы, большая часть давленія передается со стороны пролета катку и происходитъ то же вредное явленіе, которое наблюдается въ плоскихъ подушкахъ (фиг. 33). Если расположить между двумя концентричными цилиндрическими поверхностями (фиг. 108), то вмѣсто подвижной получится только шарнирная опора, реакція которой проходитъ черезъ центръ обѣихъ окружностей. Съ порою мы уже ознакомились на стр. 72 (фиг. 80).



Фиг. 108.

форма катковъ. Катки бываютъ цилиндрическіе и шаровые. Тѣ могутъ быть круглые или срѣзанные, если срѣзаны ихъ бока. Тогда, можно различать массивные и полые катки; послѣдніе рѣдко ются. Чаще всего примѣняются круглые цилиндрическіе катки. Къ срѣзаннымъ слѣдуетъ прибѣгать лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда надо уменьшить давленіе балансировъ и подушки.

материалъ катковъ. Катки изготовляются изъ чугуна или стали. Для прочныхъ катковъ примѣняется кованная сталь (см. § 8). Стальные катки экономичнѣе чугунныхъ, ибо вслѣдствіе большей прочности ихъ требуется меньшее число, отчего уменьшаются размѣры балансировъ и подушекъ. Кроме того, стальные катки обладаютъ меньшимъ коэффициентомъ тренія, чѣмъ чугунные. Стальные катки, слѣдуетъ также изготовлять изъ стали сопряженія съ ними нижній балансиръ и подушку; въ противномъ случаѣ эти детали будутъ сминаться раньше катковъ. Поверхность катковъ всегда чистится.

§ 18. Цилиндрическіе катки.

Сопротивленіе цилиндрическихъ катковъ при катаніи. Сопротивленіе катка при катаніи по плоской поверхности объясняется упругими деформациями послѣдствіемъ, вдавливаясь въ плиту, выпираетъ ея верхній слой и образующееся напряженіе задерживаетъ движеніе катка, т. е. катокъ какъ бы гонитъ передъ собою волну изъ верхняго слоя плиты. Сопротивленіе $W = f_2 \cdot A$ цилиндриче-

скаго катка при его катаніи приложено къ центру катка и при горизонтальной плоскости катанія имѣеть горизонтальное направленіе. При катаніи между плитами сопротивление катка вдвое больше, т. е. $W = 2f_2 \cdot A$, причѣмъ вертикальное давленіе на катокъ.

Коэффициентъ f_2 тренія II рода зависитъ 1) отъ радіуса r причѣмъ f_2 уменьшается по мѣрѣ увеличенія r , и 2) отъ матеріала и гладкости соприкасающихся поверхностей. Обыкновенно принимаютъ $f_2 = \frac{\delta}{r}$ гдѣ r въ см. радіусъ катка, δ въ см. плечо момента тренія или перемѣна точки опоры катка вслѣдствіе выпиранія поверхности плиты.

Таблица 22 значеній δ въ см.

δ см.	r радіусъ катка см.	Матеріаль и состояніе соприкасающихся поверхностей.	Исслѣдователь. Источникъ.
0,035	5	Чугунные катки полированные между чисто строганными плитами.	Perrissée. Memoires de la Société c. civils. 1883. II Pag. 35E
0,175	5	Тоже, при засореніи мелкимъ пескомъ.	Wing. Transactions of American of Civ. Engineers Vol. 1894. Pag. 101.
0,010 до 0,016	1,3 до 5,1	Чугунные } катки точеные на стро- Желѣзные } ганныхъ чугуна, плитахъ Стальные } безъ шлифовки.	Weisbach. Mechanik. I Pte; Ritter. Technische Mecha- Coulomb.
0,017 до 0,035	1,3 до 5,1		
0,009 до 0,017	1,3 до 3,8		
0,046	25	Чугунныя колеса по чугуну.	
0,048	—	Желѣзные катки по желѣзу.	
0,048 до 0,081	—	Деревянные катки по дереву.	

Въ виду невозможности предохранить опорныя части мостовъ отъ песка и ржавчины, даже при устройствѣ предохранительнаго футляра, рекомендуется принимать δ не менѣе 0,175, согласно опытамъ Perrissée, указаннымъ въ таблицѣ 22. Итакъ, сопротивление при катаніи чугунныхъ катковъ, радіусомъ между чугунными плитами

$$W = 2 \cdot f_2 \cdot A = 2 \frac{\delta}{r} \cdot A = \frac{2 \cdot 0,175}{r} \cdot A = \frac{0,35}{r} \cdot A.$$

При употребительныхъ діаметрахъ мостовыхъ катковъ коэффициентъ тренія имѣеть слѣдующія значенія:

діаметръ катка . . .	$d = 10$	12	15	20 см.
коэффициентъ . . .	$2f_2 = 0,070$	0,058	0,047	0,035,

т. е. значительно меньше коэффициента $f_1 = 0,30$, соответствующаго тренію между подушекъ (см. § 10).

1) Пропорціональность между f_2 и r подтверждается лишь старыми опытами Куллена. Съ другой стороны опыты Dupuit, затѣмъ Poirée и Sauvage съ вагонными колесами, опыты Wing'a (Transactions of Americ. Soc. of Civ. Eng. 1894. Pg. 99) съ катметромъ отъ 1 до 4 дюйм., испытанными при различныхъ давленіяхъ отъ 150 до 1140 фунтовъ, даютъ слѣдующія значенія f_2 при расчетѣ на дюймы.

Для чугунныхъ катковъ:

$$f_2 = \frac{0,0063}{\sqrt{r}}$$

Для желѣзныхъ катковъ:

$$\frac{0,0120}{\sqrt{r}}$$

Для стальныхъ катковъ:

$$\frac{0,0073}{\sqrt{r}}$$

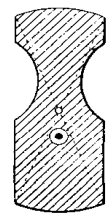
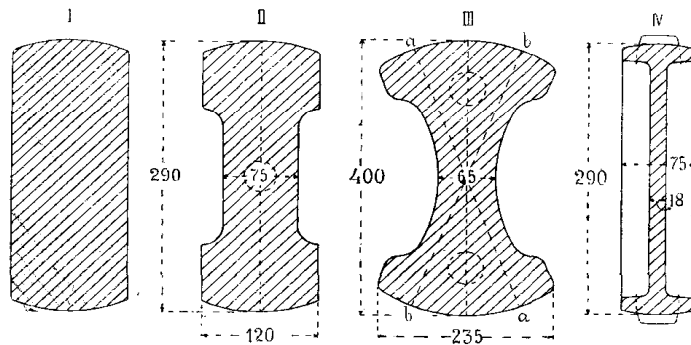
При этомъ предполагаются чугунныя плиты; въ случаѣ желѣзныхъ плитъ слѣдуетъ значенія f_2 приблизительно на 13%₀, а при стальныхъ плитахъ уменьшить значенія f_2

катки. Диаметръ круглыхъ катковъ принимается отъ 9 до 20 см., отъ 50 до 150 см., въ зависимости отъ ширины пояса фермы. За-катками — отъ 10 до 25 мм. Число катковъ опредѣляется расчетъ отъ 1 до 8. Только въ старыхъ мостахъ, а также въ Америкѣ, большее число катковъ. Чѣмъ больше катковъ, тѣмъ больше длина нижней подушки и балансира и тѣмъ неравномѣрнѣе распределяна катки. Поэтому лучше уменьшать число катковъ, путемъ увеличения; при этомъ также понижается коэффициентъ тренія. Если со-по катковъ до одного и расположить его между двумя плитами, то ростѣйшая шарнирно-подвижная опора (см. § 21), въ которой катокъное значеніе, такъ какъ придаетъ опорѣ не только подвижность, но

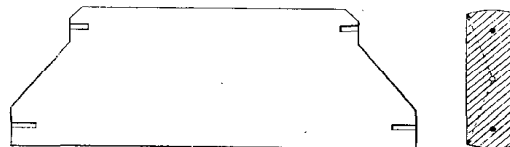
катки. Въ опорахъ постоянныхъ мостовъ катки поворачиваются ой уголъ и катятся только по небольшой части ихъ окружности изу, между тѣмъ какъ бока катковъ бездѣйствуютъ. Если удалить эти ска, то получатся сръзанные катки. Главное преимущество сръзанныхъ ючается въ томъ, что они требуютъ меньше мѣста, чѣмъ круглые, ри данныхъ размѣрахъ балансира можно помѣстить подъ нимъ боль-катковъ. Это обстоятельство имѣетъ особенное значеніе для опоръ съ давленіемъ, такъ какъ можно примѣнить большее число катковъ, не чрезмѣрному увеличенію размѣровъ нижняго балансира и подушки. стороны сръзанные катки имѣютъ крупный недостатокъ: они не-Эпрокидываніе катковъ можно предупредить различными мѣрами, опи-далѣе; несмотря на это, въ Россіи господствуетъ мнѣніе о непригод-занныхъ катковъ. Формы поперечнаго сѣченія сръзанныхъ кат-

заны въ фиг. 109 и ще всего катки имѣ-ские бока (фиг. 109 I); рина катковъ умень-серединѣ ихъ вы-109, II и III). Рань-устройствались изъ окъ и вертикальной 109, IV), которая нѣсколькими по-ребордами. Устой-ѣзаннаго катка мо-увеличена путемъ его центра тяжести, ается расположені-ыхъ выемокъ ближе катка (фиг. 110) или уширеніемъ катка къ 111).

Фиг. 109.

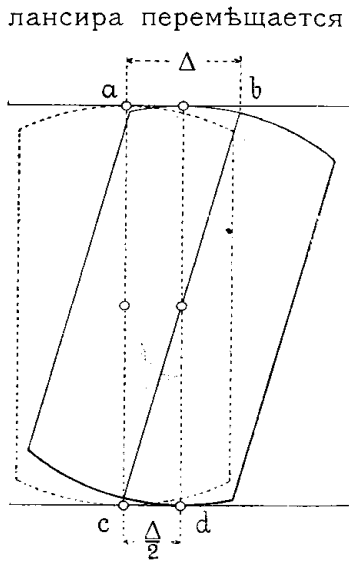


Фиг. 110.



Фиг. 111.

метръ сръзанныхъ катковъ принимается отъ 14 до 40 см., длина—120 см. и число катковъ — отъ 3 до 8. Ширина катка зависитъ льшаго перемѣщенія Δ конца фермы или балансира. Если точка a ба-



Фиг. 112.

лансира перемѣщается вправо на $ab = \Delta$ (фиг. 112), то центръ катка a гается вдвое меньше, т. е. на $\frac{1}{2} \Delta$; такую же b имѣетъ работающа часть окружности катка, т. стояніе между точками c и d касанія катка съ б ромъ до и послѣ движенія. Если конецъ фермы c щается на Δ въ каждую сторону отъ средняго c нія ac , то работающа часть окружности катка c наименьшая ширина катка, будетъ $2 \frac{\Delta}{2} = \Delta$. Н c тикъ ширина b катка берется съ запасомъ равно c до $4 \cdot \Delta$, такъ что

при пролетѣ фермы $l =$	30	50	100
ширина катка $b =$	60	80	120

Разстояніе между сръзанными катками опредѣляется изъ условія, чтобы въ моментъ наибольшаго отклоненія катки еще не касались другъ друга (фиг. 113).

Если бы касаніе катковъ наступило еще до полнаго отклоненія конца фермы, то балансиръ долженъ былъ бы скользить по каткамъ.

Введемъ слѣдующія обозначенія:

- α — уголъ между вертикалью и отклоненною осью катка;
- b , R — ширина и діаметръ катка,
- Δ — наибольшее перемѣщеніе конца фермы въ одну сторону.

Согласно фиг. 112 имѣемъ

$$\frac{\alpha}{360^\circ} = \frac{\frac{1}{2} \Delta}{2 \cdot R \cdot \pi} \quad \text{откуда } \alpha = \frac{90^\circ}{R} \Delta$$

Согласно фиг. 113 получаемъ наименьшее разстояніе между центрами катковъ

$$x = \frac{b}{\cos \alpha}$$

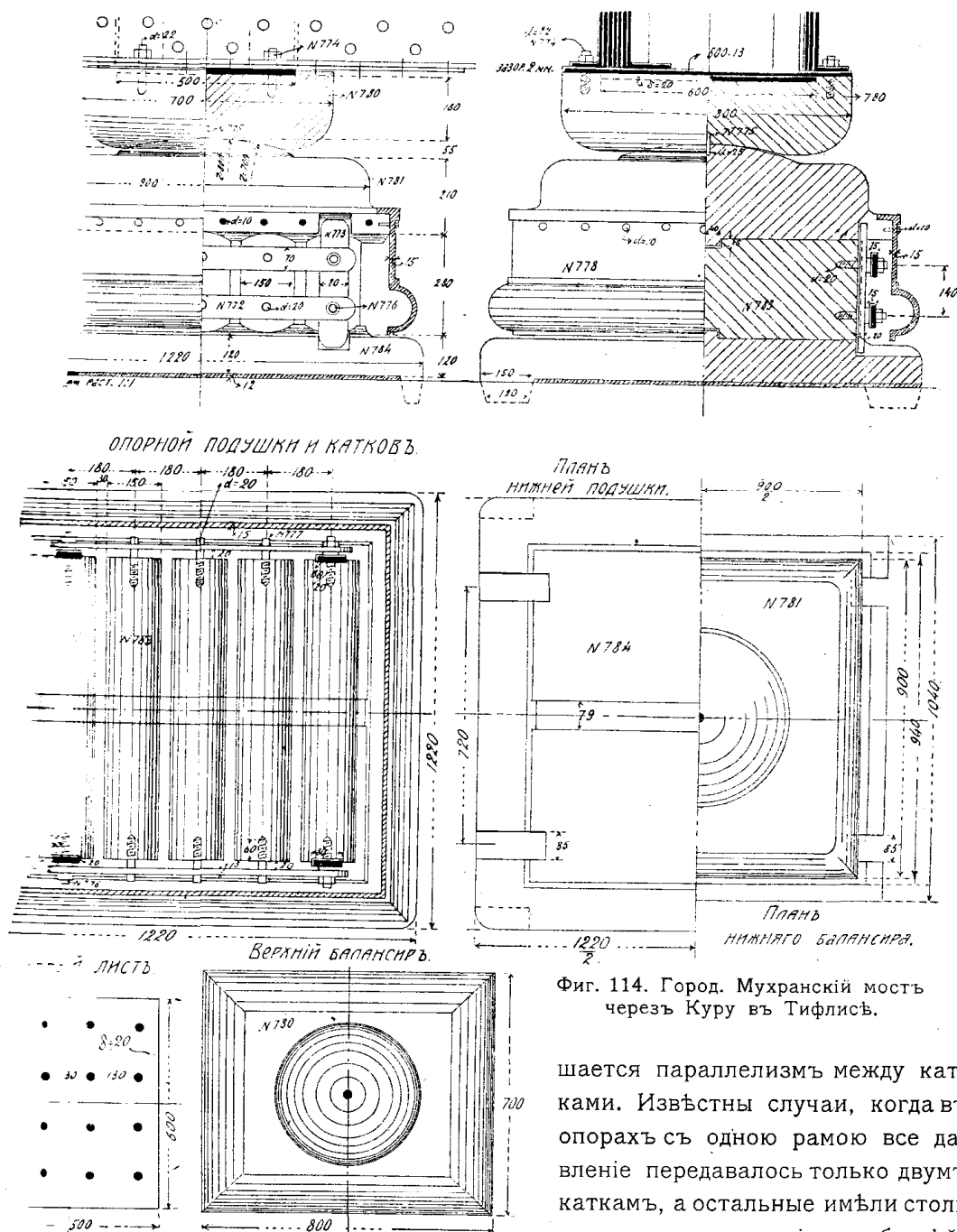
Въ дѣйствительности разстояніе между катками принимаютъ гораздо больше, чтобы зазоры между катками получались не меньше 3 см. Большие зазоры неудобны, такъ какъ не допускаютъ очистки катковъ и подушки под ними.

Кромѣ вращательнаго движенія, катки могутъ имѣть также поступательное движеніе вдоль фермы, вызванное сотрясеніями опоръ и распоромъ отъ прогиба фермы. Такое перемѣщеніе катковъ вдоль моста называется угономъ катковъ. Если не принять мѣръ для удержанія катковъ отъ угона, они могутъ выскочить въ реборды или иныя приспособленія нижней подушки, лишаясь своей подвижности до тѣхъ поръ, пока не будетъ восстановлено ихъ нормальное положеніе.

Конструктивныя соображенія. Рациональное устройство катковъ должно удовлетворять слѣдующимъ требованіямъ: 1) чтобы сохранить параллелизмъ катковъ, величину зазоровъ между ними, катки должны быть связаны между собою жесткою рамою, при круглыхъ, или двумя рамами, при сръзанныхъ каткахъ; 2) катки должны быть удерживаемы отъ поперечнаго сдвига и 3) катки должны быть удерживаемы отъ продольнаго угона, а сръзанные катки, кромѣ того, отъ кидыванія.

А. Рамы для катковъ. Круглые катки соединяются между собою жесткою рамою, сръзанные катки — обязательно двумя рамами, расположенными параллельно одна надъ другою (фиг. 63 и 114). Для удержанія сръзанныхъ катковъ отъ кидыванія, катки соединяются между собою жесткою рамою, сръзанные катки — обязательно двумя рамами, расположенными параллельно одна надъ другою (фиг. 63 и 114). Для удержанія сръзанныхъ катковъ отъ кидыванія, катки соединяются между собою жесткою рамою, сръзанные катки — обязательно двумя рамами, расположенными параллельно одна надъ другою (фиг. 63 и 114).

льномъ положеніи, недостаточно одной рамы, такъ какъ при малѣйшѣ въ діаметрѣ катковъ и при неравномѣрномъ распредѣленіи на нія, менѣ нагруженные катки вращаются свободнѣ другихъ и нару-



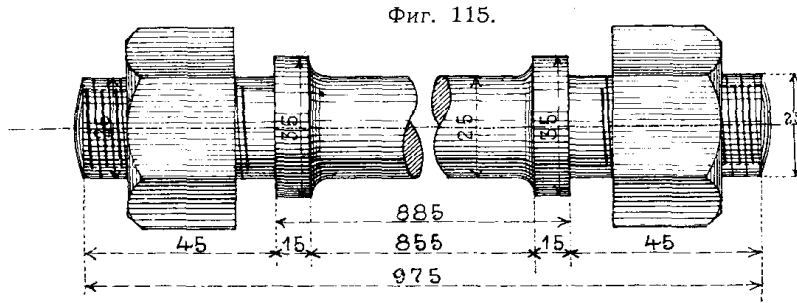
Фиг. 114. Город. Мухранскій мостъ черезъ Куру въ Тифлисъ.

шается параллелизмъ между катками. Извѣстны случаи, когда въ опорахъ съ одною рамою все давленіе передавалось только двумъ каткамъ, а остальные имѣли столь наклонное положеніе, что бездѣй-

Если катки связаны между собою двумя рамами, расположенными одна надъ другою, то параллелизмъ между катками никогда не можетъ нарушиться.

Каждая рама состоитъ изъ двухъ направляющихъ, которыя связываютъ бою торцы катковъ. Направляющія дѣлаются: а) изъ полосового желѣза, шириною отъ 50 до 100 мм. и толщиною отъ 15 до 20 мм. (фиг. 102 и 114); б) изъ уголковъ, шириною отъ 60 до 90 мм. (фиг. 117), в) изъ швеллеровъ (фиг. 118), шириною отъ 65 мм., чтобы можно было завернуть гайку. Направляющія соеди-

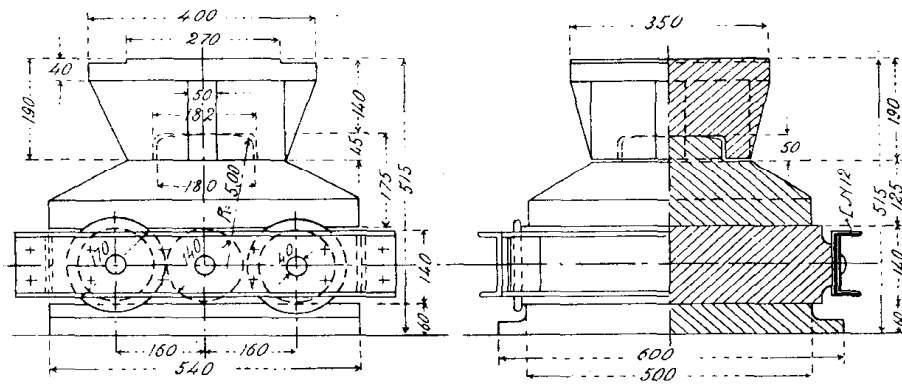
няются между собою по одному изъ слѣдующихъ способовъ: 1) двумя штанг. діаметромъ отъ 16 до 25 мм., по одной на каждый конецъ направляющихъ 59); каждый конецъ штанги снабжается муфтой, упирающеюся въ напра



Фиг. 115.

вляющую, и винтово рѣзкою съ гайко 115); при бо длинѣ направляющ ставится еще штанга по сере ихъ длины (фиг. 2) двумя уголками единенными съ на

вляющими помощью угловыхъ накладокъ (фиг. 118); 3) двумя швеллерами,

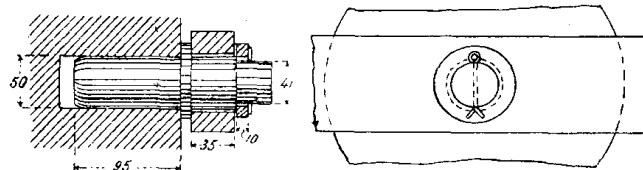


Фиг. 116. Жел.-дор. мостъ черезъ Туръ у Андельфингена (Швейцарія).

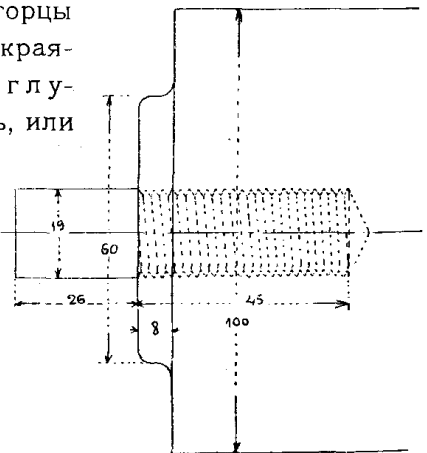
клепанными направляющ изъ швеллер при помощи тикального ка (фиг. 4) для соеди. направляющ можно ваться са катками, пр. чиваянаправ

щія или къ каждому (фиг. 157) или только къ крайнимъ каткамъ (фиг. 114 и по способу, изложенному ниже.

Закрѣпленіе катковъ въ направляющихъ рамы производится помощью круглыхъ цапфъ, діаметромъ отъ 20 до 30 мм., которыя втплены въ торцы катковъ пропущены въ круглыя дыры, просверленныя въ направляющихъ. Между торцъ катковъ и направляющими оставляють небольшой зазоръ въ 3 до 8 мм., во из жаніе заѣданія катковъ. Лучше всего обтачивать торцы катковъ такъ, чтобы ихъ середина выступала надъ краями на 3 до 8 мм. (фиг. 117а). Ц а п ф ы бываютъ: г л у х і я, т. е. отлитыя и обточенныя вмѣстѣ съ каткомъ, или в с т а в н ы я, причемъ въ торцѣ катка высверливается круглое отверстие, глубиною около 60 мм., снабжаемое винтовою нарѣзкою, а затѣмъ ввинчивается цапфа (фиг. 117а). Если



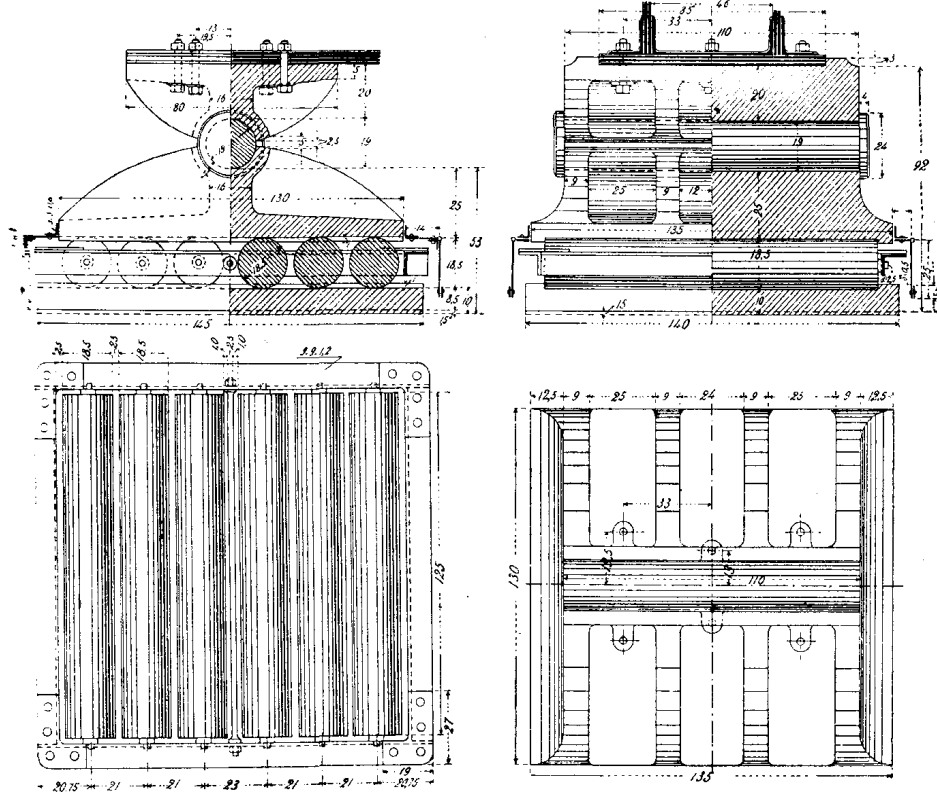
Фиг. 117б.



Фиг. 117а.

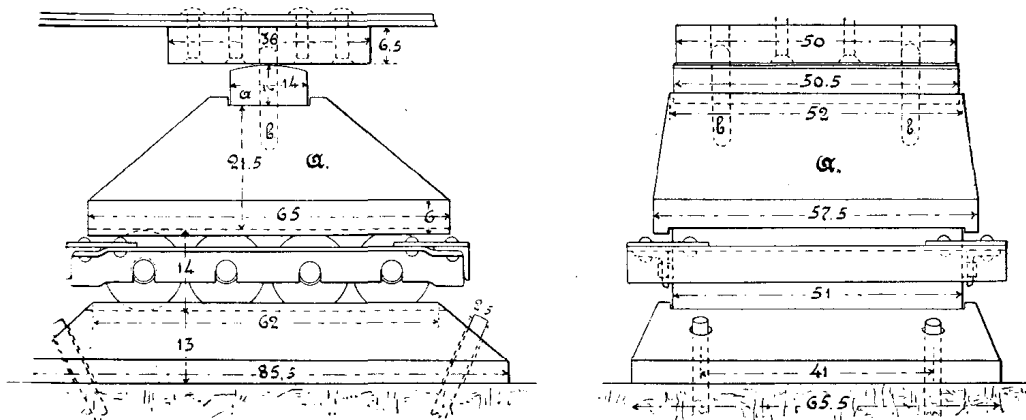
между направляющими устроена связь, помимо катковъ, то конецъ цапфы, пущенный черезъ направляющую, не снабжается гайкою. Можно не завинчивать цапфы въ катокъ, а просто вставлять ее въ отверстие катка, плотно притира

омъ; при этомъ стержень цапфы снабжается муфтою, которая помѣщается торцомъ катка и направляюще рамы (фиг. 117b). Наварная муфта можетъ замѣнена шайбою на рѣзбѣ. Въ направляющихъ рамы можно дѣлать для



Фиг. 118. Мостъ черезъ Зею на Амурской желѣзной дорогѣ.

не круглыя отверстія, а открытыя снизу (фиг. 119 и 145), тогда можно раму съ катковъ. Въ этомъ случаѣ направляющія рамы и распорки

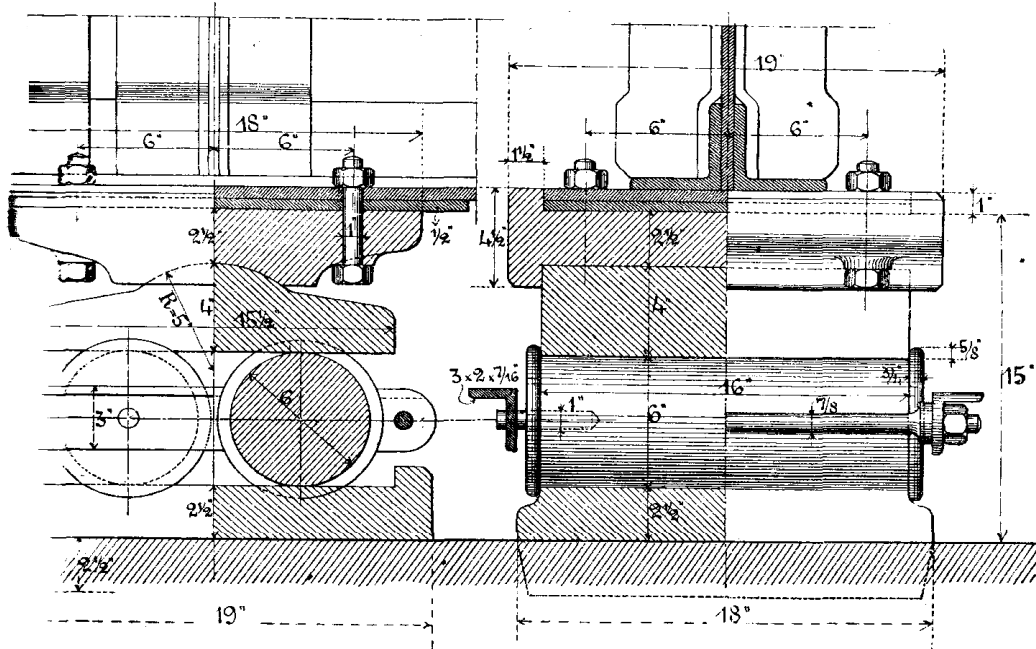


Мостъ чер. Изаръ у Мюнхена. Соотвѣт. неподвиг. опора помѣщена на стр. 78 фиг. 91.

ними должны имѣть жесткое сѣченіе. Въ фиг. 119 и 145 рама склепана четырехъ уголковъ. Такія съемныя рамы облегчаютъ чистку катковъ.

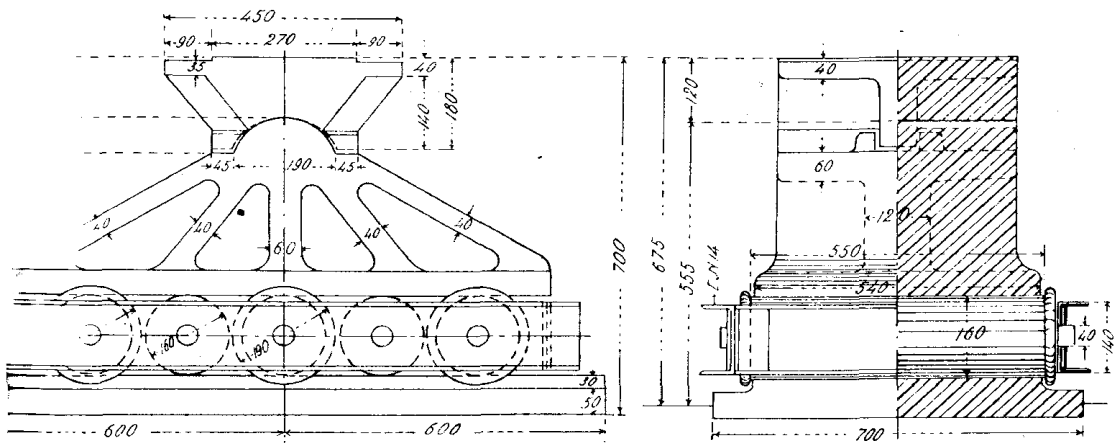
Мѣры противъ поперечнаго сдвига катковъ. 1) Балансиръ и подушка аются боковыми закрайнами, высотой около 10 мм., располовдоль торца катковъ (фиг. 119 и 120). Для удобства чистки можно:

катка, а также края балансира и подушки, оставляя между ними и катковъ зазоръ въ 2 до 5 мм. Примѣръ небольшой стальной опоры съ ками указаннаго типа представлень въ фиг. 122. Диаметръ катковъ—6 дм.,



122. Трехпролетный путепроводъ на 2-й верстѣ Московско-Ярославской ж. д.

я длина—16 дм. Катки поддерживаютъ нижній балансиръ, въ видѣ плиты ою цилиндрическою головкою, которая плотно соприкасается съ гнѣз- няго балансира. Во избѣжаніе поперечнаго сдвига, послѣдній снабжень ребордами. Иногда снабжаютъ ребордами не всѣ катки (фиг. 123); въ

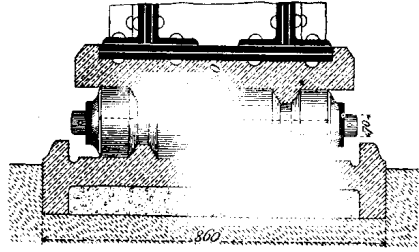


Фиг. 123. Новый желѣзнодорожный мостъ черезъ Аару у Бруга (Швейцарія).

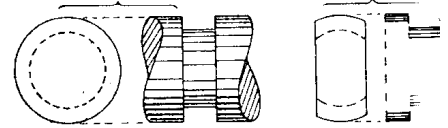
случаѣ можно уменьшить зазоры между катками и соотвѣтственно сокра- тину балансира и подушки. Крайніе катки ни въ коемъ случаѣ не слѣ- устроить безъ ребордъ, такъ какъ онѣ особенно нужны для направленія системы катковъ. Подвижная опора, изображенная на фиг. 123, имѣетъ мас- верхній балансиръ и ребристый съ цилиндрическою головкою нижній ба- составленный изъ продольной вертикальной стѣнки и пяти радіальныхъ Рама для катковъ (диамет. 160 мм.) склепана изъ 4-хъ швеллеровъ высо-

тою 140 мм., которые почти прикрывают торцы катковъ, вслѣдствіе чего обойтись безъ футляра противъ засоренія катковъ.

3) Для удержанія катковъ отъ поперечнаго сдвига, въ послѣднее время часто пользуются слѣдующимъ средствомъ (фиг. 126). Въ каткахъ, по сеихъ длины, дѣлають заточку прямоугльна ченія шириною 40 до 80 мм. и глубиною 25 мм. (фиг. 124), а верхній балансиръ и

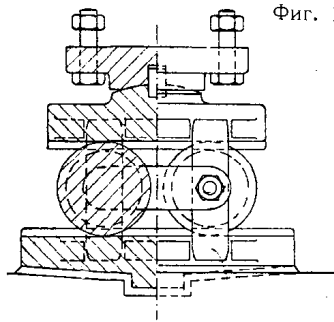


Фиг. 125. Мос. чер. Кохеръ въ Туллау.

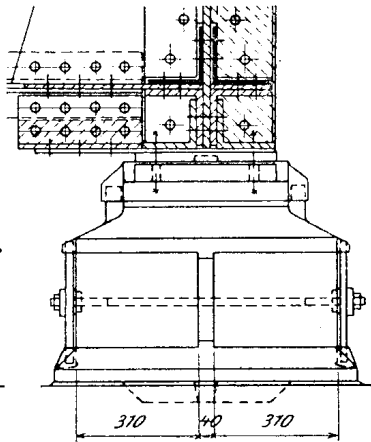
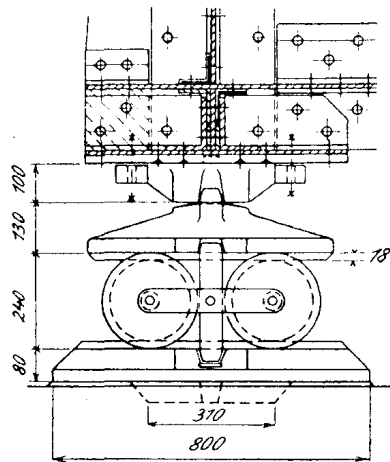
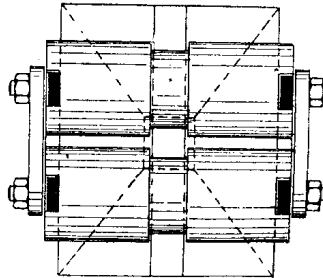
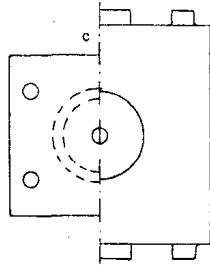
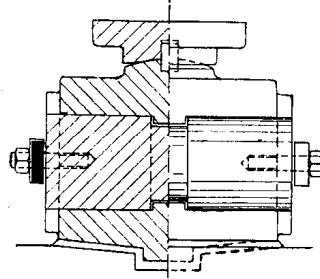


Фиг. 124.

подушку снабжаютъ соответственной ребордою. Въ прежнее время такія зат



Фиг. 126.



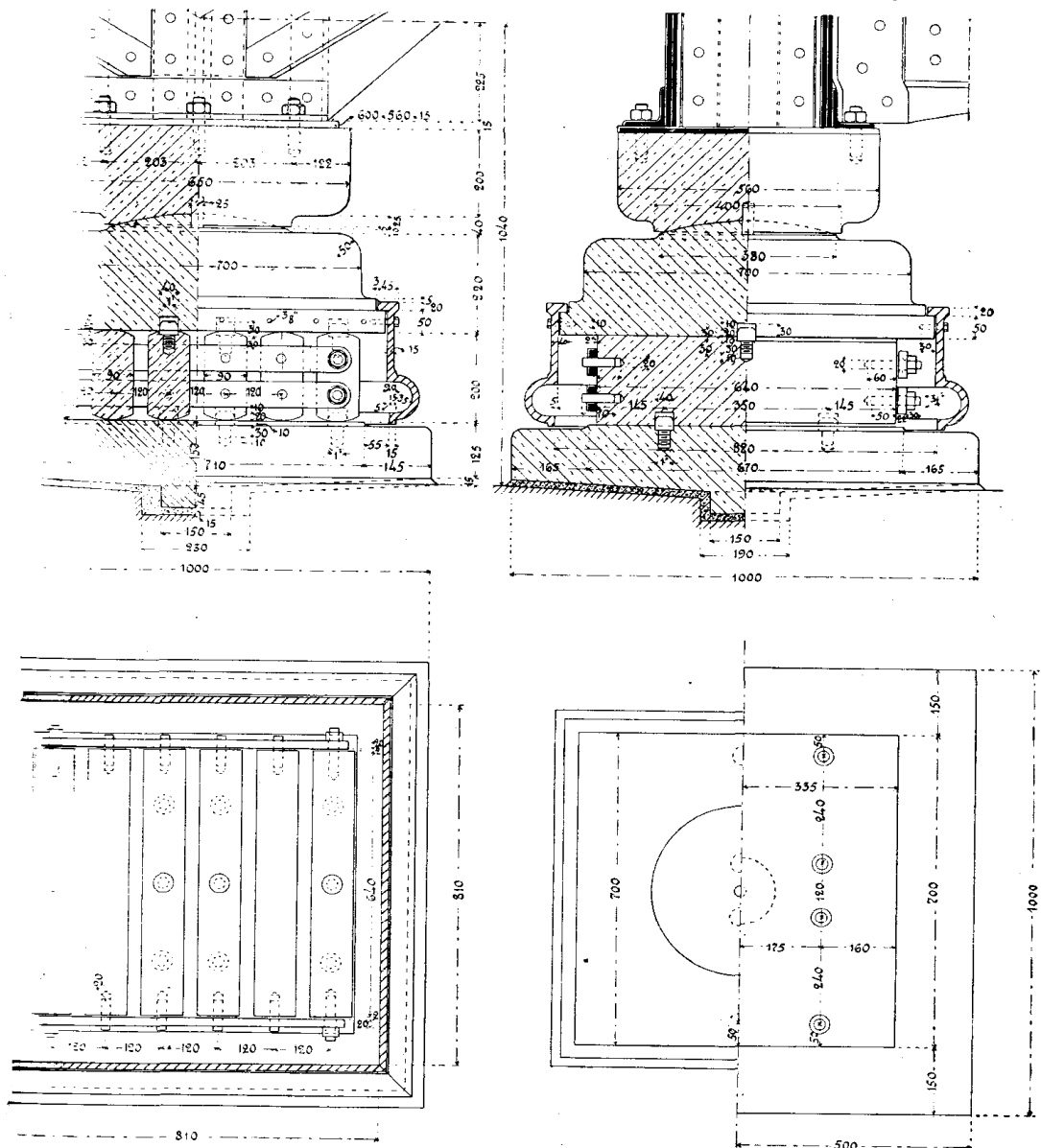
Фиг. 127.

дѣлали трапецидальнаго нія (фиг. 125). Рабочую катковъ слѣдуетъ приниматье дѣйствительной длин ширину заточки. Такое пр собленіе имѣеть слѣдующія имущества: 1) требуется ко одна реборда и 2) не загораживаются кра ктовъ, балансира и п Въ двухкатковой опс фиг. 126, состоящей из няго балансира со сферичашкою, из нижняго сира съ шаровою головк двухъ катковъ и из подушки, катки связаны собою рамою из дву лось, которая приболч цапфамъ, зав нымъ въ катки. удержанія катк поперечнаго они по серединѣ жены прямоуг заточкою. Отъ дольнаго угона удерживаются парами кача брусковъ, которы заны въ торцы ка и своими конца пущены въ гнѣз

жду зубцами на краяхъ балансира и подушки. Аналогичное устройство

изображенной на фиг. 127. Небольшая разница замѣчается въ при-
отъ угона катковъ: имѣется только одна пара качающихся брусковъ,
ѣщены между катками и прикрѣплены къ направляющимъ рамы съ
стороны.

удержанія катковъ отъ поперечнаго сдвига, можно располагать на-
катковой рамы такъ, чтобы онѣ захватывали края балансира и по-
143). При этомъ катки устраиваются безъ ребордъ на торцахъ. Въ
правляющая нижней рамы принята изъ уголка и захватываютъ край
льсового настила, замѣняющаго по американскому способу нижнюю
Верхняя направляющая устроена изъ полосового желѣза съ крюками по
случай опрокидыванія катковъ, и захватываетъ край балансира, скле-
листовъ и уголковъ. Примѣняя свѣшивающіяся направляющія при
каткахъ, приходится наглухо закрывать пространство между баланси-



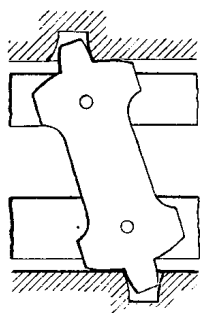
мостъ чер. Гавель у Шпандау. Соотвѣт. неподж. опора помѣщена на стр. 71 фиг. 77.

ромъ и подушкою, такъ что катки предохраняются отъ засоренія и не трещатъ футляра.

5) Простая и практичная мѣра противъ сдвига катковъ поперекъ фермы заключается въ примѣненіи круглыхъ шиповъ, располагаемыхъ сверху и снизу мѣстахъ соприкасанія катковъ съ балансиромъ и подушкою. Шипы состоятъ изъ головки и стержня съ винтовою нарезкою. Диаметръ головки—около 40 мм., высота—около 30 мм. Головки немного закругляются, для того, чтобы они задерживали катковъ при движеніи. Верхніе шипы завинчиваются въ катку, а гнѣзда для головокъ высверливаются въ балансирѣ; нижніе шипы завинчиваются въ подушку, а гнѣзда высверливаются въ каткахъ. Шипы удобны тѣмъ, что достигается сразу двѣ цѣли: они удерживаютъ катки отъ поперечнаго отъ угона. Разсмотримъ примѣръ опоры съ такими шипами (фиг. 128). Верхній балансиры массивнаго типа соприкасаются между собою по шарообразной поверхности. Между подушкою и нижнимъ балансиромъ поставлено шесть катковъ, причемъ шипами снабжены оба крайнихъ и оба среднихъ катка. На каждомъ изъ этихъ 4-хъ катковъ приходится по 3 шипа: одинъ наверху, завинченный въ катку, и два внизу, завинченные въ подушку. Катки связаны между собою парами направляющихъ, приболченныхъ къ цапфамъ крайнихъ катковъ. Всѣ катки заключены въ чугунный футляръ, который приподнимается для осмотра катковъ.

С. Мѣры противъ продольнаго угона катковъ, круглыхъ или срѣзанныхъ. Извѣстно немало случаевъ продольнаго угона катковъ изъ-подъ балансира. При круглыхъ каткахъ, такой угонъ можетъ сопровождаться сходомъ катковъ съ нижней подушки срѣзанныхъ каткахъ—ихъ опрокидываніемъ. Всякія неподвижныя катки для удержанія угнанныхъ катковъ вредны, такъ какъ, упираясь въ нихъ, катки перестаютъ функционировать. Поэтому слѣдуетъ примѣнять такіе мѣры угона, которыя, удерживая катки на мѣстѣ, даютъ имъ возможность вращаться.

1) **Зубья.** Между нѣкоторыми изъ катковъ устраивается зацепленіе балансира и съ нижней подушкою, пользуясь для этого зубьями (шипами). Зубья располагаются по срединѣ катка или по его краямъ. Для меньшаго зацепленія катка, рекомендуется ставить одинъ верхній зубъ по срединѣ катка и два нижнихъ зуба—по концамъ катка (фиг. 129). Верхніе зубья прикрѣпляются къ каткамъ и гнѣзда для нихъ высверливаются въ балансирѣ; нижніе зубья прикрѣпляются къ подушкѣ и гнѣзда для нихъ дѣлаются въ каткахъ (фиг. 129). Такое расположение зубьевъ необходимо для того, чтобы въ гнѣздахъ не могла застаиваться вода. Зубья можно отливать вмѣстѣ съ каткомъ и подушками; но удобнѣе изготовлять зубья отдѣльно и привинчивать ихъ. Такіе зубья дѣлаются со стержнемъ, на которомъ винтовою нарезкою или безъ стержня. Въ послѣднемъ случаѣ зубъ имѣетъ дыру и привинчивается шурупомъ (фиг. 129). вслѣдствіе этого головка должна имѣть большій размѣръ. Зубья въ зубьяхъ со стержнемъ.

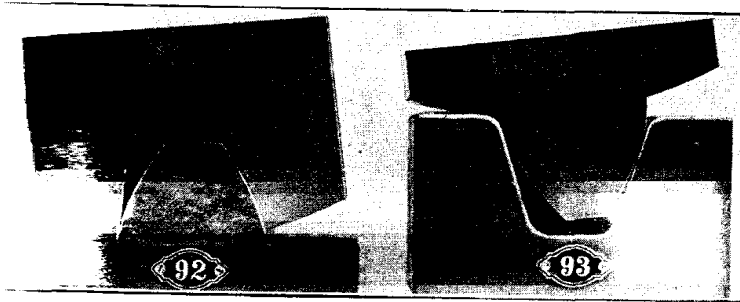


Фиг. 129. Нижній зубъ слѣдовало бы устроить въ плитѣ.

Ширина b основанія зуба вдоль фермы (фиг. 132) принимается отъ 40 до 80 мм., чаще всего 40—50 мм. Высота зуба опредѣляется изъ условія, чтобы онъ не выступалъ изъ гнѣзда, даже при самомъ большемъ отклоненіи катка отъ угла α отклоненія катка отъ нормальнаго положенія, диаметръ катка d , высота зуба b , наименьшая высота зуба будетъ по теоріи зубчатого зацепленія:

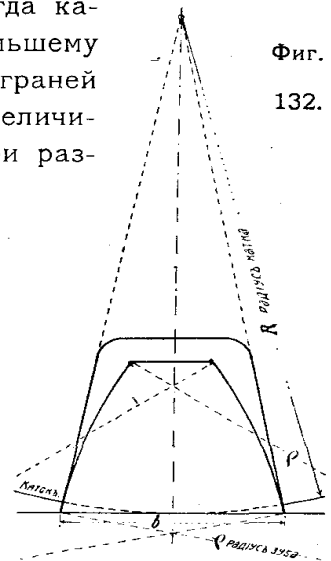
$-\cos \alpha) + \frac{1}{2} b \cdot \sin \alpha$. Обозначая через Δ наибольшее перемѣщеніе конца въ одну сторону, имѣемъ, согласно фиг. 112, $\sin \alpha = \frac{\Delta}{d}$. Принимая $\sin \frac{\alpha}{2} =$
получимъ $1 - \cos \alpha = 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{\Delta^2}{2d^2}$, такъ что $h = \frac{d}{2} \cdot \frac{\Delta^2}{2d^2} +$
 $\frac{\Delta}{2} = \frac{\Delta}{4d} (\Delta + 2b)$. На практикѣ высота h берется значительно больше.

Очертаніе гнѣзда въ каткѣ дѣлается возможно проще въ видѣ трапеція изъ двухъ прямыхъ, пересѣкающихся въ центрѣ катка. Очертаніе зуба опредѣлится такъ, чтобы при поворотѣ катка обѣ грани гнѣзда скользили по кривымъ поверхностямъ зуба, т. е. чтобы зубъ соприкасался со стѣнками гнѣзда какъ съ лѣвой, такъ и съ правой стороны (фиг. 130). Такое двустороннее соприкосновеніе должно прекращаться только въ томъ случаѣ, когда катокъ отклонился больше, чѣмъ соотвѣтствуетъ наибольшему отклоненію конца фермы. Точное очертаніе боковыхъ граней гнѣзда не всего построить графически въ натуральной величинѣ, поэтому разберемъ катокъ въ разныхъ положеніяхъ, т. е. при раз-



Фиг. 130.

Фиг. 131.

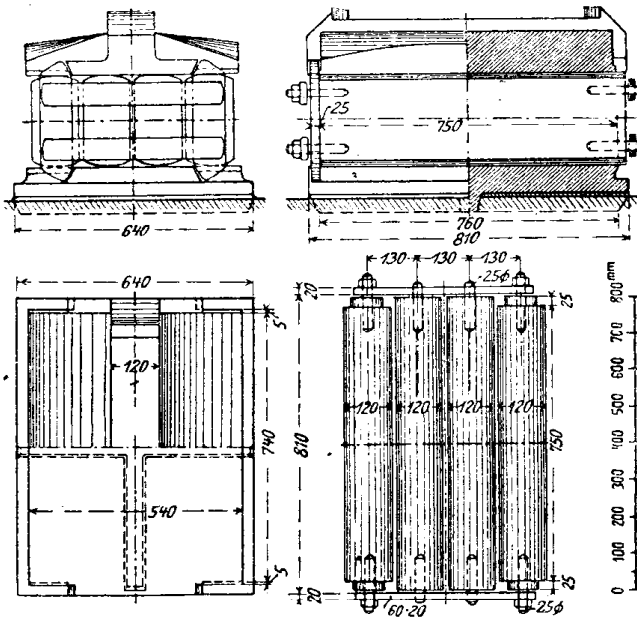


Фиг. 132.

отклоненія въ предѣлахъ перемѣщенной конца фермы. Если можно ограничиться приблизительнымъ очертаніемъ, то принимаютъ грани зуба по окружности діусомъ $\rho = 2 \cdot b$ до $2,5 \cdot b$, причѣмъ центры находятся на перпендикулярно-радіальнымъ боковымъ гранямъ гнѣзда (фиг. 132). Иногда дѣлаютъ зубья отрезка вертикальнаго цилиндра съ закругленіемъ верхняго края (фиг. 157). Оригинальнымъ устройствомъ зацепленія отличается опора, показанная на фиг. 158 и составленная изъ верхняго балансира съ цилиндрическою головкою, непосредственно опирается на опорный листъ, изъ 4-хъ срѣзанныхъ катковъ 250 мм. и длиною 750 и 800 мм. и изъ нижней подушки. Катки опираются между собою двумя парами направляющихъ изъ полосового желѣза, прибитыхъ къ крайнимъ каткамъ. Для удержанія катковъ отъ угона, отъ опрокидыванія и отъ поперечнаго сдвига, къ торцамъ крайнихъ катковъ прилиты веревочные брусочки, концы которыхъ обработаны въ видѣ зубьевъ, упирающихся на ступающіе приливы балансира и подушки.

Качающіеся брусочки. Для удержанія катковъ отъ угона, можно примѣнять два пары качающихся брусочковъ, которые удобнѣе всего располагать между катковъ; въ противномъ случаѣ пришлось бы оставлять между катками зазоры. Брусочки помѣщаютъ или на торцахъ катковъ, или между катками. Для конструкціи качающихся брусочковъ ознакомимся на нѣсколькихъ примѣрахъ;

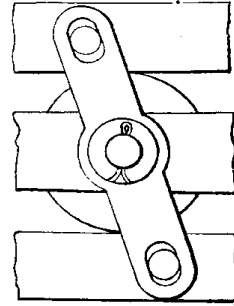
сперва рассмотримъ опоры съ круглыми катками. На фиг. 134 показана одна



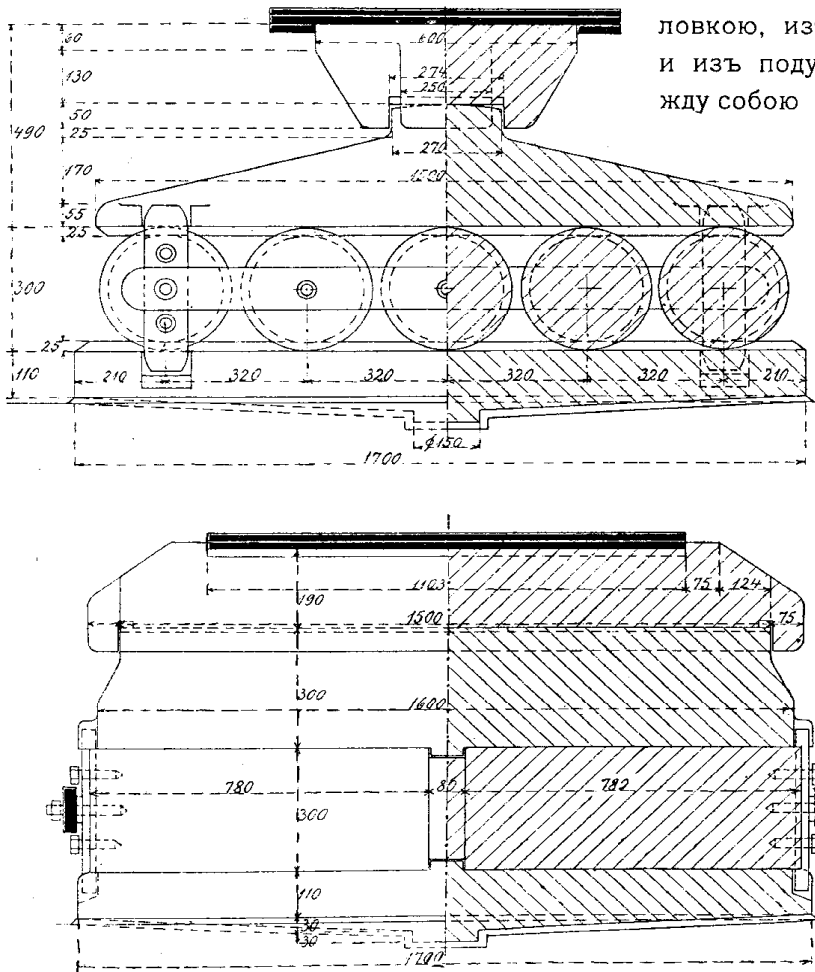
Фиг. 133. Ж.-д. аروح. м. чер. Неккаръ у Гейдельберга.

старыхъ конструкцій: качающійся брусокъ надѣтъ на цапфу концы бруска при помощи ныхъ дыръ прикрѣплены поде къ шипамъ, завинченнымъ въ балансира и нижней подушки.

Одна изъ новѣйшихъ конструкцій привлена на фиг. 135. Опора стоитъ изъ большого верго балансира сивнаго типа плоскою, изъ мааснаго нижняго балансира съ цилиндрическе



Фиг. 134.

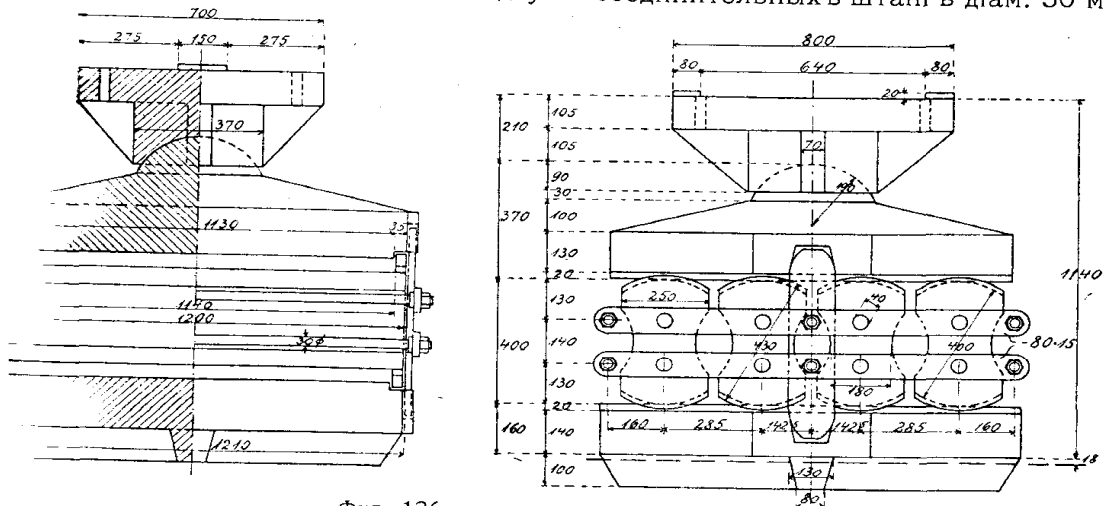


Фиг. 135. Ж.-д. мостъ чер. Вислу у Мюнстервальде. Соотвѣтствен. неподвижная опора помѣщена на стр. 79 фиг. 93.

ловкою, изъ пяти круглыхъ катки и изъ подушки. Катки связаны между собою рамою изъ двухъ по прикрѣпленныхъ всѣмъ цапфамъ помощи гаекъ. Качающіеся брусокъ шириною 30 мм. четыре, по два домъ крайнемъ. Бруски втople торцы катковъ 30 мм. и прикрѣ къ нимъ двумя тами. Концы бру закруглены на зубьевъ; нижніе пропущены въ угольные гнѣзда, вѣданныя въ по а гнѣзда для ве концевъ обра изъ приливовъ цахъ балансира. На фиг. казанъ случай, качающійся

по серединѣ между двумя катками и прикрѣплень только къ направляющей при помощи одного болта. Гнѣздами для качающагося бруска служатъ подушкѣ и парные приливы на торцахъ балансира.

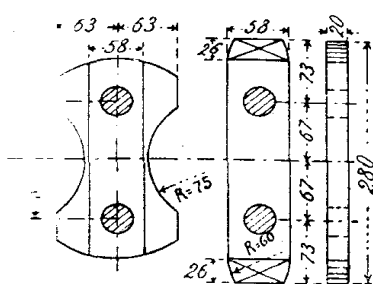
Участь срѣзанныхъ катковъ, качающіеся бруски также могутъ помѣщаться въ торцахъ катковъ или между ними. Въ примѣрѣ на фиг. 136 срѣзанные катки держатся отъ поперечнаго сдвига при помощи ребордъ на ихъ торцахъ. Катки связаны между собою двумя рамами, каждая изъ которыхъ состоитъ изъ двухъ направляющихъ и двухъ соединительныхъ штангъ діам. 30 мм.



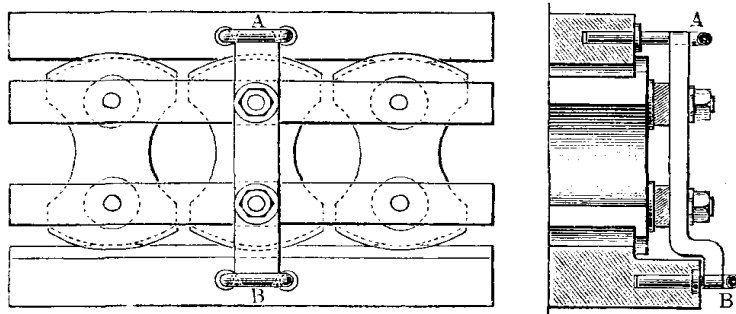
Фиг. 136.

Въ каждой изъ сторонъ имѣется съ каждой стороны только одинъ качающійся брусокъ, размѣщенный въ зазорѣ между рамами и торцами катковъ и прикрѣплень двумя болтами. Закругленные концы брусковъ пропущены въ трапециевидную выемку, выбранную въ балансирѣ и въ подушкѣ.

Въ другомъ примѣрѣ (фиг. 114). Срѣзанные катки этой опоры связаны между собою двумя направляющими изъ полосъ 70.15 мм., привинченными къ каткамъ. Каждый изъ этихъ катковъ снабженъ качающимся брускомъ 80.20 мм., который втѣпленъ въ торецъ катка на 10 мм. и прикреплень двумя винтами. Закругленные концы качающихся брусковъ пропущены въ выемку, вырѣзанную въ балансирѣ и въ подушкѣ. Со способомъ прикрѣплень качающагося бруска къ торцу катка можно ознакомиться по детальной детали. Брусокъ толщиной 20 мм. втѣпленъ въ торецъ катка на всю свою толщину и прикреплень двумя винтами.



Фиг. 137.

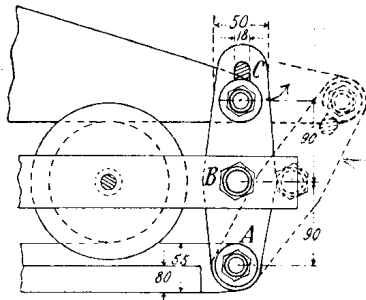


Фиг. 138.

Въ одной изъ конструкций качающагося бруска показана на фиг. 138. При помощи винтовъ брусокъ прикрѣплень къ катку и къ направляющимъ обѣихъ сторонъ. Снизу брусокъ имѣетъ колѣно, огибающее край подушки. Концы бруска

закруглены и пропущены въ отверстіе скобъ *A* и *B*, задѣланныхъ въ бока лансира и нижней подушки. Взамѣнъ скобы можно завинтить пару штифъ отстоящихъ одинъ отъ другого на ширину качающагося бруска.

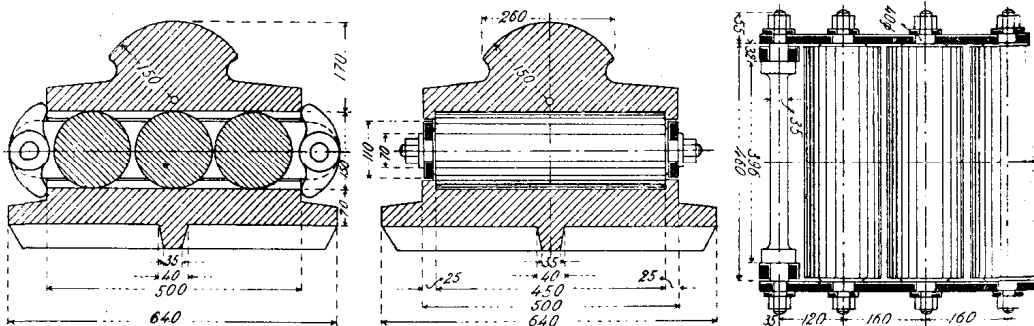
3) Для удержанія катковъ отъ угона можно пользоваться захвата крѣпленными къ угламъ катковой рамы. Въ фиг. 139 каждый захватъ изъ желѣзной планки, которая нижнимъ болтомъ *A* прикрѣплена къ подсреднимъ болтомъ *B*—къ направляющей рамы и верхнимъ болтомъ *C*—къ балансира, причѣмъ въ мѣстѣ *C* планка имѣетъ продолговатое отверстие болта. При движеніи катковъ вдоль фермъ захватъ поворачивается около подвижной точки *A*; такъ какъ его наибольшее отклоненіе зависитъ отъ продолговатаго отверстія въ концѣ *C*, то



Фиг. 139. Відукъ черезъ Инглаву (Австрія).

назначить эту длину такъ, чтобы она ствовала наибольшему перемѣщенію конца и такимъ образомъ задержать дальнѣйшеніе катковъ. Подобные захваты примѣны опоры на фиг. 140. Какъ видно изъ планки концы обѣихъ штангъ катковой рамы четыре захвата въ видѣ сегмента, которые вращаются и упираются верхнимъ концомъ края балансира и нижнимъ концомъ подушки. При движеніи катковъ захваты поворачиваются около своего нижняго неподвижнаго

и не допускаютъ перемѣщенія катковъ дальше назначеннаго предѣла.



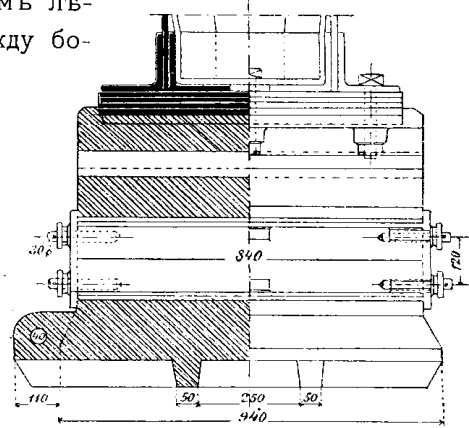
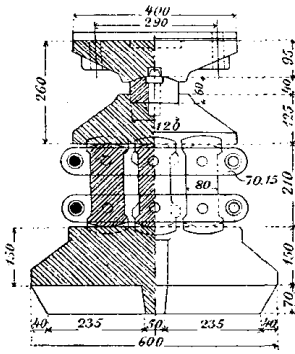
Фиг. 140. Путепроводъ въ Вердау (Саксонія).

Спеціальныя мѣры противъ опрокидыванія срѣзанныхъ катковъ. На стр. указано, что опрокидываніе срѣзанныхъ катковъ можно предупредить, если между ними сдѣлать не больше, чѣмъ требуется по расчету на полное шеніе конца фермы; но при этомъ зазоры получаются настолько узкими, трудняется осмотръ и чистка катковъ; вотъ почему эта мѣра лишена скаго значенія. Разсмотримъ другія мѣры, при которыхъ зазоры между могутъ имѣть нормальную ширину не менѣе 3 см.

1) Одинъ изъ среднихъ катковъ снабжаютъ по бокамъ приливами, устроены такъ, что при предѣльномъ отклоненіи катковъ оба ближайшихъ справа и слѣва упираются въ эти приливы, удерживая отъ дальнѣйшаго шенія и остальные катки, такъ какъ всѣ они связаны двумя параллельными. Указанные приливы могутъ тянуться по всей длинѣ катка; но дос- устроить ихъ въ видѣ отдѣльныхъ зубцовъ, расположенныхъ по серединѣ

на фиг. 141, гдѣ средній катокъ снабженъ 4-мя зубцами. Очертаніе или зубцовъ опредѣляется очень просто въ томъ случаѣ, если выкружки катковъ сдѣланы по окружности того же радіуса, какъ окружность Исходя изъ того, что при предѣльномъ отклоненіи катковъ (фиг. 142) оизойти плотное касаніе между бокомъ лѣ-

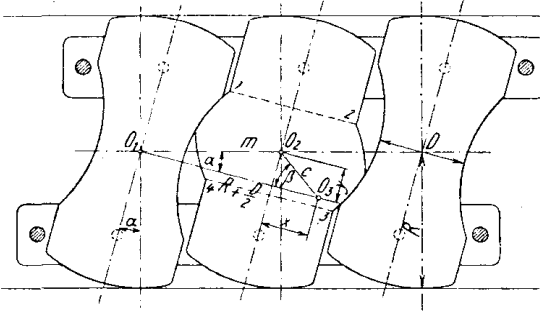
и лѣвымъ приливомъ, а также между бо- ваго катка и приливомъ, на- очертаніе при- цилиндриче- нности того же какъ боковыя катка. Для по- приливовъ, ос- опредѣлить центровъ O_3



Фиг. 141.

4-хъ окружностей,

мъ очерчены приливы. Въ виду симметріи, достаточно опредѣлить одного центра O_3 , соответ- верхней окружности лѣваго Введемъ слѣдующія обозначенія 42):



Фиг. 142.

яніе между центрами катка O_1 и O_2 , отклоненія катковъ, разчитываемый по мулъ на стр. 90,

ъ катковъ, ихъ боковыхъ выкружекъ и жностей, по которымъ очерчены приливы, катковъ по серединѣ ихъ высоты,

O_3 — разстояніе между центромъ средняго катка и центромъ O_3 верхней окружности его ваго прилива.

скомый центръ O_3 имѣеть по отношенію къ наклоннымъ осямъ симметріи катка слѣдующія координаты:

$$\begin{aligned} x &= c \cdot \cos \beta \\ y &= c \cdot \sin \beta = m \cdot \sin \alpha \end{aligned}$$

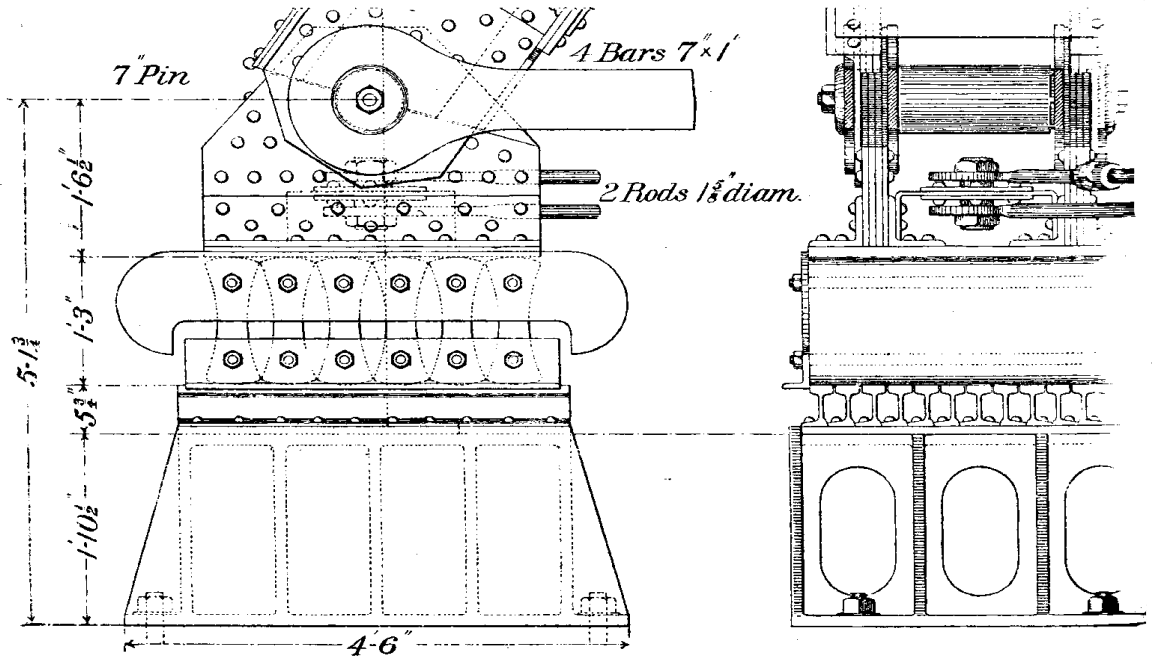
ѣстныхъ значенія β и c опредѣляются изъ разсмотрѣнія $\Delta O_1 O_2 O_3$, соответ- шаго предѣльному отклоненію катковъ,

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{m \cdot \sin \alpha}{R + 0,5 \cdot D \cdot m \cdot \cos \alpha}; \quad c = O_2 O_3 = m \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}.$$

2) Въ Америкѣ примѣняется оригинальный способъ для предохраненія срѣ- хъ катковъ отъ опрокидыванія. Концамъ направляющихъ верхней рамы въ придають форму крючка (фиг. 101 и 143), который упирается въ конецъ авляющей нижней рамы, когда катки отклонились до максимальнаго предѣла.

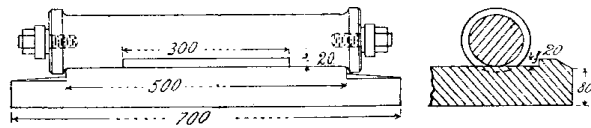
Д. Подушки для катковъ слѣдуетъ устраивать по возможности безъ всякихъ йнъ; можно еще допустить двѣ закраины одного направленія; но устройство йнъ со всѣхъ четырехъ сторонъ подушки совсѣмъ не допустимо, ибо такую

подушку нельзя выстрогать; кроме того, въ ней застаивается вода и труд



Фиг. 143. Мостъ черезъ Миссиссиппи въ Мемфисѣ.

очистить отъ сора. Если края подушки, параллельные каткамъ, желательн

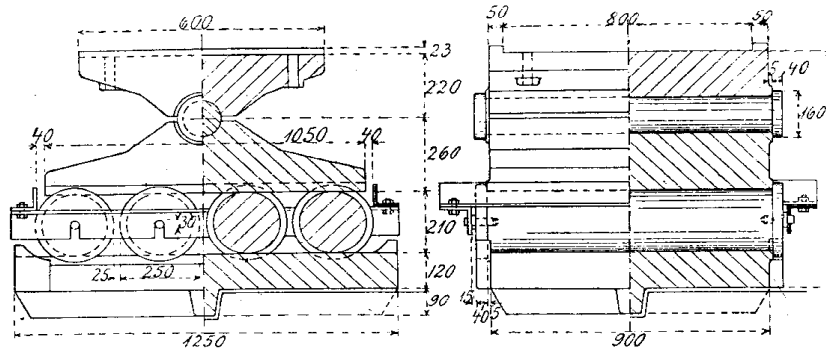


Фиг. 144.

дуть закрайнами, чтобы преду

случайный сходъ катковъ съ п
(хотя эта мѣра предосторожно
лишняя), то вмѣсто непрерывн
крайны, можно ограничиться

ствомъ короткой (300 мм.) закрайны по серединѣ (фиг. 144) или двухъ



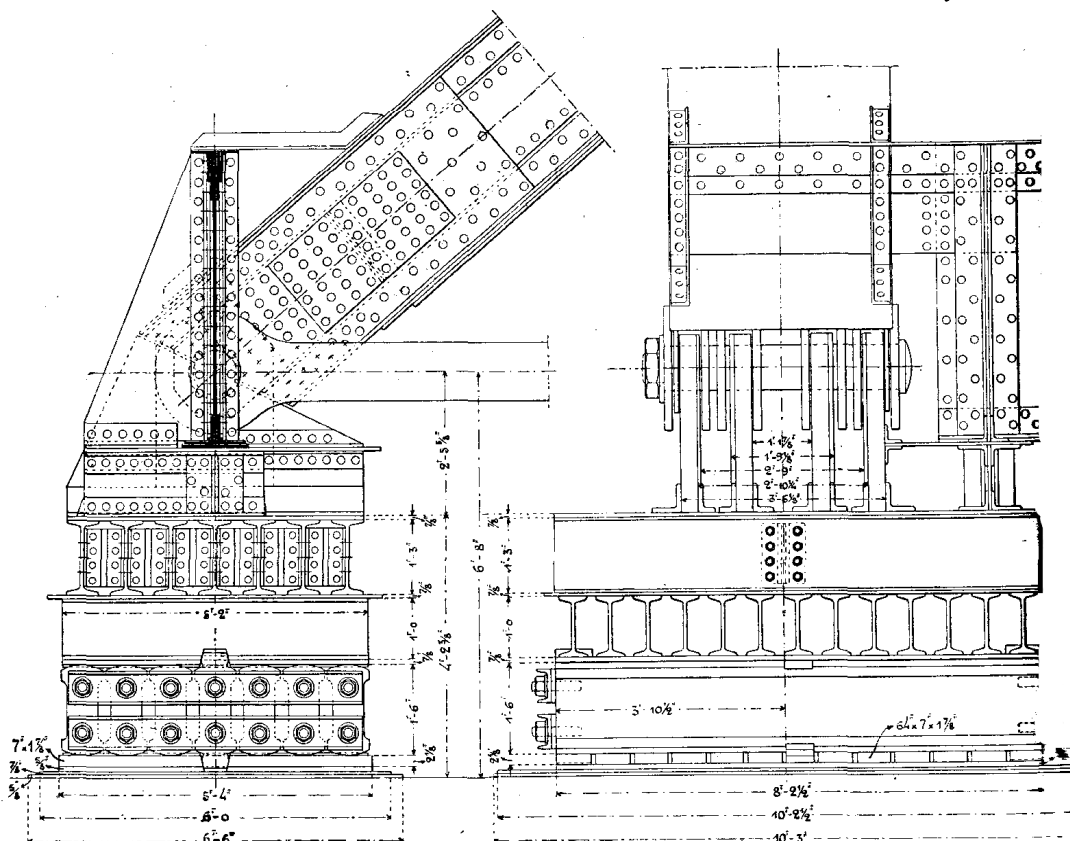
Фиг. 145.

лѣ коротких
крайнь (не бол.
мм.) около угл
душки (фиг. 165
торцы катковъ
кольцеобразны
борды, то лучш
выносить закра
предѣлы стр
поверхности п
помѣщая ихъ

тивъ ребордъ катковъ, какъ сдѣлано на фиг. 145.

Трехшарнирная опора. Извѣстно, что при наличности нѣсколькихъ давление распредѣляется между ними неравномѣрно. Когда опора имѣеть катка, можно устранить этотъ недостатокъ, если между верхними баланси катками помѣстить еще два вспомогательныхъ балансира. Разсмотримъ опору (фиг. 146), примѣненную въ 1911 году. Опора состоитъ изъ мас верхняго балансира съ шаровою чашкою, опирающагося на ребристый бал снабженный снизу двумя плоскими головками, черезъ которыя давление пе двумя вспомогательнымъ балансирамъ съ цилиндрическими головками.

По верху, по низу, а также по серединѣ между двутавровыми настилами, клепаны листы, толщиной $7/8$ дм. Балансиръ покоится на 7 сръзанныхъ связанныхъ между собою съ каждой стороны двумя направляющими изъ ровъ, приболченныхъ къ цапфамъ. Торцы катковъ снабжены выступающи.

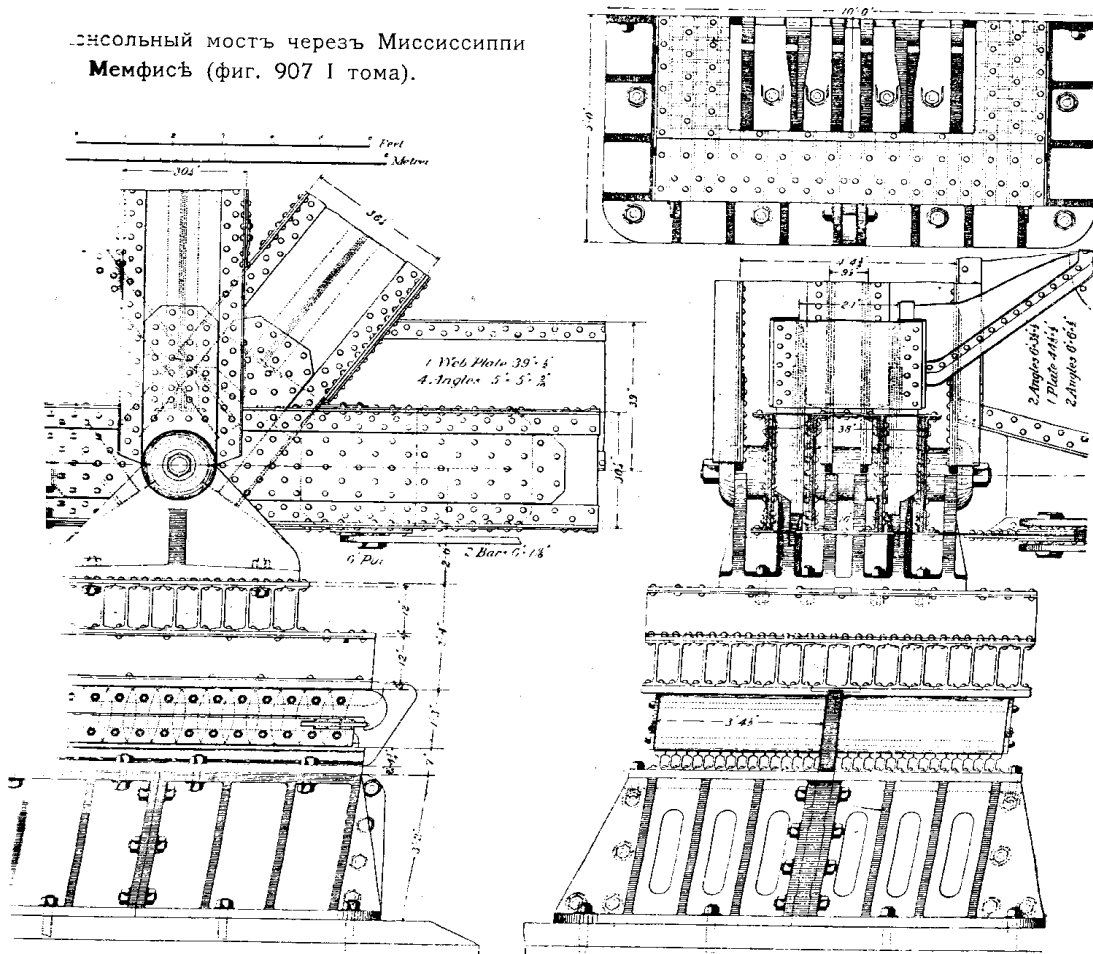


Фиг. 147. Жел.-дор. мостъ чер. р. Delavare, Pennsylvania-New-Jersey. R. R. (фиг. 767 I

бордами, удерживающими катки отъ сдвига поперекъ фермы. Во избѣжаніе дольнаго угона, средній катокъ имѣетъ на каждомъ концѣ верхній и нижній Оригинально устройство нижней подушки изъ ряда желѣзныхъ полосъ съече $7.17/8$ дм., уложенныхъ на трехъ листахъ, толщиной $5/8$, $7/8$, $5/8$ дм.

Другой примѣръ подвижной американской опоры съ еще большимъ опо давленіемъ въ 1814 тон. представленъ въ фиг. 148. Шарнирный болтъ, діам. покоится въ стальномъ ребристомъ балансирѣ. Для увеличенія площади основа лансира, подъ нимъ устроенъ двухъярусный настилъ изъ двутавровъ, расположе на крестъ и склепанныхъ между собою горизонтальными листами по верху, по и по серединѣ. Катки—сръзаннаго типа; ихъ діаметръ 15 дм.; черезъ кажды токъ пропущено 2 стяжныхъ болта. По длинѣ катки состоятъ изъ двухъ въ зазорѣ между ними находится двѣ направляющихъ. Нижняя направ спускается до подферменнаго камня и зажата между половинами нижняго наго стула, удерживая катки отъ сдвига поперекъ фермы. Верхняя направ помещается по серединѣ высоты катковъ, между верхнимъ и нижнимъ стяжныхъ болтовъ, и представляетъ полосу съ концами, въ видѣ двойного для предохраненія катковъ отъ опрокидыванія. Снаружи торцы катковъ между собою нижними и верхними направляющими, причѣмъ концы посл снабжены крюкомъ, на случай опрокидыванія катковъ.

Консольный мостъ черезъ Миссиссиппи
Мемфисъ (фиг. 907 I тома).



ковна катковъ при постройкѣ моста. Катки подвижной опоры мѣняютъ свое положеніе перемѣщеніи конца фермы, которое вызывается измѣненіемъ температуры воздуха и фермы отъ дѣйствія нагрузки. Поэтому при установкѣ пролетнаго строенія на опоры каткамъ именно то положеніе, которое соответствуетъ температурѣ воздуха и вески фермъ въ моментъ установки. Обыкновенно исходятъ изъ того соображенія, что находиться въ нормальномъ положеніи въ то время, когда температура воздуха дней годовой температурѣ данной мѣстности и когда фермы находятся подъ дѣй-

постоянной нагрузки; тогда середина балансира должна находиться надъ серединою ки. Пояснимъ на примѣрѣ, какъ устанавливаются катки, если температура воздуха со средней годов-

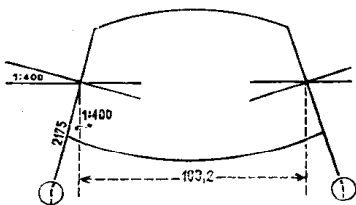
рой. Предположимъ, имѣетъ сръзанные прогибъ фермы отъ нагрузки, тангенсъ нейтральной оси 1:400 (фиг. 149) и способу, изложен-

Имѣя разстояніе шарнира и серединою

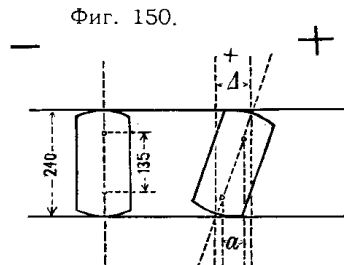
ки равное 2175 мм. и пренебрегая малою разницею между длиною нейтральной оси послѣ ея прогиба, получимъ перемѣщеніе Δ_1 шарнира при прогибѣ фермы отъ по-

рузки: $\Delta_1 = \frac{2175}{400} = 5,44$ мм. Такъ какъ одна опора неподвижна, то шарниръ под-

перемѣстится на $2\Delta_1$. Если въ моментъ установки катковъ наблюдается темпера-



Фиг. 149.



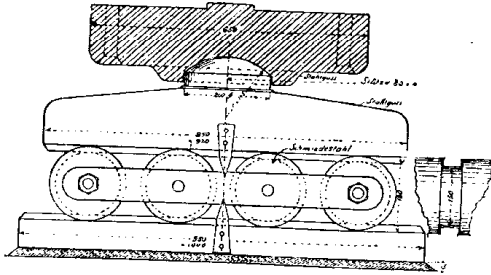
Фиг. 150.

- 20° Ц., которая выше средней температуры данной мѣстности, равной + 5° Ц., то

ферма длиннѣе, чѣмъ при средней температурѣ на величину

$$\Delta_2 = (T - 5) \alpha \cdot l = (20 - 5) 0,0000 108.103 200 = 16,65 \text{ мм.}$$

Такъ какъ температура T выше средней, то катки должны имѣть уклонъ наружу пролетѣ обратный уклону, вызванному прогибомъ фермы внизъ; поэтому при сборкѣ катковъ несл. придать имъ такой уклонъ, который соотвѣтствуетъ перемѣщенію конца фермы на $\Delta = -2\Delta_1 = + 16,65 - 2.5,44 = + 5,77$ мм. Катки будутъ имѣть такой уклонъ (фиг. 151) горизонтальная проекція разстоянія между обѣими цапфами катка (135 мм.) имѣть



$= \frac{135}{240} \cdot \Delta = 3,25$ мм., гдѣ 240 мм. діаметръ а $\Delta = 5,77$ мм. Если бы температура T въ установкѣ была ниже средней температуры. опредѣленіи требуемаго уклона катковъ пришея руководствоваться слѣдующимъ перемѣщеніемъ фермы: $\Delta = +\Delta_2 + 2\Delta_1$.

Фиг. 151. Жел.-дор. мостъ у Вальтропа.

Чтобы облегчить измѣренія при установкѣ, иногда снабжаютъ балансиръ и подушкѣ (фиг. 151), которые должны совпадать время, когда температура воздуха какъ разъ средней годовой температурѣ данной мѣстности и когда на мостъ дѣйствуетъ только нагрузка.

Разсчетъ катковъ. Катки разсчитываются на смятіе въ мѣстахъ ихъ касанія съ балансиромъ и съ нижнею подушкою. По вопросу о разсчетѣ на смятіе существуетъ обширная литература. Почти всѣ способы разсчета ваны на различныхъ допущеніяхъ и имѣютъ условный характеръ. Набогій разсчетъ катковъ можетъ быть произведенъ на основаніи теории Герженной въ §§ 5 и 6, пользуясь формулами № 20 и 22 для наибольшаго женія на смятіе въ мѣстахъ касанія катка. Что касается вопроса о доемыхъ напряженіяхъ на смятіе катковъ, то онъ разсмотрѣнъ Тамъ же помѣщена таблица съ данными о каткахъ крупныхъ существмостовъ. Рекомендую читателю разсчетъ катковъ по формуламъ Герца, не лишнимъ привести краткій систематическій обзоръ важнѣйшихъ предложенныхъ для этой цѣли разными авторами.

Обзоръ формулъ для разсчета катковъ на смятіе. 1. Формула Винклера. Употребительмулы Винклера, Бенча, Гезелера, Кульмана, Грасгофа и Вильмана для разсчета на смятіе и свободныхъ шарнировъ, можно разсматривать какъ частные случаи уравненія, выведеннвартомъ ³⁾ и затѣмъ Винклеромъ ⁴⁾ въ предположеніи, что упругія деформаціи (вдавливеніемѣстахъ соприкасанія пропорціональны соотвѣтствующимъ имъ нормальнымъ давленія уравненіе гласитъ

$$n \cdot l = \frac{3 A}{4 \sigma \sqrt{(\alpha + \beta) \epsilon \cdot d}} \dots \dots \dots$$

и относится къ общему случаю, когда давленіе опоры A передается при посредствѣ внизу балансира на n цилиндровъ, діаметромъ $d = 2r$ и длиною l , причеиъ σ обозначаетъ напряженіе смятію, а α и β эмпирическіе коэффициенты. Пользуясь этою формулою, можнстать одну изъ величинъ n, l, d въ томъ случаѣ, если задаться двумя остальными величинна основаніи конструктивныхъ соображеній. Подставивъ $n = 1$, можно пользоваться формул для разсчета шарнира при свободномъ касаніи.

Коэффициенты α и β выражаютъ зависимость между напряженіемъ σ и производиупругою деформаціею (вдавливаніемъ) e . Для случая соприкасанія цилиндра съ плоскоюупругая деформація будетъ

$$e_1 = \alpha \cdot \sigma \text{ (для цилиндра);} \quad e_2 = \beta \cdot \sigma \text{ (для плиты).} \dots \dots \dots$$

³⁾ Stévant. Zft. d. Arch. u. Ing. Ver. zu Hannover. 1875 Pag. 291.

⁴⁾ Winkler. Die Gitterträger u. Lager eiserner Brücken. 1875. Pag. 274.

нимаютъ коэффициенты α и β только въ зависимости отъ матеріала. Руководствуясь существующихъ мостовъ, онъ рекомендуетъ:

и желѣзныхъ катковъ $\frac{3}{4\sqrt{\alpha+\beta}} = 5$

катковъ $\frac{3}{4\sqrt{\alpha+\beta}} = 4$

эти значенія въ уравненіе 45, получается:

и желѣзныхъ катковъ $n.l = \frac{5A}{\sigma\sqrt{\sigma.d}} \dots \dots \dots (47)$

катковъ $n.l = \frac{4A}{\sigma\sqrt{\sigma.d}} \dots \dots \dots (48)$

Бенча и Гезелера. Если предположить, что цилиндры заключены между вполнѣ плитами ($e_2=0$) и представляютъ призмы высотой $d=2r$, сжимаемыя вполнѣ равномерно высотѣ, тогда упругое укороченіе $2e_1$ цилиндровъ съ коэффициентами упругости E

$$2e_1 = \frac{\sigma}{E} \cdot d.$$

ставляя это значеніе e_1 , а также $e_2 = 0$ въ уравненіе 46, получимъ

$$\frac{\sigma}{E} \cdot \frac{d}{2} = \alpha \cdot \sigma \quad \text{откуда} \quad \alpha = \frac{d}{2 \cdot E}$$

$$0 = \beta \cdot \sigma \quad \beta = 0.$$

эти значенія α и β въ уравненіе 45, получится формула Бенча ⁵⁾

$$n.l = \frac{3A}{4 \cdot \sigma \cdot d} \cdot \sqrt{\frac{2E}{\sigma}} \dots \dots \dots (49)$$

формула не отличается отъ формулы Гезелера ⁶⁾ въ томъ случаѣ, если принять толщину радіусу цилиндровъ. Нераціональность предположенія Бенча (отсутствіе упругости сказывается въ томъ случаѣ, если плиты и цилиндры устроены изъ одинаковаго

Кульмана-Тетмайера. Предполагается, что коэффициенты α и β , соответствующіе и плитѣ, одинаковы и равны коэффициенту α , принятому Бенчемъ для цилиндра, такъ $\alpha = \frac{d}{2E}$.

ставляя въ основное уравненіе 45, получится формула, данная Кульманомъ ⁷⁾ при условіи плиты и цилиндровъ изъ одинаковаго матеріала,

$$n.l = \frac{3A}{4 \cdot \sigma \cdot d} \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \dots \dots \dots (50)$$

Формула Грасгофа. Предполагается упругая деформация не только цилиндра, но и плиты, того, что сжатіе цилиндра распространяется равномерно на высоту $d/2$, а сжатіе всю ея толщину δ , т. е.

$$e_1 = \frac{\sigma}{E_1} \cdot \frac{d}{2} \quad e_2 = \frac{\sigma}{E_2} \cdot \delta$$

ставляя въ уравненіе 46, получится

$$\alpha = \frac{d}{2 \cdot E_1} \quad \beta = \frac{\delta}{E_2}$$

въ основное уравненіе 45, получится формула Грасгофа ⁸⁾:

$$n.l = \frac{3A}{4 \cdot \sigma} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{d}{2E_1} + \frac{\delta}{E_2}\right) \cdot \sigma \cdot d}} \dots \dots \dots (51)$$

⁵⁾ Zentsch. Deutsche Bauzeitg. 1876. Pag. 329.
⁶⁾ Haeseler. Der Brückenbau. 1888. Pag. 114.
⁷⁾ Tetmajer. Die Baumechanik II 2-te Auflage.
⁸⁾ Grashof. Theorie d. Elastic. u. Festigkeit. 1878. Pag. 50.

Грасгофъ рекомендуетъ принимать для E_1 и E_2 не дѣйствительныя значенія коэф- товъ упругости матеріала цилиндровъ и плиты, а нѣкоторыя эмпирическія значенія, которыя опредѣлить путемъ опытовъ.

5. Формула Вильмана. Если предположить, что въ формулѣ 51 Грасгофа E_1 и E_2 вляютъ коэффициенты упругости матеріала цилиндровъ и плиты и принять $\delta = \varepsilon \cdot d$, читается формула Вильмана ⁹⁾:

$$n.l = \frac{3.A}{4.\varepsilon.d} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{E_1} + \frac{\varepsilon}{E_2}\right) \frac{\sigma}{2}}}$$

а для случая, когда цилиндры и плита исполнены изъ одинаковаго матеріала, причемъ $E =$

$$n.l = \frac{3.A}{4.\varepsilon.d} \cdot \sqrt{\frac{2.E}{(1 + \varepsilon).\sigma}}$$

З а к л ю ч е н і е. Всѣ вышеприведенныя формулы основаны на болѣе или менѣе ныхъ предположеніяхъ и потому даютъ лишь самые приблизительные результаты, тому же часто противорѣчатъ другъ другу. Такъ, напримѣръ, сопоставляя формулы 49. усматривается, что при одинаковыхъ условіяхъ формула 49 даетъ въ $\sqrt{2}$ раза больше чѣмъ формула 50, и въ $\frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon}}$ разъ меньше катковъ, чѣмъ формула 53.

Болѣе строгій расчетъ напряженій при смятіи катковъ возможенъ на основаніи Герца о касаніи твердыхъ упругихъ тѣлъ (см. §§ 5 и 6).

Опыты Crandall'я и Wing'a. Для выясненія вопроса о томъ, какое число ній могутъ выдержать цилиндрическіе катки при дѣйстви на нихъ нагрузки. Grandall и Wing ¹⁰⁾ произвели обширные опыты съ катками и плитками изъ стали и желѣза. Сообщаемъ вкратцѣ результаты, полученные для чугуна стальныхъ катковъ. Для cadaго опыта примѣнялось по три цилиндрическіе катка одинаковаго діаметра и по три плитки, толщиной 3,7 см. Образцы вливались въ прессъ такъ, чтобы между верхнею и среднею плитками помѣ одинъ катокъ, а между нижнею и среднею—два катка, причемъ оси всѣхъ были взаимно параллельны. Во время опыта, средняя плитка при помощи низма двигались впередъ и назадъ, приблизительно на 2 см., вращая при катки. Число движеній средней плитки составляло въ каждомъ опытѣ отъ до 800000 разъ и опредѣлялось помощью счетчика. Давленіе на катки пост увеличивалось и составляло отъ 13 до 114 к. на см². діаметральнаго катка. Продолжительность нѣкоторыхъ опытовъ доходила до полутора мѣс При наблюденіи износа катковъ и плитокъ замѣчалось, что трущаяся повер сперва тусклѣли, затѣмъ чернѣли; при увеличеніи износа появлялась черная и наконецъ обнаруживалось смятіе поверхностей соприкасанія, сопровож выпираниемъ металла въ торцахъ катковъ и около краевъ плитокъ. Резул относящіеся къ стальнымъ и чугуннымъ каткамъ на такихъ же плитахъ, дены въ слѣдующей таблицѣ; результаты, относящіеся къ желѣзнымъ катк плитамъ, не приводятся, такъ какъ они не имѣютъ значенія для опорныхъ мостовъ. Данныя о матеріалѣ катковъ приведены въ таблицѣ 10 на стр. 2

Для выясненія, насколько условія опытовъ соотвѣтствуютъ дѣйствит работѣ мостовыхъ катковъ, были сдѣланы наблюденія на двухъ мостахъ. В вомъ мостѣ, пролетомъ около 30 м., съ каменными устоями, наблюдалось подвижная опора плавно сдвигалась въ одну сторону при вѣздѣ поѣзда на

⁹⁾ v. Willmann. Zft. d. Ver. Deut. Ing. 1886. Pag. 914.

¹⁰⁾ Proceed. Amer. Soc. Civ. Eng. XXXII 1894. Pg. 103

p_0 нагрузка на см. ² діам. сѣ- ченія катка к./см. ² .	σ напряжение на смятіе по формуль 22 Герца к./см. ² .	Число движеній средней плиткі.	Состояніе поверхности:		Значенія p_0 и σ , соотвѣтству- ющія предѣлу упругости катка, испы- тан. въ со- стояніи покоя к. см. ² .
			катка.	плиткі.	
46 69 114	4020 4930 6330	277165	Потусклѣла. Почернѣла и начала сми- наться. Смялась.	Износъ больше, чѣмъ въ каткахъ.	$p_0 = 328$ $\sigma = 10740$
46 93	4020 5730	361154	Почернѣла. Начала сми- наться.		$p_0 = 245$ $\sigma = 9320$
39 41 79	3700 3800 5280	631642	Почернѣла. Начала сми- наться. Смялась.	Почернѣла. Начала сми- наться. Смялась.	$p_0 = 336$ $\sigma = 10930$
13 26 40	2140 3030 3750	806483	Потусклѣла. Мѣстами по- чернѣла. Почернѣла.	Потусклѣла и мѣстами почернѣла. Почернѣла. Почернѣла.	$p_0 = 336$ $\sigma = 10930$
36 38 75	5270 5420 7630	468088	Потусклѣла. Почернѣла.	Потусклѣла Почернѣла.	$p_0 = 134$ $\sigma = 10190$

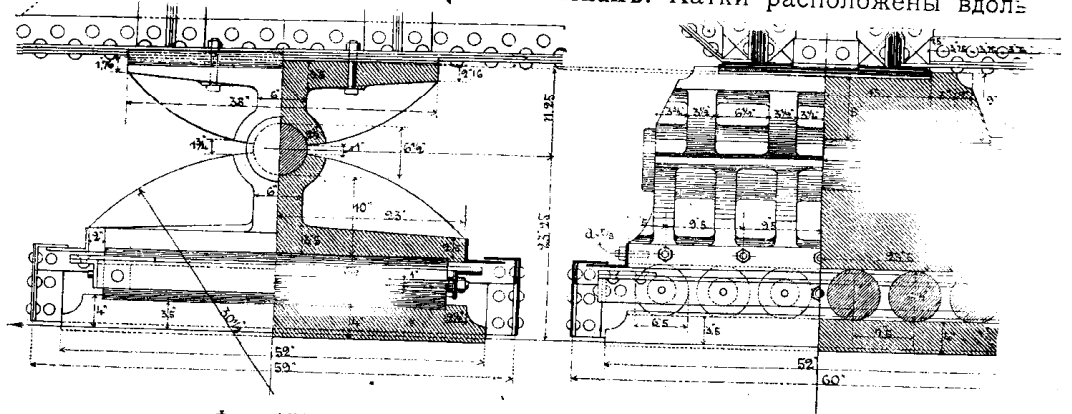
ода поѣзда возвращалась въ свое первоначальное положеніе, не испыты-
кихъ промежуточныхъ колебаній. Во второмъ мостѣ, пролетомъ около
движная опора была расположена на устоѣ, а подвижная на камен-
толщиною 2,3 м. и высоту 7,5 м. надъ водою. Подвижный конецъ
ительно колебался, но бѣльшая часть колебаній передавалась быку, не
иженія катковъ. Короткій поѣздъ изъ паровоза и двухъ вагоновъ сдви-
туда и назадъ, вызвавъ около восьми ихъ колебаній по 1 мм. Три
товарныхъ поѣзда дали каждый по три движенія впередъ и назадъ, безъ
промежуточныхъ колебаній катковъ. Crandall предлагаетъ вообще счи-
число колебаній катковъ при проходѣ каждаго поѣзда = 10. При
поѣздовъ въ сутки общее число колебаній катковъ въ годъ будетъ
что числа колебаній, приведенныя въ опытахъ Crandall'я, могутъ быть
въ нѣсколько лѣтъ.

ТКОВЫЯ ОПОРЫ СЪ ПОПЕРЕЧНОЮ, ДІАГОНАЛЬНОЮ И ВЕСЕСТОРОННЕЮ ПОДВИЖНОСТЮ.

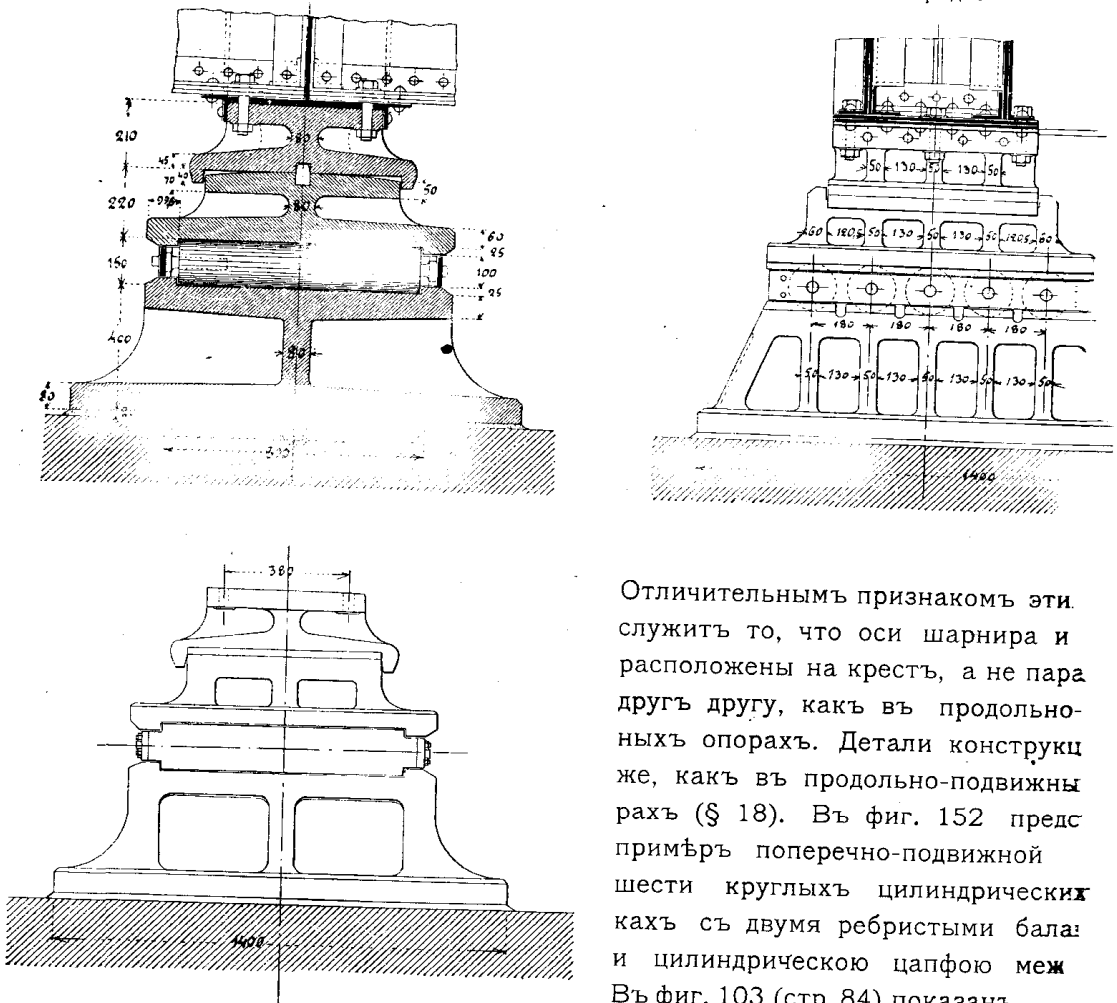
§ 4 мы ознакомились съ вопросомъ о расположеніи подвижныхъ и не-
опоръ моста. Устройство опоръ моста считается раціональнымъ, если
строеніе можетъ свободно расширяться какъ при равномерномъ, такъ
неравномерномъ дѣйствіи теплоты и если опоры не препятствуютъ свобод-
фермъ при дѣйствіи нагрузки. Разсматривая различные типы под-
опоръ, встрѣчающіеся въ фиг. 14, 15, 18, 19, 20, 25, мы можетъ раздѣ-
на 4 типа, смотря по направленію ихъ подвижности, а именно — на опоры

съ продольною, поперечною, діагональною и всестороннею подвижностью. дольно-подвижными катковыми опорами мы ознакомились въ § 18. Въ насъ § рассмотримъ остальные три типа опоръ, останавливаясь пока на под- опорахъ съ катками.

I. Поперечно-подвижныя опоры на каткахъ. Катки расположены вдоль



Фиг. 152. Городской мостъ черезъ Волховъ въ Новгородѣ.



Фиг. 153. Городской мостъ чер. ж.-д. пути у центрального вокзала въ Дрезденѣ.

Отличительнымъ признакомъ эти служить то, что оси шарнира и расположены на крестъ, а не пара другъ другу, какъ въ продольныхъ опорахъ. Детали конструи же, какъ въ продольно-подвижныхъ (§ 18). Въ фиг. 152 предс примѣръ поперечно-подвижной шести круглыхъ цилиндрическихъ кахъ съ двумя ребристыми бала и цилиндрическою цапфою меж Въ фиг. 103 (стр. 84) показанъ мѣрь съ 8 сръзанными ка цоидальнаго очертанія, которое какъ бы продолженіемъ лежащаго на каткахъ балансира и соотвѣтствуетъ

вѣроятнаго распредѣленія давленія. Въ фиг. 153 показана поперечно-опора на пяти круглыхъ цилиндрическихъ каткахъ діам. 150 мм. Края балансира и стула захватываютъ торцы катковъ. Направляющія рамы для аполняютъ пространство между краями стула и нижняго балансира, затки отъ засоренія. Въ закрайнахъ стула, по серединѣ между каждоковъ, сдѣланы прорѣзы для стока воды и для облегченія чистки. Шаропоры достигается выпуклостью нижняго балансира, по которому качается ерхній балансиръ.

Діагонально-подвижныя опоры. Простѣйшее средство, которымъ достигается опоры не только въ продольномъ, но и въ поперечномъ направленіи,

въ расположе-
перпендикулярно
ѣйствующей изъ
и поперечнаго
опоры. Такое

оложеніе катковъ
впервые въ 1893 г.

Кепке для большаго моста че-
въ Лошвицѣ.

(фиг. 266). Какъ

въ § 4, недоста-
рѣ съ косымъ рас-
емъ катковъ заклю-
въ томъ, что онѣ

ируютъ правильно
условіи равно-
расширенія фермъ

ечной конструкціи
ри неравноѣрномъ
ніи, равнодѣйствию-

продольнаго и по-
перемѣщенія опо-
правлена перпенди-
къ оси катковъ,

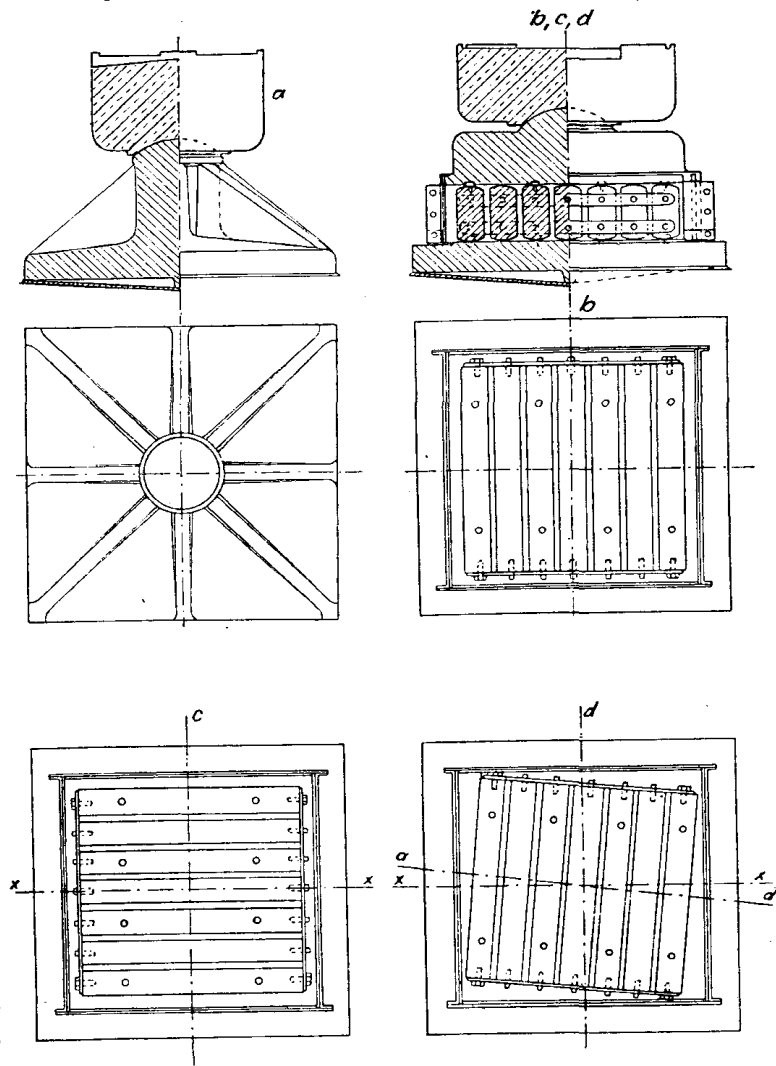
ферма принуждена
скользить по кат-

Чѣмъ меньше косина
тѣмъ меньше этотъ

гатовъ, вслѣдствіе чего
ложены расположенія

согласно фиг. 15 и 17. Если по устройству проѣзжей части и тротуаровъ можно
равноѣрнаго расширенія фермъ и поперечной конструкціи, то расположе-
порь согласно фиг. 15 и 17 слѣдуетъ признать вполне удовлетворительнымъ.

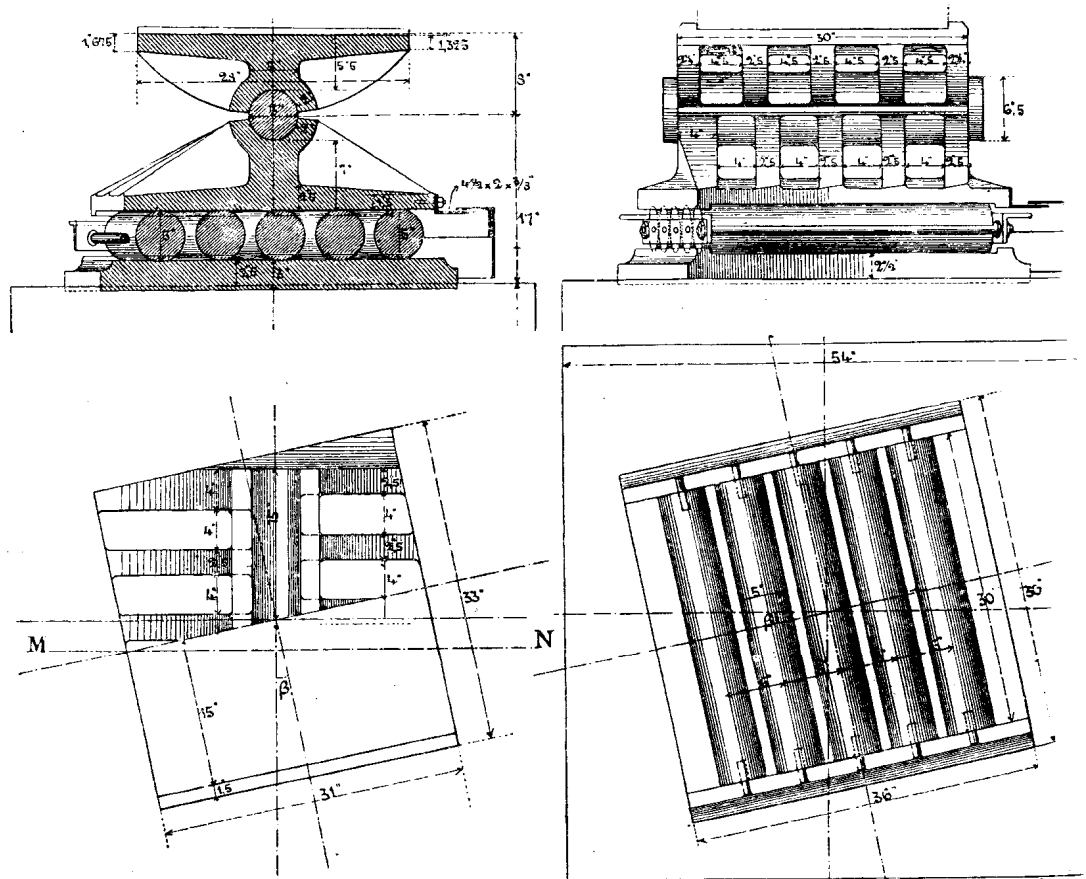
Примѣръ устройства опоръ согласно фиг. 14 показанъ въ фиг. 154, гдѣ
а, b, c, d всѣхъ четырехъ опоръ размѣщены въ порядкѣ ихъ дѣйстви-
наго расположенія. Мостъ шоссеиный съ ѣздой по низу и съ наружными



Фиг. 154. Шоссеиный мостъ черезъ Мозель въ Трарбахъ.

тротуарами, такъ что нижніе пояса фермъ и поперечныя балки вмѣстѣ съ ними связями всегда находятся въ тѣни отъ проѣзжей части и тротуаровъ. Устройство опорныхъ частей значительно упрощено примѣненіемъ шаровыхъ нировъ: число различныхъ моделей сокращено до минимума, такъ какъ лансиры и катки всѣхъ трехъ подвижныхъ опоръ не разнятся между собою. Поперечно-подвижная опора (фиг. 154, *c*) отличается отъ продольно-подвижной опоры (фиг. 154, *b*) только тѣмъ, что катки повернуты на 90° . Въ діагонально-подвижной опорѣ (фиг. 154, *d*) катки имѣютъ косое положеніе относительно фермы $X X$. Единственная неподвижная опора (фиг. 154, *a*) имѣетъ одинакую высоту съ подвижными. Расположенная противъ нея поперечно-подвижная (фиг. 154, *c*) устроена неподвижно вдоль фермъ, такъ какъ катки снабжены зубьями, заключенными въ гнѣзда балансира и подушки (фиг. 128).

Другой примѣръ опоры съ косымъ расположеніемъ катковъ представле(н)а фиг. 155; соотвѣтственная поперечно-подвижная опора показана въ фиг. 152.



Фиг. 155. Городской мостъ черезъ Волховъ въ Новгородѣ.

виду необходимости расположить цилиндрическую цапфу перпендикулярно къ фермы, ось шарнира образуетъ съ осью катковъ острый уголъ β , вслѣдствіе нижній балансиръ получается несимметричнымъ.

III. **Опоры со всестороннею подвижностью.** При употребленіи катковъ, подвижность опоры по всѣмъ направленіямъ горизонтальной плоскости можетъ быть

1) При цилиндрическихъ шарнирахъ пришлось бы отливать нижніе балансиры всѣхъ подвижныхъ опоръ по разнымъ моделямъ (фиг. 155).

устройствомъ двухъ ярусовъ цилиндрическихъ катковъ, рас-
 женныхъ на крестъ, или одного яруса шаровыхъ катковъ.

А. Двухъярусныя опоры. Первое примѣненіе двухъярусной опоры въ крупномъ
 относится къ новому мосту черезъ Вислу въ Диршау въ 1889 г. (фиг.
 Двухъярусная опора состоитъ изъ верхняго яруса катковъ, которые распо-
 вдоль или поперекъ фермъ и опираются при посредствѣ плоской проклад-
 на нижній ярусъ катковъ, расположенныхъ всегда на крестъ
 верхнимъ. Двухъярусная опора обладаетъ подвижностью по всѣмъ направле-
 горизонтальной плоскости въ виду того, что всякое перемѣщеніе, вызван-
 горизонтальною силою, направленною подъ нѣкоторымъ угломъ къ фермѣ,
 быть разложено на двѣ составляющія, соотвѣтственно направленію дви-
 катковъ верхняго и нижняго яруса, т. е. вдоль фермы и поперекъ нея.
 и направленіе горизонтальнаго распора, передающагося опорѣ вслѣд-
 силъ тренія катковъ въ двухъ разныхъ уровняхъ, рассчитываются такъ.
 ачая черезъ A давленіе опоры, черезъ f_1 и f_2 —коэффициенты тренія катковъ
 и второго яруса, черезъ $H_1 = f_1 \cdot A$ и $H_2 = f_2 \cdot A$ горизонтальныя силы
 перваго и второго яруса, получимъ равнодѣйствующую силъ тренія, т. е.
 распоръ H , по формулѣ $H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2} = A \sqrt{f_1^2 + f_2^2}$. Уголъ β
 силою H и продольною осью моста рассчитывается по формулѣ $\text{tg } \beta = \frac{f_2}{f_1}$.

Катки примѣняются круглые или срѣзанные. Число катковъ въ обоихъ
 не всегда одинаковое; въ верхнемъ ярусѣ встрѣчается большее или мень-
 число катковъ, чѣмъ въ нижнемъ ярусѣ.

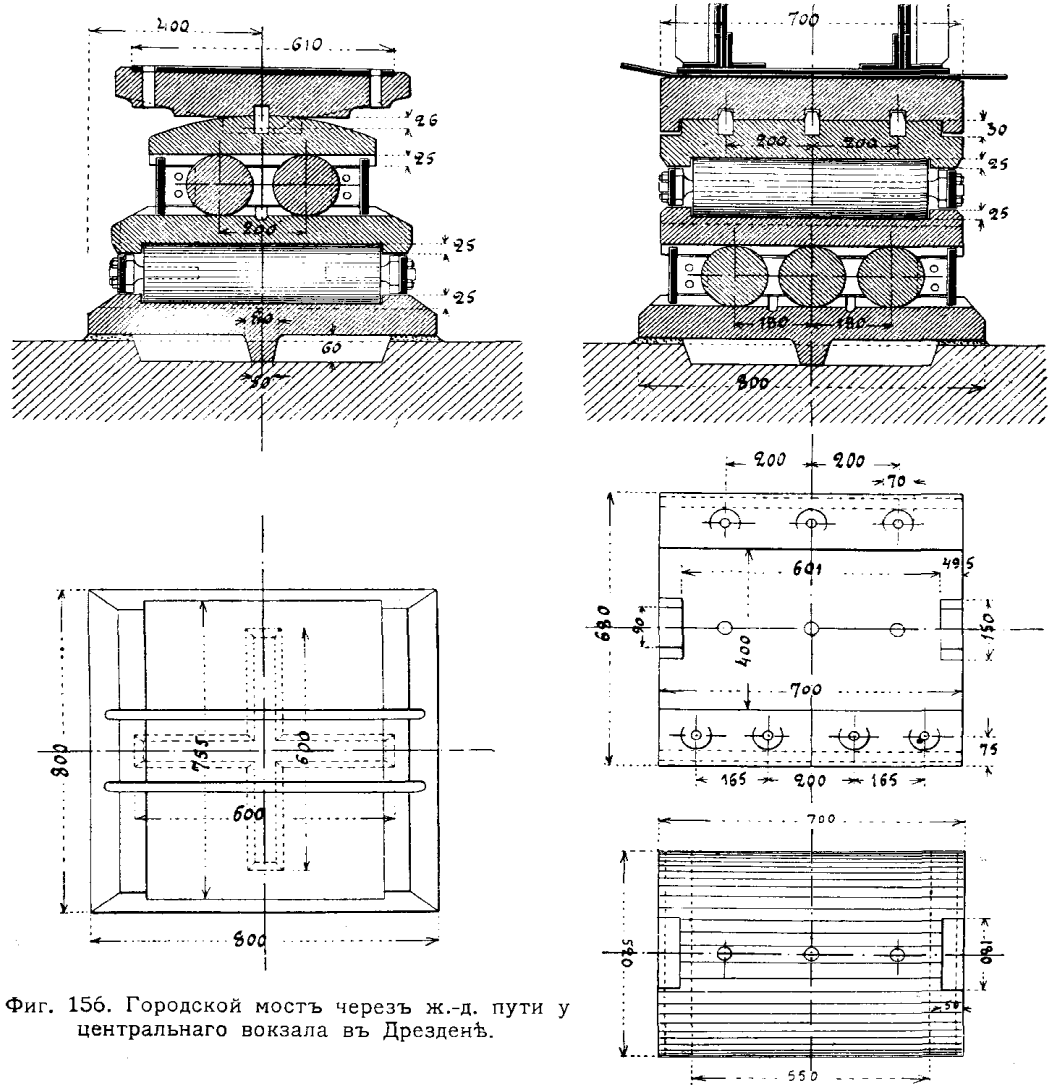
I примѣръ (фиг. 156). Три цилиндрическихъ катка нижняго яруса распо-
 своею осью вдоль фермы, а два катка верхняго яруса — поперекъ фермы,
 рживая нижній балансиръ, который состоитъ изъ плиты съ цилиндрическою
 лостью сверху. Верхній плоскій балансиръ удерживается отъ поперечнаго
 дольнаго сдвига двумя боковыми закрайнами и тремя шипами.

II примѣръ (фиг. 157). Опора передаетъ давленіе въ 520 тон. Нижній
 имѣетъ 6 срѣзанныхъ катковъ, діаметромъ 300 мм., расположенныхъ по-
 фермы и поддерживающихъ гладкую плиту, на которой установленъ верх-
 ярусъ изъ восьми болѣе узкихъ и короткихъ катковъ, придающихъ верхнему
 поперечную подвижность. Катки обоихъ ярусовъ удерживаются отъ по-
 и продольнаго сдвига помощью круглыхъ шиповъ, привинченныхъ шу-
 Въ каждомъ ярусѣ катковъ поставлено 8 шиповъ, по 4 на каждый край-
 катокъ.

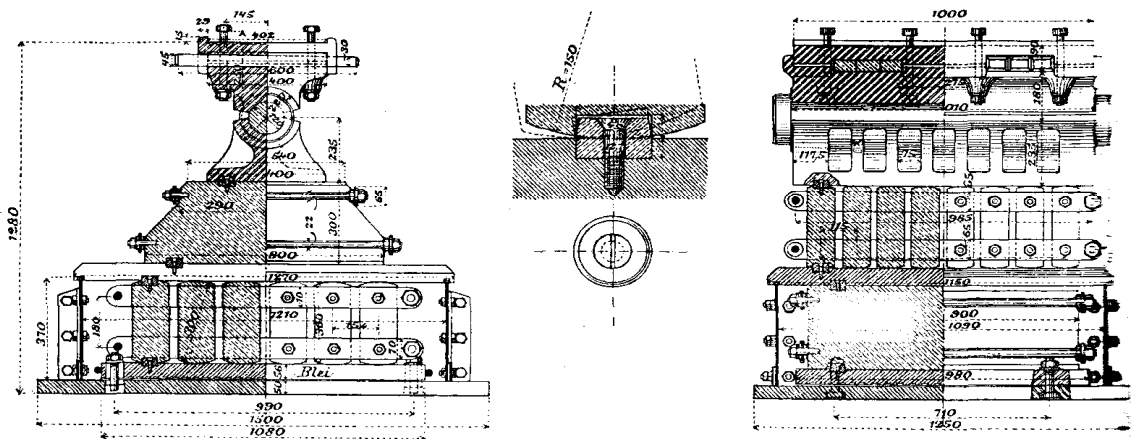
Недостатокъ двухъярусныхъ опоръ заключается 1) въ ихъ слож-
 вслѣдствіе большого числа составныхъ частей и 2) въ ихъ значительной
 Последнее обстоятельство невыгодно отзывается на устойчивости пролет-
 гроенія, въ смыслѣ передачи устоямъ и быкамъ моста горизонтальныхъ
 гъ вѣтра, тормаженія и проч. Поэтому въ новѣйшихъ мостахъ избѣгаютъ
 два двухъярусныхъ опоръ, замѣняя ихъ опорами съ косымъ расположе-
 катковъ въ тѣхъ случаяхъ, когда можно рассчитывать на болѣе или менѣе
 ѣрное расширеніе фермъ и поперечной конструкціи (см § 4).

многихъ случаяхъ двухъярусная опора допускаетъ значительное упроще-
 такъ какъ можно замѣнить скользящею подушкою тотъ рядъ катковъ,
 придаетъ опорѣ поперечную подвижность. Можно даже обойтись безъ

этой дополнительной подушки, предоставляя каткам скользить по основной ней подушкѣ и принимая слѣдующія мѣры. 1) Если торцы катковъ удержива



Фиг. 156. Городской мостъ черезъ ж.-д. пути у центрального вокзала въ Дрезденѣ.



Фиг. 157. Новый желѣзнодорожный мостъ черезъ Вислу въ Диршау.

речнаго сдвига закрайнами въ балансирѣ и подушкѣ (фиг. 156), то при закрайныя балансира плотно къ торцамъ катковъ, а закрайныя нижне назначаютъ такъ, чтобы между ними и торцами катковъ оставался на случай поперечнаго расширенія пролетнаго строенія. 2) Если торцы снабжены кольцеобразными ребордами (фиг. 121), принимаютъ ширину равною разстоянію въ свѣту между ребордами катковъ, а ширину поперечной катки удерживаются отъ поперечнаго сдвига помощью зубьевъ (фиг. 128) придають гнѣздамъ нижнихъ зубьевъ овальную форму, соотвѣтственно поперечнаго перемѣщенія опоры.

горизонтальное сопротивленіе, оказываемое опорой при скользящемъ по оси катковъ, вызываетъ дополнительныя напряжения въ опорной балкѣ или распоркѣ, не позволяя имъ свободно измѣнять свою длину измѣненія температуры воздуха. Остановимся на примѣрѣ большого желѣзнодорожнаго моста съ ѣздой по низу. Пролетъ фермъ 130 м. сѣченія опорной поперечной балки $\omega = 240$ см.². Длина балки не имѣетъ значенія въ данномъ случаѣ. Давленіе на опору отъ постоянной нагрузки $= 168$ тон., такъ что при коэффициентѣ скользящаго тренія $f_1 = 0,3$, сопротивление опоры горизонтальному перемѣщенію будетъ $H = f_1 \cdot A_p = 0,3 \cdot 168 = 50,4$ тон. Сила H можетъ дѣйствовать въ ту или другую сторону, вызывая въ балкѣ сжимающее или растягивающее напряженіе:

$$n = \pm \frac{H}{\omega} = \pm \frac{50400}{240} = \pm 210 \text{ к. см.}^2$$

напряженіе является слѣдствіемъ измѣненія температуры опорной поперечной балки всего на 9° Ц. Дѣйствительно

$$n = E \cdot \alpha \cdot t, \text{ откуда } t = \frac{n}{E \cdot \alpha} = \frac{210}{2150000 \cdot 0,0000108} = 9^\circ \text{ Ц.}$$

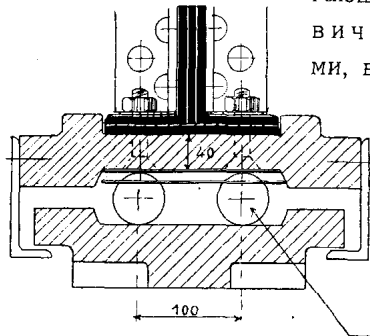
Напряженіе $n = 210$ к. см.² является лишь добавочнымъ къ сравнительно большому напряженію поперечной балки отъ ея постоянной нагрузки, трудно допустить одновременно напряженіе отъ нагрузки поѣздомъ и отъ температурнаго расширенія, которая оказываетъ свое дѣйствіе лишь постепенно.

В. Опоры съ шаровыми катками. Всесторонняя подвижность опоры достигается простѣйшимъ образомъ помощью шаровыхъ катковъ, расположенныхъ между плоскими плитами. Вслѣдствіе небольшой площади соприкасанія шара съ плитой напряженіе на смятіе, рассчитываемое по формулѣ Герца, весьма велико, спускаемое давленіе на отдѣльные шары ничтожно. Даже при сравнительно большомъ давленіи на опору. количество шаровъ и размѣры плитъ получаются слишкомъ большими; поэтому шаровыя опоры не имѣютъ значенія для мостовъ и применяются только въ стропилахъ.

Устраивая шаровую опору, слѣдуетъ обратить главное вниманіе на то, чтобы при движеніи не набѣгали одинъ на другой и при этомъ не развивалось между ними скользящее треніе, парализующее подвижность опоры. Наиболѣе распространенное средство для удержанія шаровъ въ неизмѣнномъ взаимномъ положеніи — это надѣваемый на нихъ горизонтальный листъ, снабженный круглыми отверстиями для шаровъ. Этотъ способъ нерационаленъ, такъ какъ катки трутся о

²⁾ Пренебрегается расширеніемъ каменной кладки, на которой установлены опорныя части.

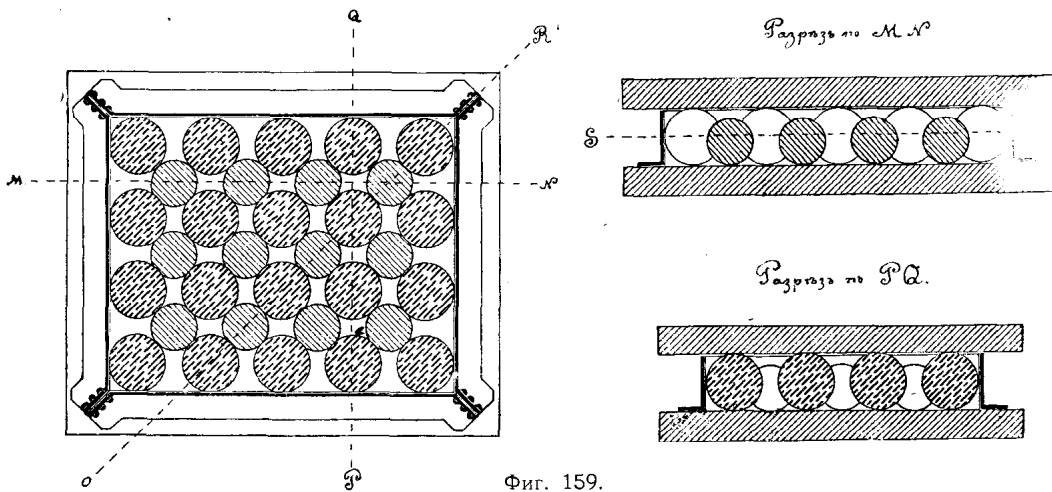
края окружающих ихъ отверстій и не устраняется скользящее треніе. Можно низить треніе, если отверстія въ листъ сдѣлать меньшаго діаметра, чѣмъ Прикрѣпленіе такого листа излишне, такъ какъ онъ поддерживается ми катками, но нужно устранить возможность сбрасыванія листа съ Въ фиг. 158 это достигается помощью выступовъ, которыми снабжена ве подушка. Чтобы уменьшить работу, затрачиваемую на преодоленіе тренія



гающихъ другъ на друга шаровъ, инж. Н. І. Гол вичъ предложилъ прокладывать между рабочими ми, воспринимающими весь грузъ, свободные нѣсколько меньшаго діаметра (фиг. 159). движеніи опоры, рабочіе шары враща одну сторону, а свободные шары или катятся, если рабочіе шары не сжимаютъ или же, будучи зажаты между рабочими ми, вращаются въ обратную сторону, уменьшеніе треніе между ними. При этомъ, хотя и каетъ треніе между свободными и рабочими шарами, но въ виду отсутствія давленія свободные шары, треніе ничтожно и получается до 20 разъ меньше, чѣмъ непосредственномъ соприкасаніи рабочихъ шаровъ.

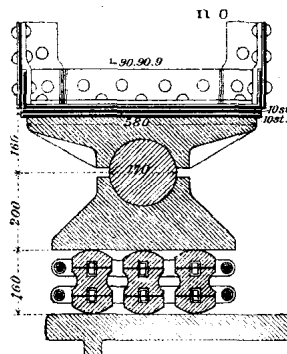
Фиг. 158. Пассажир. павильонъ на ст. Вышній-Волочекъ Николаевской ж. д.

свободные шары, треніе ничтожно и получается до 20 разъ меньше, чѣмъ непосредственномъ соприкасаніи рабочихъ шаровъ.

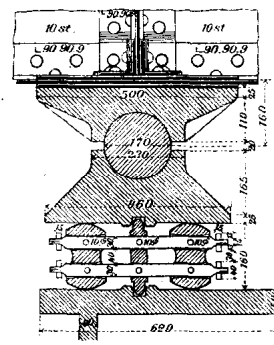
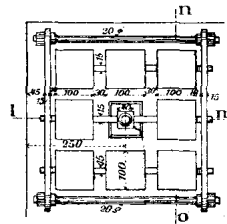


Фиг. 159.

Для соереженія мѣста и уменьшенія размѣровъ подушекъ, иногда срѣ



Фиг. 160. Опора купола надъ зданіемъ рейхстага въ Берлинѣ.

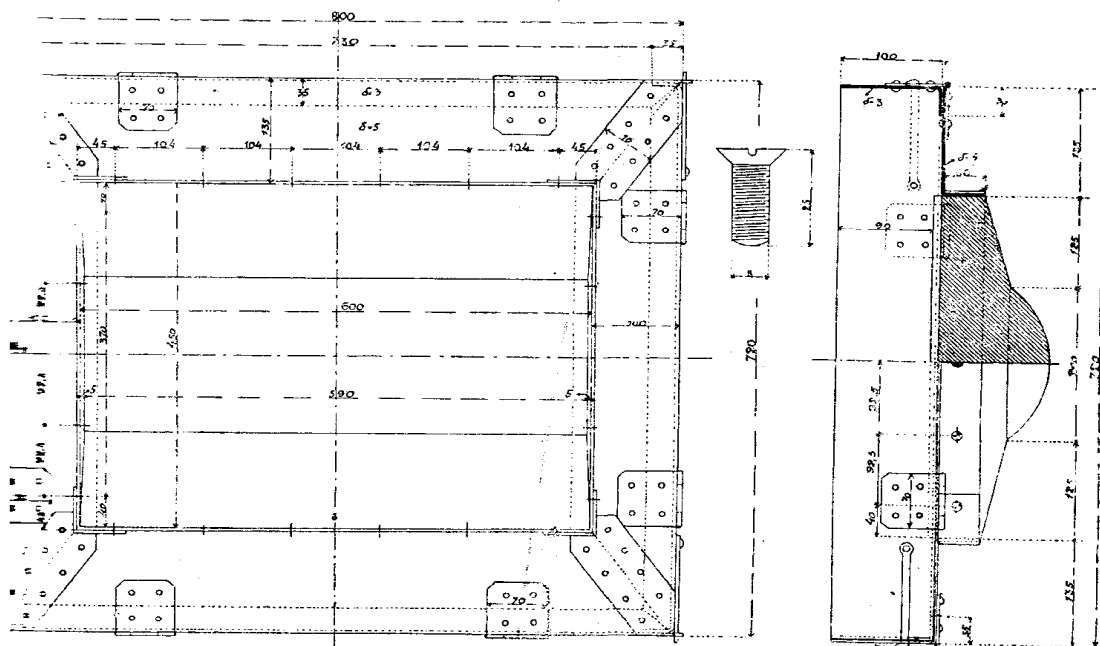


ютъ бока ша При этомъ не димо предохра шары отъ дыванія. При опоры съ 8 ср ными шарами ставленъ въ 160. Катки свя между собою наружным мами и еще

направляющихъ (*l—m*), которыя пропущены черезъ прямоугольныя отвер-
каткахъ и въ направляющихъ наружныхъ рамъ. Во избѣжаніе опрокидыванія
въ центрѣ опоры поставлена качающаяся колонка.

§ 20. Футляры противъ засоренія катковъ.

предохраненія катковъ отъ атмосферныхъ осадковъ и отъ засоренія
лескомъ, значительно повышающихъ треніе катковъ при движеніи, слѣ-
дъ прикрывать ихъ легкимъ металлическимъ футляромъ. На русскихъ желѣз-
дорогахъ примѣненіе футляра предписано Мин. Пут. Сообщ. Футляръ не
препятствовать перемѣщенію опоры и долженъ допускать удобный осмотръ
катковъ. Опишемъ вкратцѣ наиболѣе употребительные типы футляровъ.
Прибѣгая къ устройству отдѣльнаго футляра, дѣлаютъ раму вокругъ кат-
на столько высокою, чтобы она со всѣхъ сторонъ закрывала просвѣты
краями балансира и нижней подушки (фиг. 153 и 156). 2) Ставятъ на
подушку прямоугольный ящикъ, стѣнки котораго разбираются въ углахъ.
края стѣнокъ пропускаются въ пазы балансира (фиг. 102) или же пере-
чугунною рамою, приболченною къ краямъ балансира (фиг. 63). При
опоры, ящикъ скользитъ по нижней подушкѣ. 3) Желѣзная рама, скле-
въ вертикальныхъ листовъ и уголковъ и окаймленная сверху внутрен-
ризоньталнымъ уголкомъ, подвѣшивается къ уголкамъ, завинчен-
въ края балансира (фиг. 152). Размѣры уголковъ принимаются такъ, чтобы
закрывала всю нижнюю подушку. Между рамою и подферменникомъ остав-
щель. 4) Къ краямъ балансира привинчивается помощью шуруповъ фут-



Фиг. 161. Футляръ опоры, изображенной на фиг. 59.

склепанный изъ листовъ и уголковъ. Вертикальныя стѣнки футляра подвѣ-
при помощи петель и открываются для осмотра и чистки катковъ (фиг.
162). По угламъ имѣются крючки для закрѣпленія стѣнокъ футляра. 5) На
ирь надѣвается чугунный футляръ, отлитый какъ одно цѣлое. При осмотрѣ

надъ подферменникомъ, съ тѣмъ, чтобы они были доступнѣе и очистки и чтобы во время дождя ихъ не достигали брызги воды подферменника. Для этой цѣли можно проектировать нижнія подушки мостовъ въ видѣ ребристыхъ чугунныхъ ступльевъ (фиг. 148 и 153).

Глава V.

Шарнирно-подвижныя опоры упрощеннаго типа.

ные недостатки подвижныхъ опоръ съ нѣсколькими катками, разсмотрѣвъ предыдущей главѣ, заключаются: 1) въ ихъ сложности, вслѣдствіе числа составныхъ частей (не менѣе пяти), расположенныхъ одна надъ другой. Небольшіе зазоры между катками способствуютъ ихъ засоренію пескомъ, гомъ и проч., вслѣдствіе чего парализуется подвижность опоры и сильно уменьшается сопротивленіе горизонтальному перемѣщенію. 2) Нельзя разсчитывать, что давленіе распредѣляется равномерно между катками, а) вслѣдствіе неравномерности выточить катки вполне одинаковаго діаметра, б) вслѣдствіе деформации нижняго балансира и подушки и с) вслѣдствіе перемѣны давленія опоры относительно катковъ при движеніяхъ опоры отъ изгиба фермы. Чѣмъ больше число катковъ, тѣмъ меньше вѣроятнаго равномернаго распредѣленія на нихъ опорнаго давленія и тѣмъ больше перенапряженія нѣкоторыхъ катковъ; это обстоятельство слѣдуетъ имѣть въ виду при назначеніи нормъ допускаемаго напряженія на смятіе катковъ. Существенные недостатки отпадаютъ, если снабдить опору только однимъ каткомъ, устройте ее секторнаго или качающагося типа. Въ виду простой контактирующей опоры, назовемъ ихъ шарнирно-подвижными опорами упрощеннаго типа.

§ 21. Однокатковыя опоры.

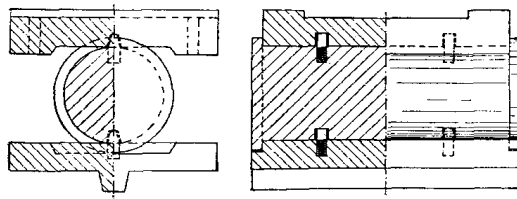
расположеніи цилиндрическаго катка между двумя плоскими подушками, получается какъ шарнирность, такъ и подвижность опоры. Опоры съ однимъ каткомъ не представляютъ ничего новаго, но раньше ихъ примѣненіе ограничивалось малыми мостами, въ виду отсутствія строгой теоріи для ихъ расчета и неопредѣленности относительно нормъ допускаемаго напряженія на смятіе. Въ наше время обстоятельства измѣнились; съ одной стороны Герцемъ дана теорія расчета, съ другой стороны мы имѣемъ въ своемъ распоряженіи матеріалъ — сталь, для которой можно допустить высокія напряженія (до 8 т), особенно при наличности только одного катка. Разсчитывая по формулѣ Герца и допуская для стали тѣ сравнительно низкія напряженія, которыя указаны въ § 8, можно примѣнять однокатковыя опоры для мостовъ, продолжительностью до 60 метр., не прибѣгая къ слишкомъ большимъ діаметрамъ катка. При общей высотѣ опоры получается не больше общеупотребительной. Форма катка бываетъ 1) простая цилиндрическая, причѣмъ центръ кривизны находится на оси цилиндра, и 2) болѣе сложная, если радиусъ кривизны катка больше или равенъ чѣмъ половина высоты катка (катки Кюблера и Хаберкальта). Простѣйшей формой катка является цилиндрическій катокъ. Діаметръ катка принимается отъ 5 до 50 см., отъ 40 до 150 см., въ зависимости отъ ширины пояса фермы. Простые

цилиндрическіе катки бывают круглые или со срезанными бока гласно фиг. 109. Въ томъ и другомъ случаѣ катки бывают массивны (фиг. 164) или полые съ ребрами для жесткости (фиг. 166). Устойчивость ср катка увеличивается путемъ пониженія его центра тяжести, для чего лучше уширить основаніе катка (фиг. 111) сравнительно съ его головкою. При рованіи однокатковой опоры надо руководствоваться конструктивными ніями, изложенными въ § 18. По данному давленію опоры діаметръ катка вается изъ условія, чтобы напряженіе катка на смятіе, рассчитанное по № 23 Герца, не превышало допускаемаго напряженія (см. § 8). Для ка и подушекъ изъ твердаго стального литья можно допустить на смя к./см.². Подставляя въ формулу № 22 Герца $\sigma = 5000$ и $E = 2\,200\,000$ получимъ слѣдующую зависимость между діаметромъ катка и нагрузкою на пог. см. катка:

нагрузка $p =$	500	1000	1500	2000 к. на п. см. ка
діаметръ $d =$	15	30	45	60 см.

Перечень главнѣйшихъ мостовъ съ однокатковыми опорами, за исключеніемъ многочисленныхъ малыхъ мостовъ, помѣщенъ въ таблицѣ 16 на стр. 38; приведены основные размѣры катковъ и ихъ напряженія. Однокатковые имѣютъ наибольшее распространеніе въ Голландіи, гдѣ ихъ примѣняютъ стовъ пролетомъ до 120 м. Разсмотримъ нѣсколько примѣровъ однокатковыхъ опоръ.

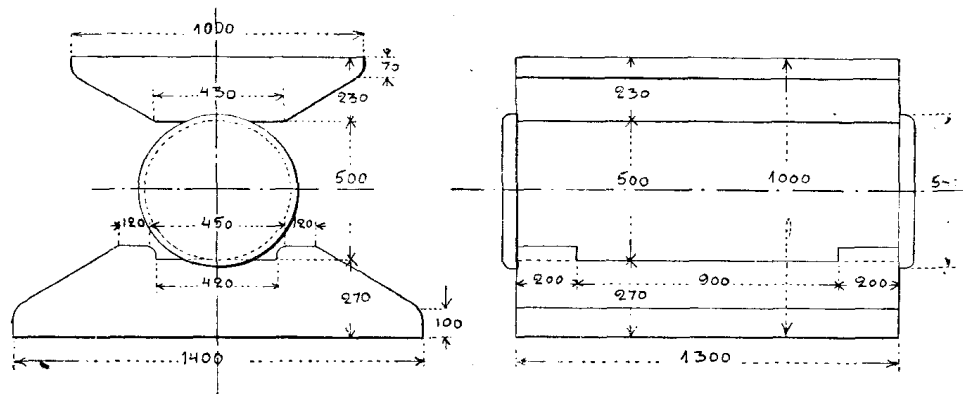
I примѣръ (фиг. 164). Цилиндрической стальной катокъ, расположенн



Фиг. 164.

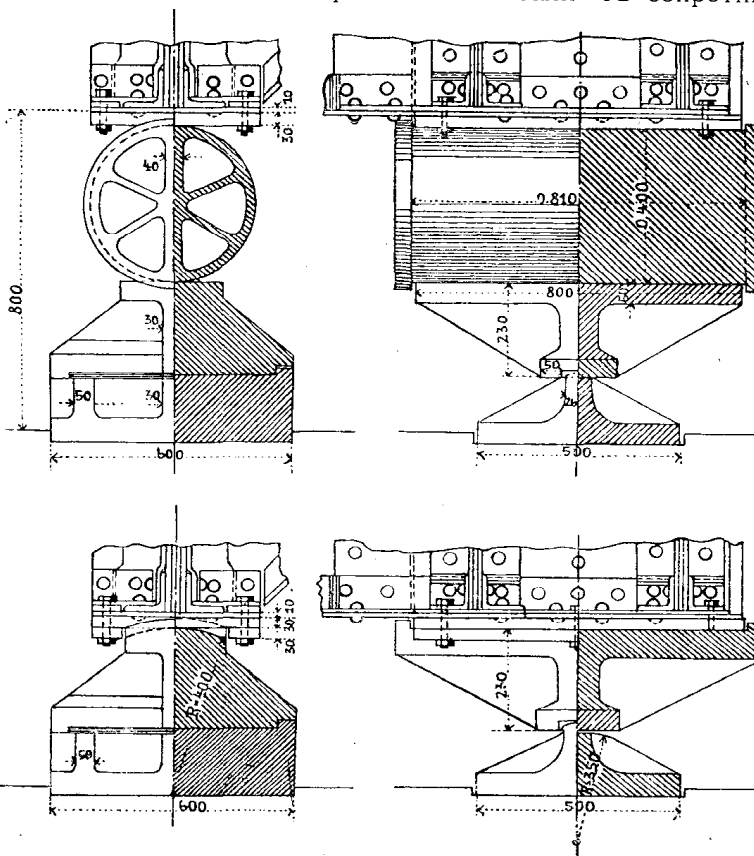
двумя плоскими подушками, торцахъ реборды, удержива отъ поперечнаго сдвига. Во из угона, поставлено 4 зуба, из рыхъ два верхнихъ завинченъ токъ, а два нижнихъ въ ниж душку. Чтобы удержать кат случайнаго схода съ подушекъ, верхняя подушка имѣетъ двѣ закраины, а цахъ нижней подушки сдѣланы небольшія выемки.

II примѣръ (фиг. 165). Это одна изъ большихъ голландскихъ опоръ дающая давленіе въ 335 тон. Стальной цилиндрической катокъ, діам. 500 ребордами на торцахъ расположенъ между двумя стальными плоскими под. Во избѣжаніе скатыванія катка, нижняя подушка имѣетъ по угламъ че



Фиг. 165. Желѣзнодорожный мостъ черезъ Изель у Вестерворта въ Голландіи.

атокъ и подушки исполнены изъ Мартеновской стали съ сопротивле
зрыву отъ
3600 к./см.²
еніи отъ 18
на $l = 200$
же опора,
рѣ катка въ
авленіи опо-
2.5 тон., при-
для другого
2.2 м.) того
у Вестер-
инная съ 1889
нокатковья
примѣня-
олландіи для
ролетомъ до

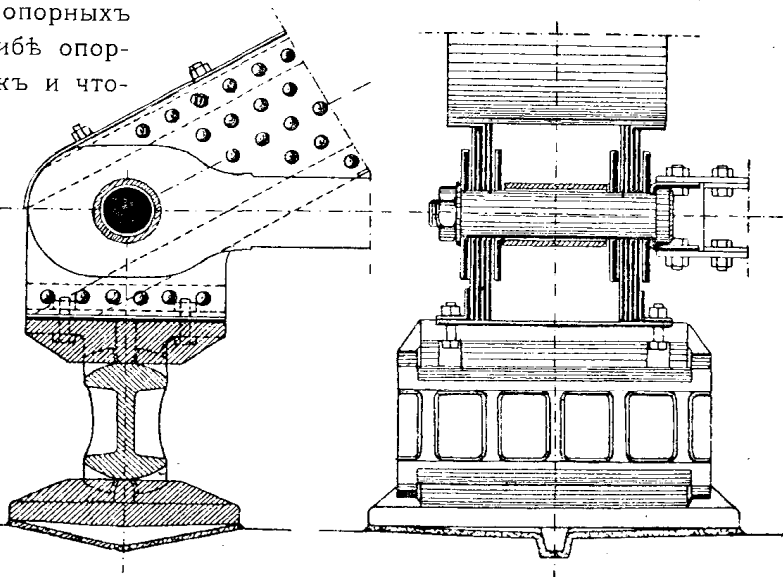


имѣръ (фиг.
узкоколей-
нодорожна-
пролетомъ
давленіемъ
Полый ци-
катокъ
400 мм.

Фиг. 166. Pont sur le Beuvron à Celettes, Ligne St. Aignan-Blois.

310 мм., имѣетъ шесть радіальныхъ переборокъ, изъ которыхъ верти-
двое толще остальныхъ. Подвижная и неподвижная опоры устроены
не только поперекъ, но и вдоль фермъ. Послѣднее для того, чтобы
наклоненіе опорныхъ
мъ при прогибѣ опор-
речныхъ балокъ и что-
чить цен-
ередачу да-
опору.

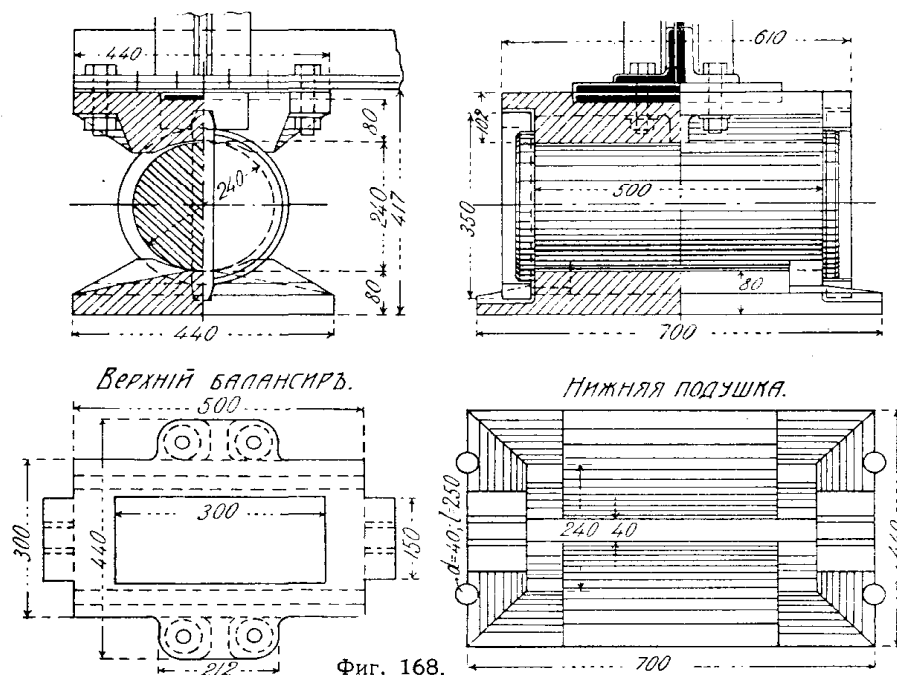
примѣръ (фиг.
окъ состоитъ
икальной
звухъ головокъ
паръ верти-
ребордъ. Во
ніе поперечнаго
катка, торцы
зокъ снабжены
захваты-
края поду-
Возможность



Фиг. 167. Типъ опоры завода „Harkort“.

угона катка устраняется зубьями, которыми снабжены подушки и для имѣются гнѣзда въ ребордахъ катка.

V примѣръ (фиг. 168). Опора состоитъ изъ двухъ подушекъ и цилиндрическаго катка діаметромъ 240 мм. и длиною 500 мм. Катокъ снабженъ на кольцеобразными ребордами, которыя упираются въ края подушекъ, служащими для катка и удерживаютъ его отъ сдвига поперекъ моста. Для удержанія угона катка, къ его торцамъ прилито два бруска, концы которыхъ выведены въ видѣ зубьевъ и пропущены въ гнѣзда на краяхъ подушекъ. Для устранения этихъ гнѣздъ, верхняя подушка снабжена двумя прямоугольными прорезями, а на краяхъ нижней подушки сдѣланы выемки. Ферма опирается на верхнюю подушку при помощи плитки, приклепанной къ фермѣ и втиснутой въ подушку. При помощи двухъ приливовъ эта подушка притянута къ ферме болтами.



Фиг. 168.

соединенія подушки. У концовъ катка эти скаты замѣнены двумя вогнутыми ребордами для удержанія катка отъ случайнаго схода съ поперечнаго подферменнаго камня; подушка закрѣплена при помощи 4-хъ штырей 40 мм. и длиною 250 мм.

VI примѣръ (фиг. 169). Эта опора, передающая давленіе въ 79 тоннъ, состоитъ изъ двухъ стальныхъ подушекъ и стального цилиндрическаго катка, имеющаго бока и безъ ребордъ на торцахъ. Діаметръ катка—400 мм., длина—600 мм. Отъ поперечнаго сдвига катокъ удерживается закрайными ребордами подушекъ, а во избежаніе угона сдѣлано зубчатое зацепленіе катка съ подушками, причемъ гнѣзда для двухъ верхнихъ зубьевъ сдѣланы въ верхнюю подушку, а для двухъ нижнихъ зубьевъ—въ катокъ. Очертаніе зубьевъ определено по близительному способу, изложенному на стр. 99. Ферма опирается на верхнюю подушку при помощи плитки, которая приклепана къ фермѣ и втиснута въ подушку. Между фермою и краями подушки оставлены зазоры въ 2 мм., чтобы давленіе передавалось исключительно черезъ плитку; благодаря

болтами, сторона предст вогнутою горизонтальною площадкою каткомъ. Нижняя подушка имѣетъ сателетную узкую поверхность, на которой стока избежа

верхней подушки получилась небольшая (90 мм.). При помощи 4-х ушковъ притянута къ фермѣ 4-мя болтами. Вдоль линіи касанія съ каткомъ нижняя подушка имѣетъ узкую (120 мм.) горизонтальную площадку, которая съ двумя закругленіями радіусомъ 200 мм. Подушка свѣшивается за катка и снабжена закрайнами, шириною 25 мм., не допускающими сдвига вдоль катка. Нижняя подушка имѣетъ продолговатую прямоуголь-

рму. Вдоль ли- прикасанія съ имѣется узкая горизонталь- ошадка, а съ сторонъ отъ роены скаты по $a-b$ для всды и во избѣ- засоренія

У тор- ниж- подушка на гнѣз-

шириною (разрѣзь

окружен- съ трехъ закрай-

шириною которая аются

подошвою на 25 мм.

взда удер- катокъ

случайного съ подуш-

торцевыя напра-

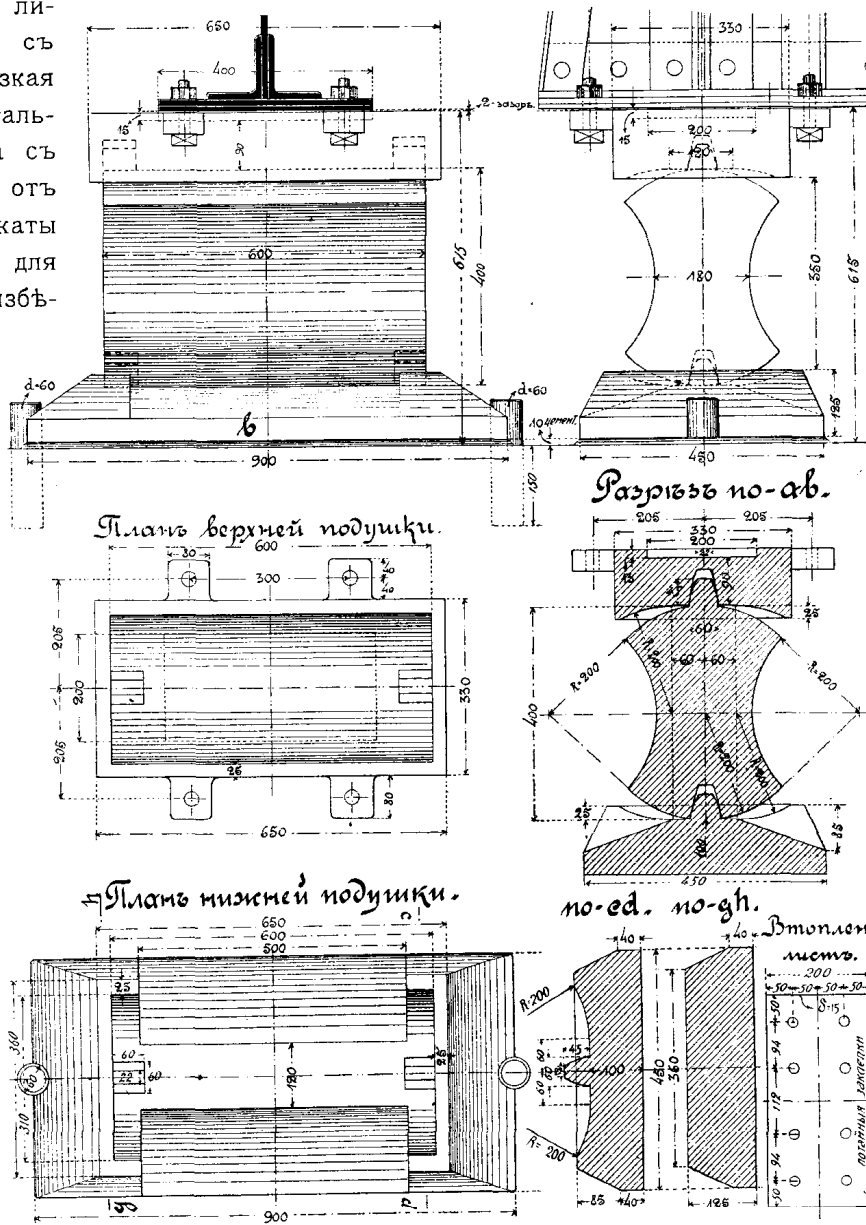
катокъ таніи и ваютъ его попе-

фермы. По- уложена

ферменникъ при посредствѣ цементнаго слоя, толщиною около 10 мм., и двумя круглыми штырями діаметромъ 60 мм., которые пропущены черезъ полукруглыя выемки въ краяхъ подушки и залиты въ камень.

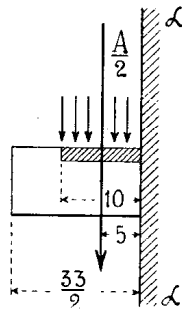
Расчетъ однокатковой опоры, изображенной на фиг. 169. Наибольшее давленіе на опору $A = 78375$ к.

Верхняя подушка (стальная). Длина 65 см., ширина 33 см., толщина 9 см.,

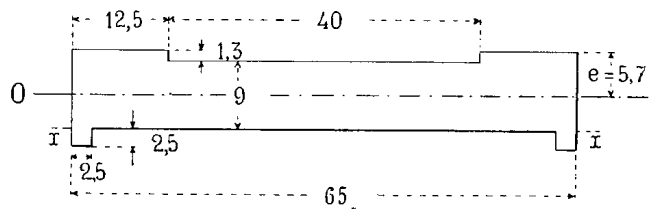


Фиг. 169. Проектъ шосс. моста чер. Зушу въ Шейнѣ прол. 55 м.

не считая закрайнь. Давленіе фермы передается подушкѣ помощью втолпе нее плитки размѣромъ 40.20.1,5 см. Предполагая, что давленіе распредѣляется равномѣрно по этой плиткѣ,



Фиг. 170.



Фиг. 171.

считать напере линіи съ цилиндромъ Подушкѣ трив брусъ, ный однимъ концомъ по линіи касанія съ каткомъ и изгибаемый нагрузкѣ распределенной равномѣрно по ширинѣ 10 см. (фиг. 170). Изгибающій въ опасномъ сѣченіи $a - a$:

$$M = \frac{A}{2} \cdot \frac{10}{2} = \frac{78375 \cdot 10}{4} = 195938 \text{ к. см.}$$

Моментъ сопротивленія сѣченія подушки, представленнаго въ фиг. 171

дающаго съ вертикальною плоскостію $a - a$ вдоль катка, $W = \frac{J_0}{e_2}$.

моментъ инерціи сѣченія подушки относительно горизонтальной оси 0 0 центрѣ тяжести сѣченія; e_2 — разстояніе отъ этой оси до наиболѣе крайняго волокна сѣченія. Разстояніе нейтральной оси 0 0 сѣченія тальной оси $x - x$ опредѣляется по формулѣ $z = \frac{S_x}{\omega}$, причеиъ площадь

$$\omega = 65 \cdot 9 + 2 \cdot 12,5 \cdot 1,3 + 2 \cdot 2,5 \cdot 2,5 = 630 \text{ см.}^2.$$

Статическій моментъ сѣченія относительно оси $x - x$:

$$S_x = 40 \cdot 9 \cdot 4,5 + 2 \cdot 12,5 \cdot 10,3 \cdot \frac{10,3}{2} + 2 \cdot 2,5 \cdot 2,5 \cdot \frac{2,5}{2} = 2931$$

$$\text{слѣдовательно, } z = \frac{2931}{630} = 4,60 \text{ см.}$$

Моментъ инерціи относительно оси 0 — 0:

$J_0 = J_x - \omega \cdot z^2$, гдѣ J_x — моментъ инерціи относительно оси $x - x$,

$$J_x = \frac{1}{3} \cdot 40 \cdot 9^3 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 12,5 \cdot 10,3^3 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 2,5 \cdot 2,5^3 = 18852 \text{ см.}^4$$

$$J_0 = 18852 - 630 \cdot 4,60^2 = 5521 \text{ см.}^4$$

Разстояніе нижняго волокна отъ оси 0 — 0: $e_2 = 2,5 + 9 + 1,3 = 12,8$

$$\text{Наименьшій моментъ сопротивленія: } W_x = \frac{J_0}{e_2} = \frac{5521}{7,1} = 777$$

Наибольшее сжимающее нормальное напряженіе нижняго волокна:

$$n = - \frac{M}{W_x} = - \frac{195938}{777} = - 252 \text{ к/см.}^2 < 500.$$

2) **Нижняя подушка** (стальная). Длина 90 см., ширина 45 см., толщ редины 10 см., по краямъ — 4 см. Давленіе A подушки на подферменный слагается изъ давленія фермы $A = 78375$ к. и вѣса опорныхъ частей.

$75 + 200 + 400 + 270 = 79245$ к. Сжимающее напряжение подфер-

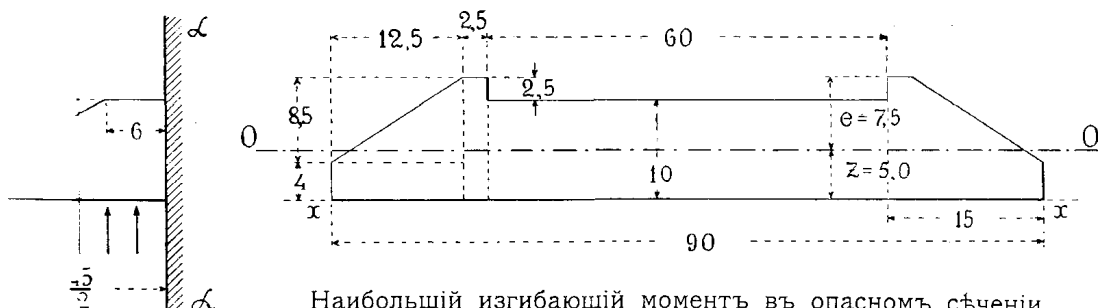
ня:

$$n = \frac{79245}{90.45} = 19,6 \text{ к/см.}^2 < 25.$$

ина подушки определяется по расчету ее на переломъ вдоль линии ея каткомъ. Предполагается равномерное распределение опорного давления въ подушки, которая рассматривается какъ брусъ, длиною $\frac{1}{2}.45$ см., за- однимъ концомъ по линии касанія съ каткомъ.

72.

Фиг. 173.



Наибольшій изгибающій моментъ въ опасномъ сѣченіи $a - a$ (фиг. 172):

$$M = \frac{A_1}{2} \cdot \frac{45}{4} = \frac{79245.45}{2.4} = 445753 \text{ к. см.}$$

душки въ вертикальной плоскости $a - a$ изображено на фиг. 173. Раз- отъ нейтральной оси $0 - 0$ до подошвы $x - x$ определяется по формулѣ

$$z = \frac{S_x}{\omega}$$

$$\text{сѣченія } \omega = 60.10 + 2.2.5.12,5 + 2 \frac{(4 + 12,5)}{2}.12,5 = 869 \text{ см.}^2$$

моментъ сѣченія относительно оси $x - x$:

$$S_x = \frac{60.10.10}{2} + \frac{2.2.5.12,5.12,5}{2} + \frac{2.12,5.4.4}{2} + \\ + \frac{2.12,5.8,5}{2} \left(4 + \frac{8,5}{3} \right) = 4313 \text{ см.}^3.$$

$$\text{Слѣдовательно, } z = \frac{4313}{869} = 5,0 \text{ см.}$$

ментъ инерціи относительно оси $0 - 0$:

$= J_x - \omega.z^2$, гдѣ J_x — моментъ инерціи относительно оси $x - x$.

$$J_x = \frac{1}{3}.60.10^3 + 2.\frac{1}{3}.2.5.12,5^3 + 2.\frac{1}{3}.12,5.4^3 + \\ + 2 \left[\frac{12,5.8,5}{2} \left(4 + \frac{8,5}{3} \right)^2 + \frac{12,5.8,5^3}{36} \right] = 29124 \text{ см.}^4$$

$$J_0 = 29124 - 869.5,0^2 = 7399 \text{ см.}^4$$

меньшій моментъ сопротивленія: $W = \frac{J_0}{e} = \frac{7399}{7,5} = 986 \text{ см.}^3$

Наибольшее сжимающее нормальное напряжение верхняго волокна:

$$n = \frac{M}{W} = \frac{445753}{986} = 452 \text{ к/см.}^2 < 500.$$

3) **Стальной цилиндрической катокъ.** Длина 60 см., диаметръ 40 см., шейки 18 см. Давление на 1 см.² полного диаметрального сѣченія катка:

$$n = \frac{78375 + 200 + 400}{40 \cdot 60} = \frac{78975}{2400} = 32,9 \text{ к/см.}^2 < 35.$$

Напряженіе на смятіе въ мѣстахъ соприкосанія катка съ подушка считается по формулѣ 22 Герца:

$$\sigma = 0,418 \sqrt[2]{\frac{p \cdot E}{r}}$$

гдѣ $p = \frac{78975}{60} = 1316$ к.—давление на 1 пог. см. катка

$E = 2200000$ к.см.²—коэффициентъ упругости стали.

$r = 20$ см.—радіусъ катка.

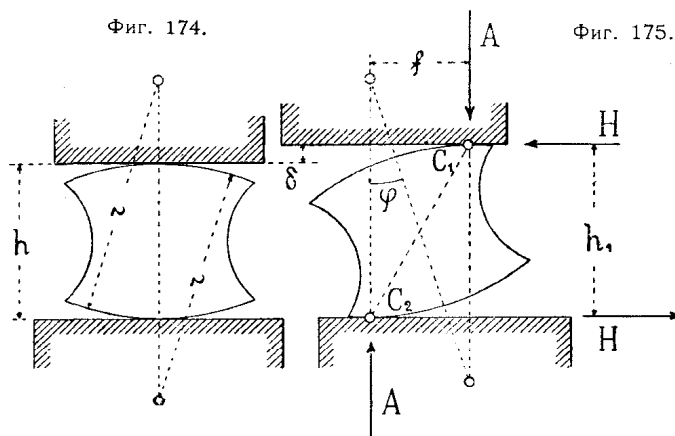
$$\sigma = 0,418 \sqrt[2]{\frac{1316 \cdot 2200000}{20}} = 5027 \text{ к./см.}^2$$

При отливкѣ катка и подушекъ изъ твердой стали допускаемое напряженіе смятіе составляетъ около 5000 к/см.², согласно изложенному въ § 8.

Катки Кюблера и Хаберкальта.

Изъ формулы 22 Герца для расчета катковъ на смятіе видно, что щее напряженіе получается тѣмъ меньше, чѣмъ больше радіусъ катка. Нечленіе радіуса цилиндрическаго катка влечетъ за собою увеличеніе высоты, что очень нежелательно. Инженерамъ Кюблеру и Хаберкальту удалось при такія формы катковъ, которыя допускаютъ увеличеніе радіуса кривизны ка мѣстѣ касанія безъ увеличенія общей высоты катка. Эти катки предста комбинацію двухъ цилиндровъ, радіусъ кривизны которыхъ больше полувысоты

Катокъ Кюблера (фиг. 174). Сверху и снизу катокъ ограниченъ цилиндрическими поверхностями, радіусъ которыхъ больше полувысоты катка. Увеличеніе радіуса кривизны до полной высоты катка и болѣе, можно было бы знач



движенія катка, возрасло до значенія h_1 . Обозначая через φ уголъ наклона катка, можно опредѣлить относительное горизонтальное перемѣщеніе f точекъ

понижить напряженіе смятіе, если бы тако не имѣлъ крупнаг статка: всякій поворотъ влечетъ за собою смятіе или опусканіе. Изъ фиг. 175 видно, поворотъ катка увеличиваетъ разстояніе $C_1 C_2$ между точками касанія катка подушками; по тому верное разстояніе между точками, составлявш

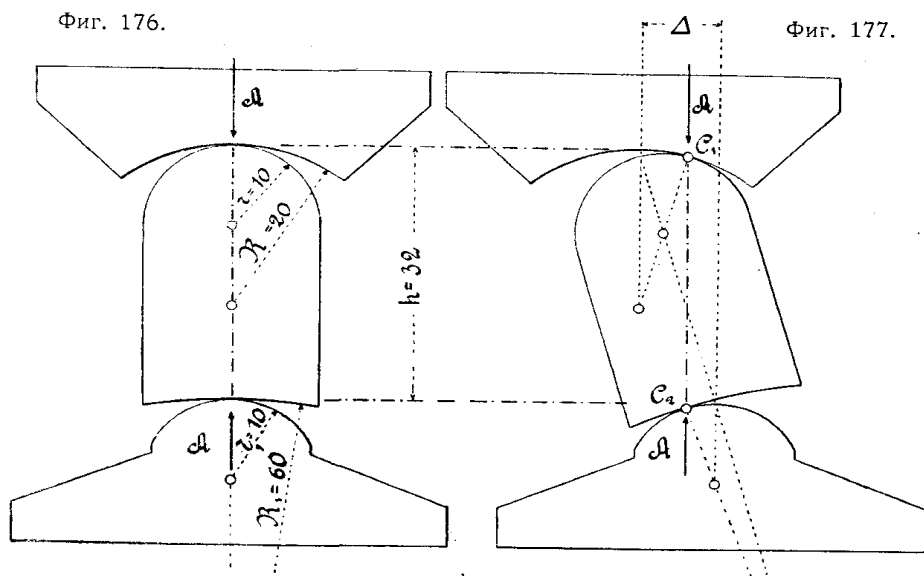
приближенной формулѣ (для малыхъ угловъ φ) $f = 2 (r - 0,5.h) \varphi$, фермы $\delta = h_1 - h = (r - 0,5.h) \varphi^2$. Въ нижнемъ поясѣ фермы горизонтальная сила H , вызывающая моментъ $H.h_1$, противодействуету $A.f$ опорной реакции, такъ что $H.h_1 = A.f$, откуда получимъ но:

$$H = \frac{2.A}{h} (r - 0,5.h) \varphi.$$

H можетъ быть направлена въ ту или другую сторону, вызывая въжатіе или растяженіе. Насколько можетъ быть значительна сила H , можно потому, что для моста, пролетомъ 100 м., при высотѣ катка $h = 30$ см., $r = 2h$ и измѣненіи температуры на $\pm 35^\circ$ Ц. сила $H = 92,2$ тон.; подъемъ фермы $\delta = 2$ мм. и можетъ произойти скольженіе верхней по катку. Хотя столь неблагоприятные результаты приведеннаго примѣраются выборомъ слишкомъ малой высоты катка въ 30 см., но совершенно ихъ невозможно.

Катокъ Хаберкальта³⁾ (фиг. 176), не имѣетъ недостатковъ катка Кюблера, наклоненіе катка не влечетъ за собою поднятія фермы. Головки катка ограцилиндрическими поверхностями, причемъ одна головка всегда выпуклая, вогнутая. Со стороны выпуклой головки подушка имѣетъ вогнутую цическую поверхность, а другая подушка, со стороны вогнутой головки,—ая. Въ общемъ случаѣ катаніе такого катка влечетъ за собою поднятіе и фермы; но можно подобрать радіусы цилиндрическихъ поверхностей

одушекъ
что при
катка
будетъ ос-
ъся на од-
и томъ же
При
точки C_1
касанія от-
ннаго катка
ками бу-
расположе-
одной вер-
(фиг.177),
что исчез-
порный мо-
 $A.f$, вызы-



распоръ H въ поясѣ фермы при каткѣ Кюблера. При малыхъ углахъ от- нія катка, можно замѣнить синусъ угла его дугою. Для этихъ случаевъ кальтъ даетъ слѣдующую зависимость между высотой h катка и четырьмя сами, обозначенными въ фиг. 176:

$$h = \frac{R.r}{R-r} + \frac{R_1.r_1}{R_1-r_1}$$

Häberkalt. Das Wälzlager. Oesterreichische Wochenschrift f. d. öffentl. Baudienst 1902

Въ примѣрѣ, изображенномъ на фиг. 176 и 177, $h = 32$ см., $R = 20$, $r = 10$ см., $R_1 = 60$ см., $r_1 = 10$ см., такъ что

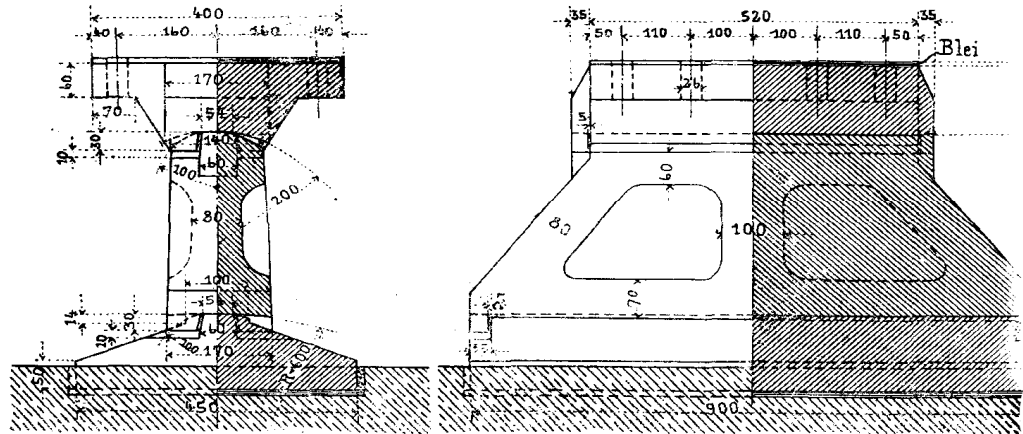
$$h = \frac{20 \cdot 10}{20 - 10} + \frac{60 \cdot 10}{60 - 10} = 20 + 12 = 32 \text{ см.}$$

Частные случаи. 1) Цилиндрическія поверхности соприкасанія и внизу могутъ имѣть соотвѣтственно одинаковые радіусы кривизны, т. е. $r = r_1$; тогда условіе горизонтальнаго движенія опоры будетъ $h = \frac{2}{R}$.

2) Наверху и внизу одна изъ взаимно соприкасающихся поверхностей быть плоскою: на примѣръ $R = R_1 = \infty$.

Катокъ Хаберкальта имѣетъ еще слѣдующее преимущество: вслѣдствіе ренняго касанія катка и балансировъ понижается напряженіе на смятіе, при удачномъ подборѣ радіусовъ кривизны или значеній $\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right)$ и $\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{r_1}\right)$ входящихъ въ формулу № 18 Герца (стр. 18). Также какъ и всѣ сръ катки, катокъ Хаберкальта не устойчивъ, кромѣ того затруднительно вить катокъ въ случаѣ непредвидѣннаго его наклоненія отъ случайнаго быка или устоя. Поэтому слѣдуетъ отдавать предпочтеніе круглому катку случаяхъ, когда онъ еще выдерживаетъ на смятіе. Опоры съ катками Хабе встрѣчаются главнымъ образомъ въ Австріи.

I примѣръ (фиг. 178). Наибольшее давленіе опоры — 75 тон. Высоты и радіусы цилиндрическихъ поверхностей соприкасанія катка съ подушка заны на фиг. 176. Для удержанія катка отъ сдвига и угона, онъ снабж верху и внизу зубьями, заключенными въ соотвѣтственныя гнѣзда по Катку придано уширеніе къ низу, отчасти для увеличенія его устойчив главнымъ образомъ для того, чтобы уравнять напряженіе на смятіе по ни



Фиг. 178. Консольный мостъ черезъ Зальцахъ у Оберндорфа ⁴⁾.

верху катка. Принимая длину катка по верху и по низу одинаковою, напр. на смятіе получилось бы больше внизу, вслѣдствіе бѣльшей чѣмъ наверху ра между радіусами кривизны соприкасающихся поверхностей (формула № 18 Г

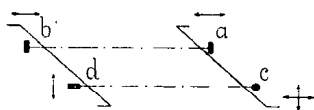
II примѣръ (фиг. 179 до 183). Всѣ четыре опоры моста устроены по

⁴⁾ Allgemeine Bauzeitung. 1902. I. Heft.

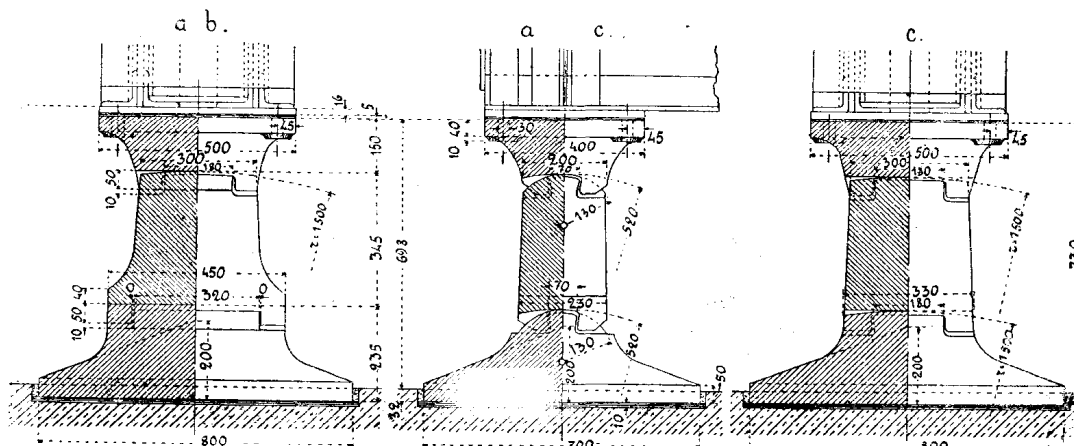
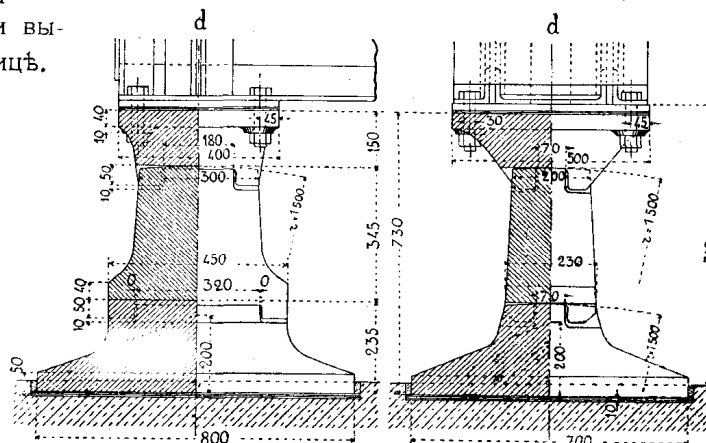
но въ разныхъ направленихъ (фиг. 179): опоры *a* и *b* подвижны только фермъ, опора *d* — только поперекъ фермъ, а опора *c* — какъ вдоль, такъ поперекъ фермъ. Фиг. 180 представляетъ продольный и поперечный фасадъ и зъ опоры *d*; фиг. 181 — поперечный разрѣзъ и фасадъ опоръ *a* и *b*; фиг. 182 — продольный разрѣзъ и фасадъ опоръ *a* и *c*; фиг. 183 — поперечный раз- и фасадъ опоры *c*. Всѣ опоры состоятъ изъ двухъ подушекъ и сръзаннаго между ними и обладаютъ шарнирностью какъ вдоль, такъ и поперекъ фермъ. о поверхностяхъ соприка- катковъ съ подушками вы- въ слѣдующей таблицѣ.

Фиг. 180.

Фиг. 179.



Шоссейный мостъ черезъ Вѣну въ Хадерсдорфъ, отверстіемъ 35,5 м.



Фиг. 181.

Фиг. 182.

Фиг. 183.

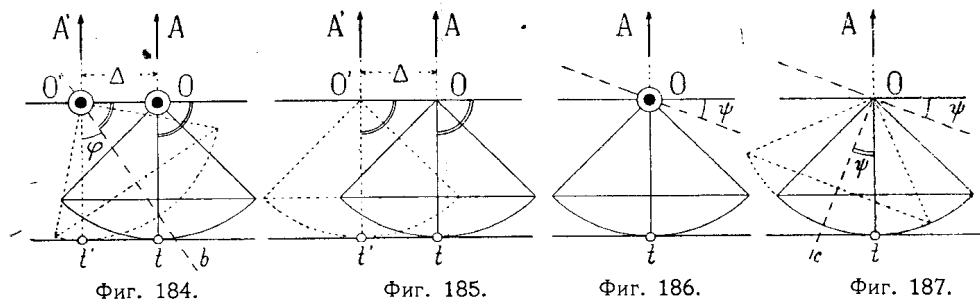
Поверхность соприкасанія:	О п о р ы:			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
верхней подушки	Фиг. 181 и 182. цилиндрическая $R = 520$	Фиг. 181. плоская	Фиг. 182 и 183. цилиндрическая $R = 520$	Фиг. 180. плоская
верхней головки катка	двойной кривизны $r = 1500$ и 130	шаровая $r = 1500$	двойной кривизны $r = 1500$ и 130	шаровая $r = 1500$
нижней головки катка	цилиндрическая $R_1 = 520$	плоская	цилиндрическая $R_1 = 520$	плоская
нижней подушки	цилиндрическая $r_1 = 130$	цилиндрическая $r_1 = 1500$	двойной кривизны $r_1 = 1500$ и 130	цилиндрическая $r_1 = 1500$

Катки опоръ *a* и *b* могутъ катиться вдоль фермъ, катокъ опоры *d* — попе- екъ фермъ, а катокъ опоры *c* — какъ вдоль, такъ и поперекъ фермъ. Во избъ- аніе угона и сдвига катковъ, примѣнены зубья, заключенные въ соответствен- ыя гнѣзда. Давленіе на каждую опору составляетъ около 65 тон.

§ 22. Секторныя опоры.

Секторная опора состоитъ изъ цилиндрическаго сектора, верхняго баланса и нижней подушки. Иногда верхній балансиръ отсутствуетъ; тогда секторъ крѣпленъ непосредственно къ фермѣ, чаще всего при помощи шарнирнаго болта. Если секторъ прикрѣпленъ къ верхнему балансиру или къ фермѣ шарнирнымъ образомъ, получается шарнирная секторная опора; если же секторъ наглухо крѣпленъ къ фермѣ или балансиру, то опора будетъ нешарнирная секторная. Реакція опоры всегда проходитъ черезъ центръ цилиндрической поверхности сектора и направлена вертикально, при условіи что треніемъ пренебрегаемъ. Къ преимуществамъ секторныхъ опоръ слѣдуетъ отнести то, что для нихъ можно примѣнять большіе радіусы кривизны при сравнительно небольшой высоте опоры. Ознакомимся съ тѣмъ, какъ измѣняется положеніе сектора при движеніи опоры.

1) При продольномъ перемѣщеніи конца фермы на величину Δ шарнирный секторъ принимаетъ положеніе, показанное въ фиг. 184 пунктиромъ; центръ шарнира переходитъ изъ O въ O' , вертикальная ось Ot симметріи сектора поворачивается на уголъ ψ и принимаетъ наклонное положеніе $O'b$. Тотъ же уголъ поворачивается шарниръ. Окружность сектора перекатывается по подушкѣ на $tt' = \Delta$. Нешарнирный секторъ принимаетъ при перемѣщеніи конца фермы на Δ положеніе, показанное въ фиг. 185 пунктиромъ; вертикальная ось Ot симметріи сектора сохраняетъ свое вертикальное положеніе, такъ какъ секторъ скользитъ по подушкѣ.

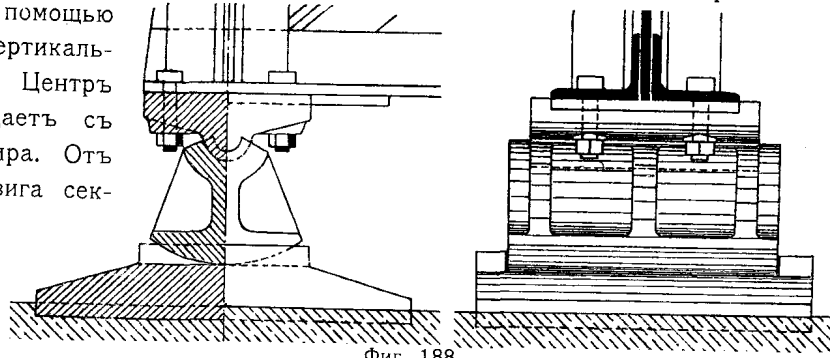


2) При вращеніи конца фермы на уголъ ψ , вслѣдствіе прогиба фермы шарнирный секторъ остается на мѣстѣ (фиг. 186), такъ какъ конецъ фермы поворачивается около шарнира O на уголъ ψ . Нешарнирный секторъ принимаетъ положеніе, показанное въ фиг. 187 пунктиромъ; вертикальная ось Ot симметріи сектора поворачивается на уголъ ψ , принимая положеніе Oc , причемъ секторъ скользитъ по подушкѣ.

Радіусы сектора и шарнира слѣдуетъ опредѣлять по допускаемому напряженію матеріала на смятіе, пользуясь для расчета формулами изъ § 5 и 7. Сопротивленіе шарнирнаго сектора вращенію опредѣляется тѣмъ же способомъ, какъ для колеса. Обозначая черезъ A давленіе опоры въ кил., черезъ R радіусъ сектора въ см., черезъ r радіусъ шарнирнаго болта въ см., черезъ $f_2 = \frac{\delta}{R} = \frac{0,17}{R}$ коэффициентъ тренія II рода для катка, черезъ $f_1 = 0,3$ коэффициентъ тренія шарнира, получимъ горизонтальное сопротивленіе опоры отъ тренія въ кил.

$$W = \left(f_1 \frac{r}{R} + \frac{\delta}{R} \right) A = \left(0,3 \cdot r + 0,175 \right) \frac{A}{R}.$$

Примѣры шарнирныхъ секторныхъ опоръ. I примѣръ (фиг. 188). Опора состоитъ изъ верхняго балансира съ выпуклою цилиндрическою головкою, изъ ребристаго сектора съ головкою въ видѣ цилиндрическаго гнѣзда и изъ нижней подушки. Секторъ составленъ изъ вертикальной шейки, связанной съ цилиндрическимъ балансиромъ помощью пары вертикальных ребордъ. Центръ сектора совпадаетъ съ центромъ шарнира. Отъ поперечнаго сдвига секторъ удерживается за край на нижней подушкѣ торцахъ

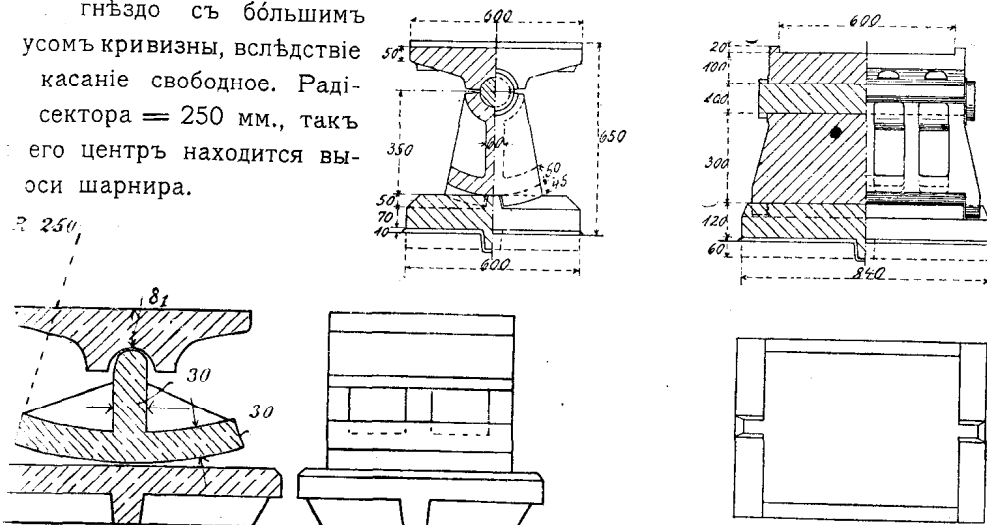


Фиг. 188.

вики сектора. Конструкція шарнира неудачна такъ какъ въ головкѣ сектора накапливается вода; лучше устраивать головку сектора выпуклою, какъ фиг. 189.

II примѣръ (фиг. 189). Устройство этой опоры такое же, какъ въ предыдущемъ примѣрѣ, за исключеніемъ шарнира. Ребристый секторъ имѣетъ выпуклую цилиндрическую головку, для которой въ верхнемъ балансирѣ сдѣлано цилиндрическое гнѣздо съ большимъ радиусомъ кривизны, вслѣдствіе чего касаніе свободное. Радиусъ сектора = 250 мм., такъ какъ его центръ находится въ осей шарнира.

R 250

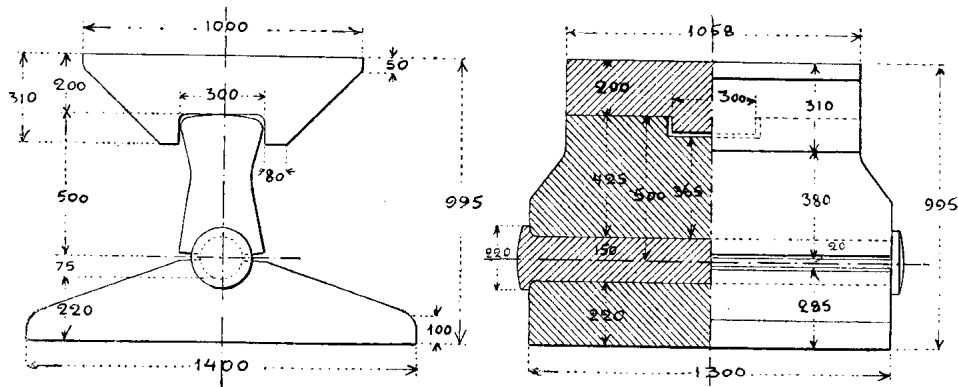


Фиг. 189.

Фиг. 190.

III примѣръ (фиг. 190). Опора состоитъ изъ массивнаго верхняго балансира съ выпуклою въ видѣ цилиндрическаго гнѣзда, изъ цилиндрической цапфы, изъ сектора съ цилиндрическимъ гнѣздомъ для цапфы и изъ нижней подушки. Секторъ состоитъ изъ шейки толщиной 60 мм., связанной съ цилиндрическимъ балансиромъ при помощи пяти паръ вертикальных ребордъ. Центръ сектора совпадаетъ съ осью цапфы. Отъ поперечнаго сдвига секторъ удерживается наверху кольцевыми закрайками на торцахъ цапфы, а внизу закрайками на ободѣ сектора. Для избѣжанія продольнаго угона сектора, сдѣлано зацѣпленіе при помощи двухъ ребордъ, которые устроены на краяхъ нижней подушки, а гнѣзда для нихъ—въ радиальныхъ районахъ на ободѣ сектора.

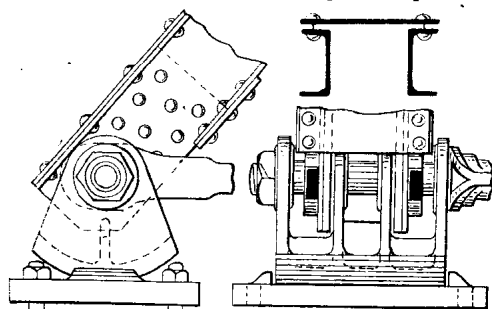
IV примѣръ (фиг. 191). Эта опора можетъ быть разсматриваема какъ кинутая секторная опора съ неподвижнымъ шарниромъ внизу. Качающийся торъ надѣтъ внизу на цилиндрическую цапфу діаметромъ 150 мм., втпленную нижнюю подушку. Головка сектора выпуклая, цилиндрическая, радіусомъ 500



Фиг. 191. Шосс. мостъ, пролет. 116,5 м., чер. Изель у Вестерворта въ Голландіи.

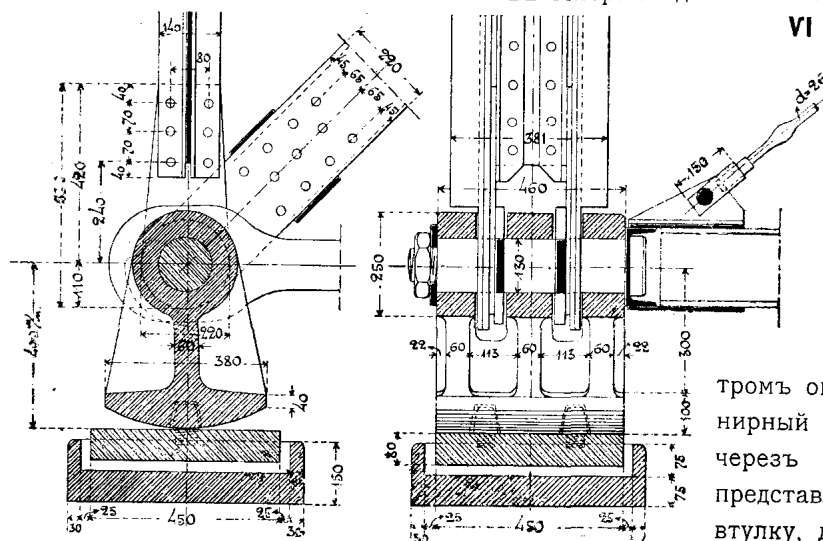
Ея центръ кривизны совпадаетъ съ осью нижняго шарнира. Верхній баланъ устроенъ плоскимъ въ мѣстѣ соприкасанія съ головкою сектора. Давленіе $\approx 272,5$ тон. Всѣ части изъ Мартеновской стали.

V примѣръ (фиг. 192). Эта опора американскаго типа состоитъ изъ нижн



Фиг. 192. Типъ завода American Bridge Co. въ Америкѣ для небольшихъ мостовъ.

подушки и сектора, который при помощи шарнирнаго болта прикрѣпленъ посредственно къ поясу фермы. Шарнирн болтъ поддерживается четырьмя вертикальными стѣнками сектора, въ зазоры которыми пропущены швеллера верхняго пояса и полосы нижняго. Во избѣ. поперечнаго сдвига сектора, нижняя подушка снабжена двумя приливами. О такого типа особенно удобны при ферма съ болтовыми узлами и часто примѣня въ Америкѣ для небольшихъ мостовъ.



Фиг. 193. Типъ завода „Markort“.

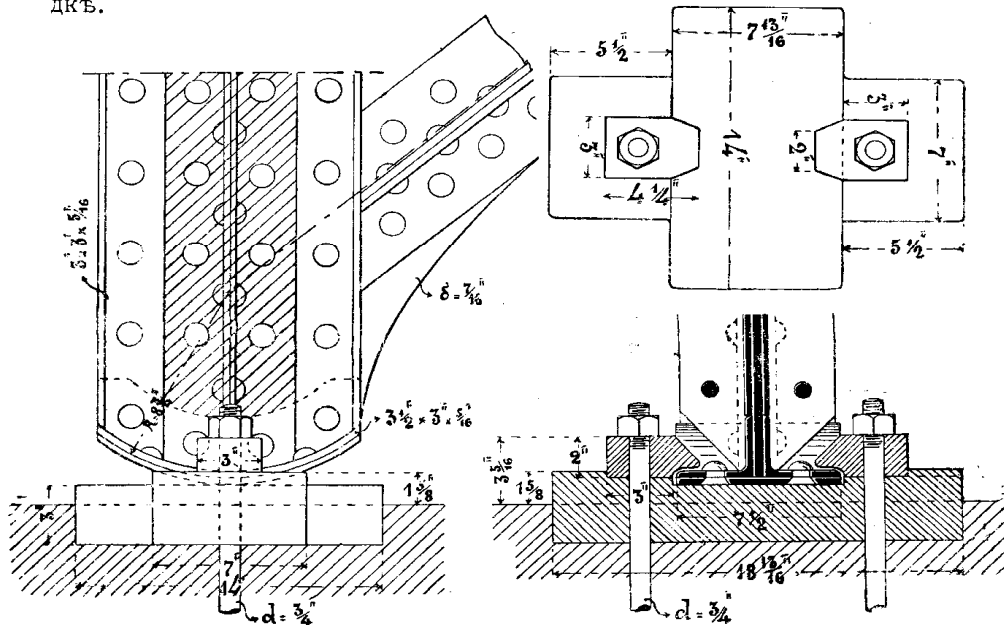
VI примѣръ (фиг.

Секторъ опоры приплень непосредственно къ мѣ при по шарнирнаго та діаметромъ 130 мм., соединяющаго съ

трѣмъ опорнаго узла. Шарнирн болтъ пропущенъ черезъ головку сектора представляющую круглую втулку, діам. 250 мм., которая соединена съ верти

кою тремя парами поперечныхъ ребордъ. Головка сектора имѣеть два въ которые пропущены двѣ проушины полосъ нижняго пояса, двѣ опорной стойки, два листа и два швеллера раскоса. Всѣ эти части снабжены и надѣты на шарнирный болтъ діаметромъ 130 мм. Секторъ по чугунной плитѣ, которая снабжена двумя зубьями съ закругленными го пропущенными въ соотвѣтственныя гнѣзда сектора. Плита залита при цемента въ нижнюю подушку съ закрайнами со всѣхъ четырехъ сторонъ.

Примѣръ нешарнирной секторной опоры (фиг. 194). Въ этой подвижной опорѣ дѣльнаго сектора; вмѣсто него опорные уголки и листъ изогнуты по цисеской поверхности радиусомъ $8\frac{3}{4}$ дм. Нижняя чугунная подушка плоская, секторъ можетъ вращаться и скользить по ней. Секторъ удерживается шкѣ при помощи двухъ прижимовъ на болтахъ, задѣланныхъ въ камендкѣ.



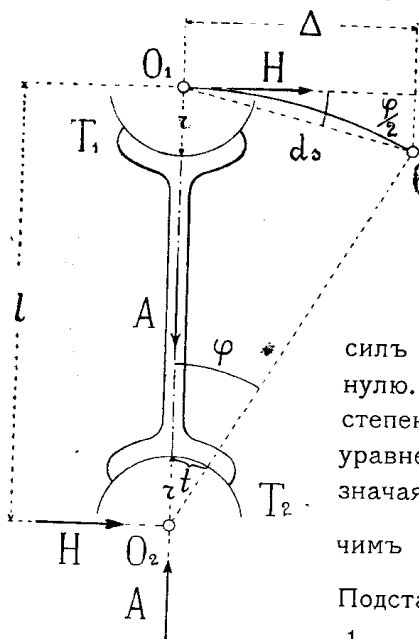
Фиг. 194. Проектъ стропиль для кадетскаго корпуса въ Ярославлѣ.

§ 23. Качающіяся опоры.

Качающаяся опора состоитъ изъ стержня, который соединенъ при помощи снира съ верхнею подушкою и качается около нижняго (неподвижнаго) шарпри всякомъ измѣненіи длины фермы. При качаніи стержня конецъ фермы кается и поднимается; въ этомъ заключается недостатокъ качающихся опоръ, сравненію съ катковыми и секторными опорами, при движеніи которыхъ кофермы остается на одномъ и томъ же уровнѣ. Чтобы уменьшить велиопусканія и поднятія фермы, слѣдуетъ: 1) дѣлать качающійся стержень можно длиннѣе и 2) устанавливать его такъ, чтобы при средней температурѣдуха онъ имѣлъ вертикальное положеніе. Въ качающихся опорахъ многопроныхъ мостовъ длина качающагося стержня принимается во всю высоту быка (259).

Шарниры бываютъ цилиндрическіе или шаровые. Въ первомъ случаѣ стержне можетъ качаться лишь по одному направленію, причеъ его верхній конецъ дисываетъ кругъ; во второмъ случаѣ возможно качаніе во всѣ стороны и верх-

ной шарниръ описываетъ поверхность шара, радиусъ котораго равенъ длинѣ стержня. Цилиндрическіе шарниры удобны тѣмъ, что имѣютъ большую поверхность соприкосновенія; зато шаровые шарниры строго центрируютъ передачу давления опоры. Шарниры образуются или закругленіемъ выпуклой головки качающагося стержня, или мощи болта, пропущеннаго въ круглыя отверстія подушки и стержня (фиг. 198). Последний способъ примѣняется въ томъ случаѣ, если опора испытываетъ значительную реакцію (при неразрѣзныхъ и консольныхъ фермахъ).



Фиг. 195.

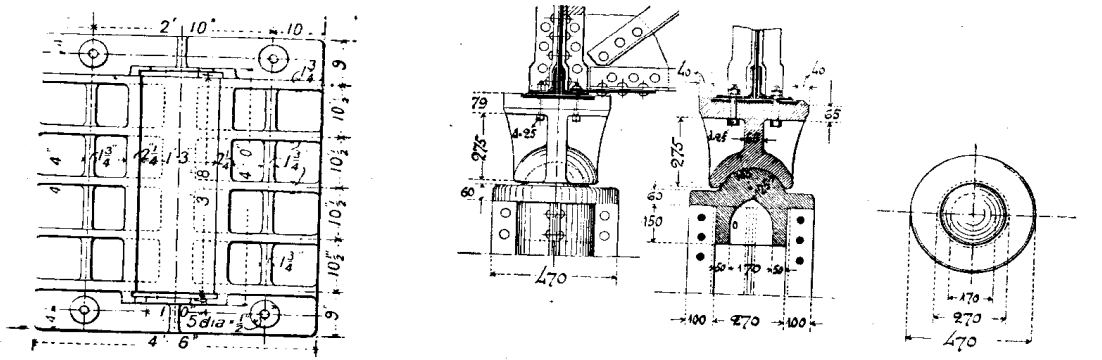
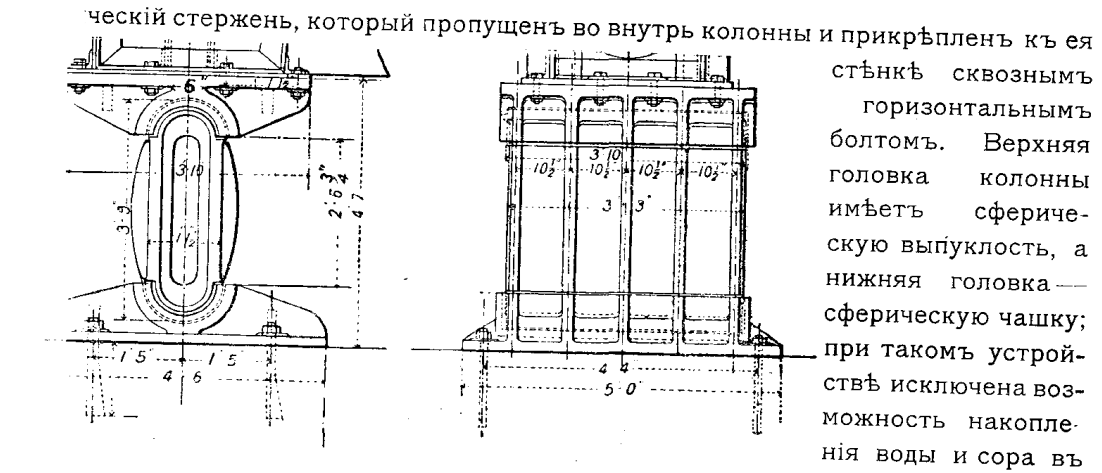
Горизонтальное сопротивление H качающейся опоры складывается 1) изъ силы трѣнія въ шарнирахъ и 2) изъ горизонтальной силы, необходимой для приведения стержня при поднятіи конца стержня въ вертикальное положеніе, можно разсчитать изъ условія, что сумма работъ внѣшнихъ силъ H , A и силъ трѣнія T_1 , T_2 въ шарнирахъ равна нулю. Такъ какъ горизонтальная сила H возрастаетъ степенно отъ нуля до H , то ея работа $= \frac{1}{2} H \cdot \Delta$; уравненіе работъ $\frac{1}{2} H \cdot \Delta - A \cdot \delta - T_1 \cdot t - T_2 \cdot t = 0$, значая черезъ f коэффициентъ скользящаго трѣнія, получимъ $T_1 = T_2 = A \cdot f$. Кроме того, $t = \frac{r}{l} \cdot ds \approx \frac{r}{l} \cdot \Delta$.

Подставляя эти значенія въ уравненіе работъ, имѣемъ $\frac{1}{2} H \cdot \Delta = A \cdot \Delta \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + 2 A \cdot f \cdot \frac{r}{l} \cdot \Delta$;
 $H = 2 \left(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + \frac{2 \cdot f \cdot r}{l} \right) \cdot A \dots \dots \dots$

При данномъ давленіи A на опору, горизонтальное сопротивление H уменьшается тѣмъ меньше, чѣмъ меньше радиусъ r шарнировъ и чѣмъ больше стержня. Смотря по тому, происходитъ ли укороченіе или удлиненіе фермы, горизонтальная сила H можетъ имѣть то или другое направленіе, вызывая въ фермѣ дополнительное сжатіе или растяженіе.

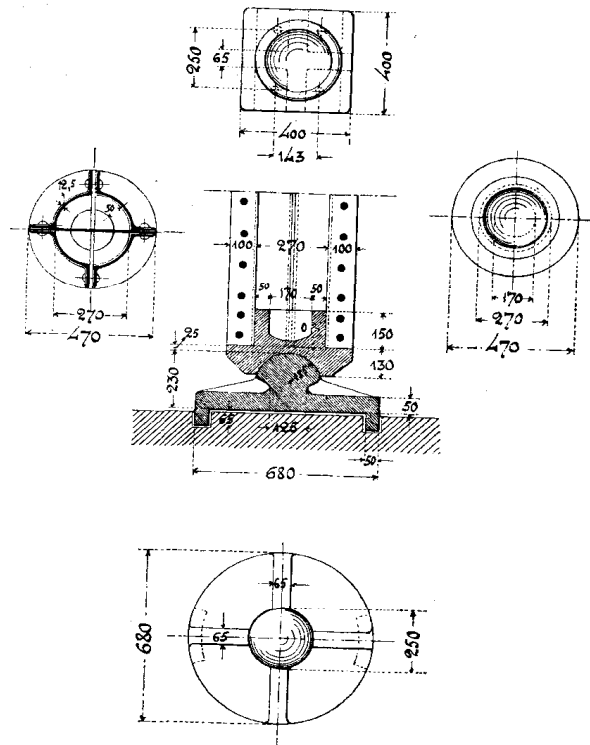
I примѣръ качающейся опоры (фиг. 196). Качающійся стержень высотой и шириной въ 3 ф. 9 дм. имѣетъ двѣ цилиндрическія головки діаметромъ 15 дм. Пустылая шейка усилена пятью парами ребордъ эллиптическаго очертанія. Горизонтальный разрѣзъ стержня показанъ пунктиромъ на планѣ нижней подушки. Подушки ребристаго типа снабжены цилиндрическими чашками, которыя припритерты съ головками стержня и укрѣплены на плитѣ подушекъ пятью парами ребордъ. При сборкѣ моста стержень установленъ такъ, чтобы при средней температурѣ воздуха онъ стоялъ вертикально (см. стр. 107).

II примѣръ (фиг. 197). Эта качающаяся опора неразрѣзного трехпролетнаго путепровода состоитъ изъ желѣзной колонны высотой 5 м., которая при помощи шаровыхъ шарнировъ упирается въ верхній и нижній балансиры. Колонна склеивается изъ четырехъ квадрантовъ, связанныхъ между собою планками, которыя расположены поочередно по направленію одного и другого діаметра квадрантовъ. Концы колонны точно срезаны и на каждый изъ нихъ надѣта круглая стальная головка, имѣющая



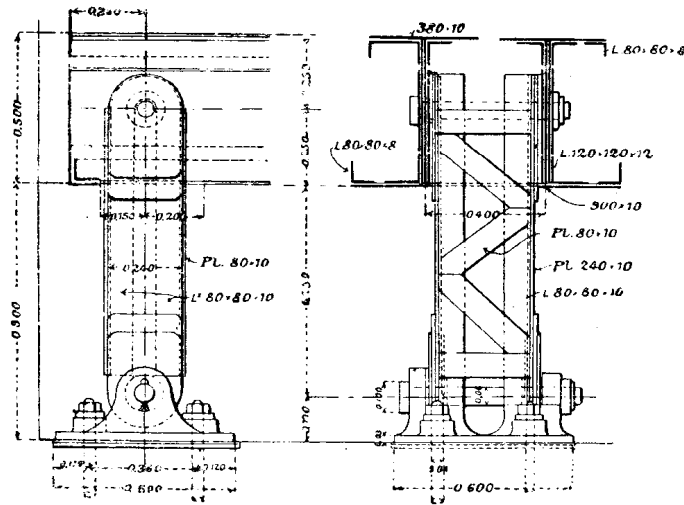
196. Roath Docks bridge Great Western Railway, пролетъ 288 фут.

зрахъ. Верхній балансиръ опирается изъ квадратной плиты 125 мм. и сферической чашки, вставленныхъ между собою четырьмя стальными ребрами. Нижній балансиръ представляетъ круглую головку, которая поддается четырьмя радиальными ребрами. Нижній балансиръ укрепленъ на подферменномъ камнѣ при двухъ приливахъ, которые вложены на окружности балансира и втплены въ камень. Радиусъ сферическихъ поверхностей въ шарикахъ составляетъ 125 мм. для выпуклостей и 124 мм. для впадин. Толщина въ 1 мм. принята для уменьшенія тренія при вращеніи шариковъ.



Фиг. 197. Трехпролетный путепроводъ на 2-й верстѣ Московско-Ярославской ж. д.

III примѣръ (фиг. 198). Оба шарнира этой опоры устроены при помощи



Фиг. 198. Мостъ Мирабо черезъ Сену въ Парижѣ.

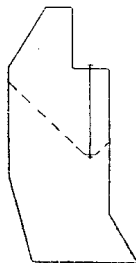
нирныхъ болтовъ. шійся стержень 980 мм. имѣетъ три сѣченіе и склепанъ изъ уголковъ 80.80.10. 2хъ листовъ 240.10 мм. цы стержня утолщены панными на нихъ нами и снабжены отверстиемъ для шар болта, діаметромъ. Наверху болтъ про черезъ вертикальнѣя коробчатого пояса, а черезъ подушку, котс этой цѣли снабжена

вертикальными приливами. Опора такого типа можетъ сопротивляться раст щимъ усилямъ и примѣняется въ неразрѣзныхъ и консольныхъ ферм случаѣ отрицательной опорной реакціи.

Глава VI.

§ 24. Закрѣпленіе опоръ на случай отрыванія.

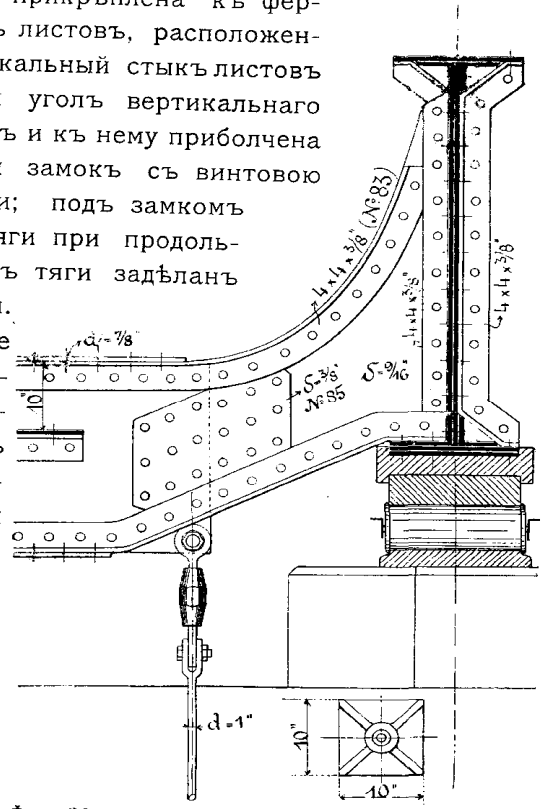
А. Вертикально-закрѣпленныя опоры. На концевыхъ опорахъ консоль. неразрѣзныхъ фермъ могутъ возникать такія вертикальныя силы, которые мятся оторвать ферму отъ опоры. Для уничтоженія этихъ силъ (отрицате опорныхъ реакцій), можно устраивать на концахъ фермъ противовѣс рельсовъ, чугунныхъ болванокъ, шлаковаго кирпича, бетона и пр., которые дываются на балкахъ, помѣщенныхъ подъ проѣзжею частью. Въмсто про совъ, часто прибѣгаютъ къ закрѣпленію опоръ при помощи вертикальныхъ ныхъ тягъ, задѣланныхъ въ каменной кладкѣ. Тяги исполняются изъ полосового и универсальнаго желѣза; верхнимъ концомъ онѣ прикрѣ фермѣ, къ опорной поперечной балкѣ или къ особымъ консолямъ, а нецъ тягъ задѣлывается въ каменной кладкѣ при помощи или стальной плиты. Анкера опускаются въ кладку на такую ну, чтобы вѣсъ вышележащаго каменнаго массива былъ вдвое ше отрицательной опорной реакціи. Этотъ массивъ можно раз вать какъ верхнюю часть устоя (фиг. 199), ограниченную нусомъ съ уклономъ сторонъ въ 45° , причемъ вершина совпадаетъ съ нижнимъ концомъ анкера. Надо стремиться чтобы анкера находились въ вертикальной плоскости, совпа съ опорною поперечною балкою. Къ сожалѣнію, очень часто блюдаютъ этого условія по конструктивнымъ соображеніямъ и гають анкера ближе къ устою; тогда концы фермъ перестаютъ быть лежащими на опорахъ и испытываютъ опорные моменты. Если опора по ная, то анкера не должны препятствовать продольному перемѣщенію конца такъ какъ анкера при этомъ наклоняются, то во избѣжаніе изгиба,



Фиг. 199.

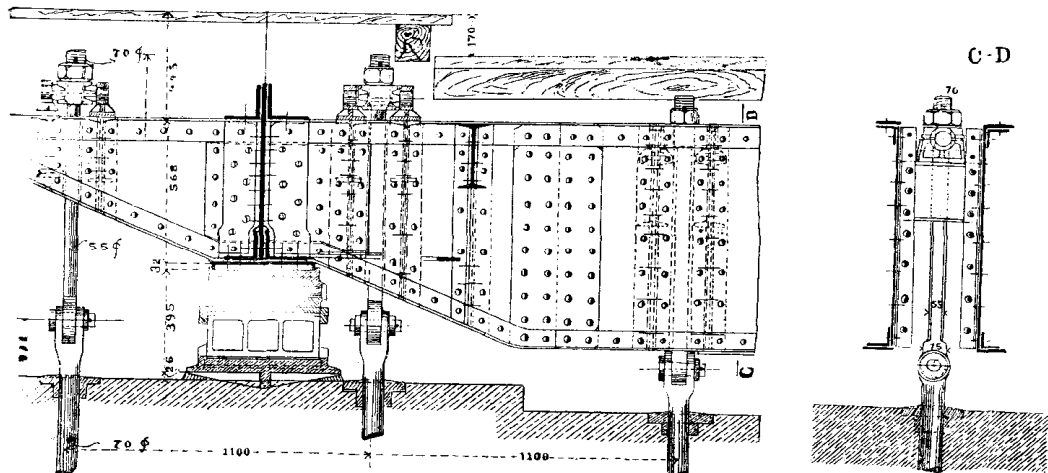
пляютъ къ фермѣ помощью шарнира. Анкера должны быть снабжены приспособленіемъ для ихъ натяженія при сборкѣ. Разсмотримъ нѣсколько примѣровъ ленныхъ подвижныхъ опоръ.

Примѣръ (фиг. 200). Опоры этого путепровода съ неразрѣзными фермами зааны при помощи двухъ анкерныхъ тягъ изъ круглаго желѣза, прикрѣпленкъ опорной поперечной балкѣ. Въ виду небольшой строительной высоты, опущена ниже уровня фермъ и прикрѣплена къ ферпри помощи фасонныхъ консольныхъ листовъ, расположенвъ притыкъ къ стѣнкѣ балки. Вертикальный стыкъ листовъ бытъ двойными накладками. Нижній уголъ вертикальнаго балки пропущенъ за предѣлы уголковъ и къ нему приболчена на анкерной тяги; тутъ же имѣется замокъ съ винтовою служащей для натяженія тяги; подъ замкомъ шарниръ, во избѣжаніе изгиба тяги при продольремѣщеніи фермъ. Нижній конецъ тяги задѣланъ дкѣ помощью чугунной подушки. Нижніе уголки поперечной балки не вверхъ, какъ въ фиг. 200, а расгоризонтально, то въ стыкъ верстѣнки съ консольнымъ листомъ мѣстить узкую вставку въ плосковыпустить ее ниже уголковъ и ть къ ея концу анкерную тягу. той вставки можно перекрыть общими ами.



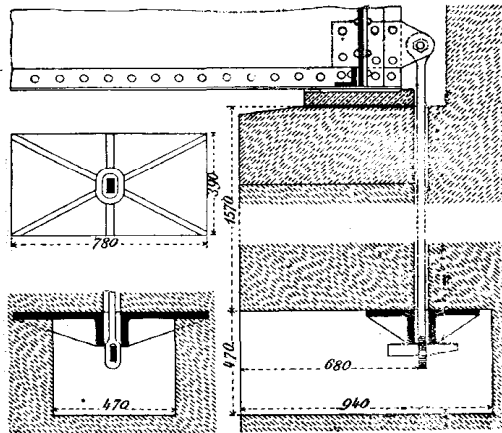
Фиг. 200. Трехпролетный путепроводъ на 2-й верстѣ Московско-Ярославской ж. д.

Примѣръ (фиг. 201). Закрѣпленіе опоно при помощи восьми анкерныхъ круглаго желѣза, прикрѣпленныхъ чной поперечной балкѣ и ея консоЭта балка имѣетъ коробчатое сѣчемѣстахъ расположенія каждой тяги бѣими стѣнками поперечной балки вклепана пара двутавровыхъ балокъ; уложены подшипники, поддерживающіе цапфу съ отверстіемъ, черезъ



Фиг. 201. Шосс. мостъ черезъ Везеръ въ Хаммельнѣ (см. фиг. 916 I т.).

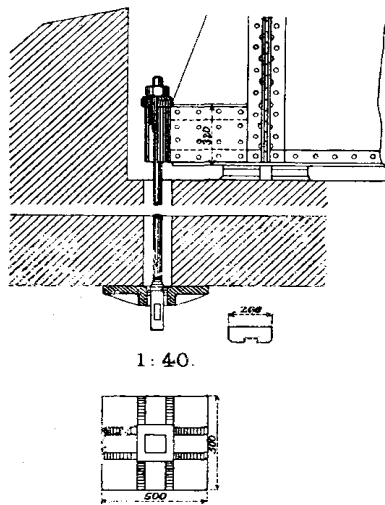
которое пропущенъ верхній конецъ тяги. Надъ поверхностью каменъ каждая тяга снабжена шарниромъ, дабы она не изгибалась при продольнои сцени фермъ.



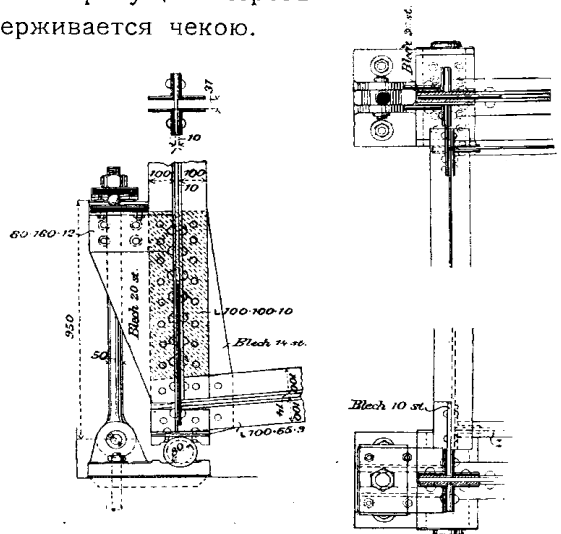
Фиг. 202. Мостъ въ Деличѣ.

сплошной фермы, уложенному на плоской подушкѣ. Вертикальный ли продолженъ немного за опорную подушку, и къ его косо сръзанному ко пана накладка со втулкою, черезъ которую пропущена тяга изъ кругл снабженная гайкою. Нижній конецъ тяги пропущенъ черезъ плиту, задѣланную въ кладкѣ, и удерживается чекою.

III примѣръ (фиг. 202). Ан изъ круглаго желѣза прикрѣплен ственно къ концу сплошной фер. ному на плоской подушкѣ. Къ мы приклепана небольшая нак которой при помощи болта проушина тяги. Нижній конецъ щень черезъ отверстіе въ чугу кѣ и упирается въ нее при помо ки. Подушка помѣщена въ пря нишѣ устоя.



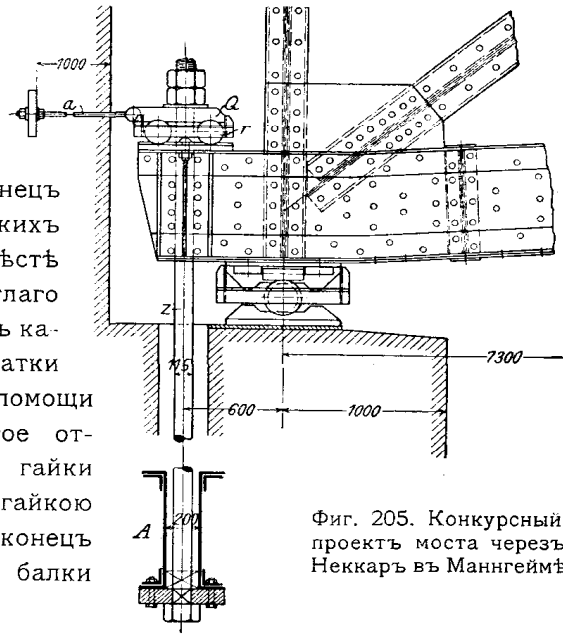
Фиг. 203. Мостъ въ Дюссельдорфѣ.



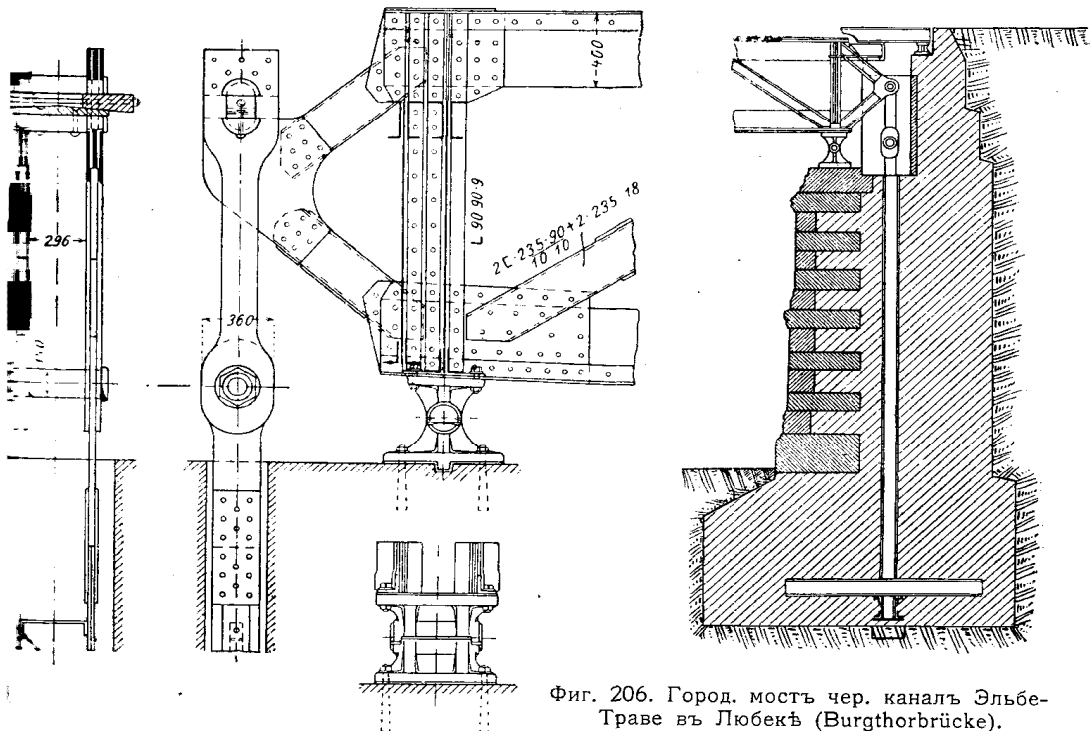
Фиг. 204. Пѣшеходный мостъ черезъ Обершеневейдѣ около Берлина.

V примѣръ (фиг. 204). Оба предыдущихъ способа закрѣпленія фер тотъ недостатокъ, что при перемѣщеніи конца фермы тяга отклоняет его вертикальнаго положенія, вслѣдствіе чего увеличивается ея натяже ніе на опору и сила тренія. Чтобы устранить это неудобство, сдѣлано подвижное соединеніе между верхнимъ концомъ тяги и треугольною кон клепанною къ опорной стойкѣ фермы. Для этого проложены шаровые к верхнюю площадкою треугольной консоли и плиткою, которая прижимае на верхнемъ концѣ анкерной тяги. На уровнѣ однокатковой главной имѣетъ шарниръ; для его устройства нижняя подушка опоры снабжена тикальными ушками, съ которыми тяга соединена при помощи болта.

VI примѣръ (фиг. 205). Какъ въ предыдущемъ примѣрѣ, вертикальное закрѣпленіе конца фермы устроено такъ, тяга оставалась неподвижною во перемѣщенія фермы. Верхній круглой тяги *Z*, діаметромъ пропущенъ черезъ чугунную подушку *Q*, которая опирается на конецъ при помощи двухъ цилиндрическихъ Подушка *Q* удерживается на мѣстѣ вертикальною стяжкой *a* изъ круглаго діамет. 39 мм., закрѣпленною въ кладкѣ при помощи плиты. Катки на конецъ фермы при помощи ной плиты, имѣющей продолговатое от- для пропуска тяги. Натяженіе гайки водится помощью гайки съ контргайкою рхнемъ концѣ тяги. Ея нижній конецъ въ кладкѣ устоя при помощи балки робчатого сѣченія.



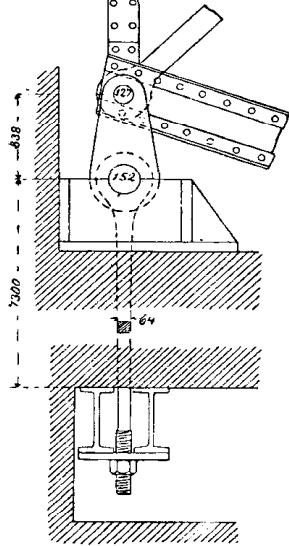
Фиг. 205. Конкурсный проект моста через Неккаръ въ Маннгеймѣ.



Фиг. 206. Город. мостъ чер. каналъ Эльбеграве въ Любекѣ (Burgthorbrücke).

VII примѣръ (фиг. 206). Эта береговая опора консольнаго моста испытываетъ шое положительное давленіе, вслѣдствіе чего опорныя части устроены сколь- и состоятъ изъ двухъ балансировъ, головка которыхъ плоская въ верх- балансирѣ и выпуклая въ нижнемъ. Отрицательное сопротивленіе опоры такъ что анкерныя тяги устроены очень солидно. Конецъ фермы снабженъ ною консолью; къ ней подвѣшено помощью шарнира верхнее звено тяги,

состоящее изъ 4 полосъ съ проушинами. Непосредственно надъ каменною, верхнее звено тяги соединено, помощью шарнирного болта, діам. длинною тягою, которая состоитъ изъ двухъ паръ полосъ, связанныхъ

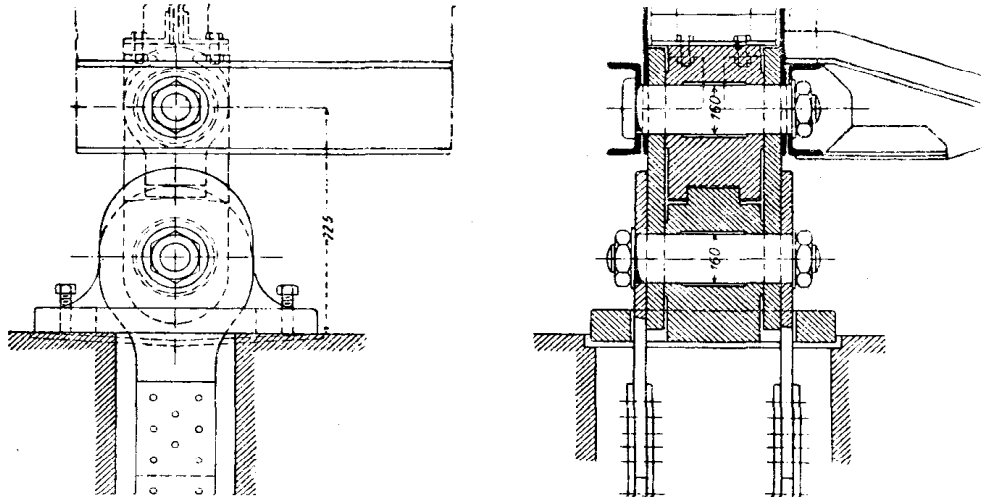


Фиг. 207. Мостъ черезъ Фрезеръ въ Канадѣ.

бою рѣшеткою. Нижній конецъ тяги наглухо кладкѣ посредствомъ балокъ. При продольномъ нии конца фермы, верхнее звено тяги можетъ около нижняго шарнира; при этомъ тяга испытываетъ некоторое натяженіе, такъ что увеличивается со скользящей опоры подъ фермою. Натяженіе тяги можетъ быть регулировано помощью двухъ клиньевъ, вставленныхъ между половинками верхняго шарнира, важное значеніе при сборкѣ моста.

VIII примѣръ Если устроить подвижную опору качающагося типа, согласно изложенному на 138, то очень легко закрѣпить конецъ фермы на ваніи. Какъ видно изъ фиг. 207, на шарнирный болтъ узла надѣтъ чугунный качающійся стержень, опирающійся на цапфу діам. 152 мм. на чугунный балка надѣты при помощи проушинъ 4 тяги ратнаго желѣза, закрѣпленныя нижнимъ концомъ на кладкѣ.

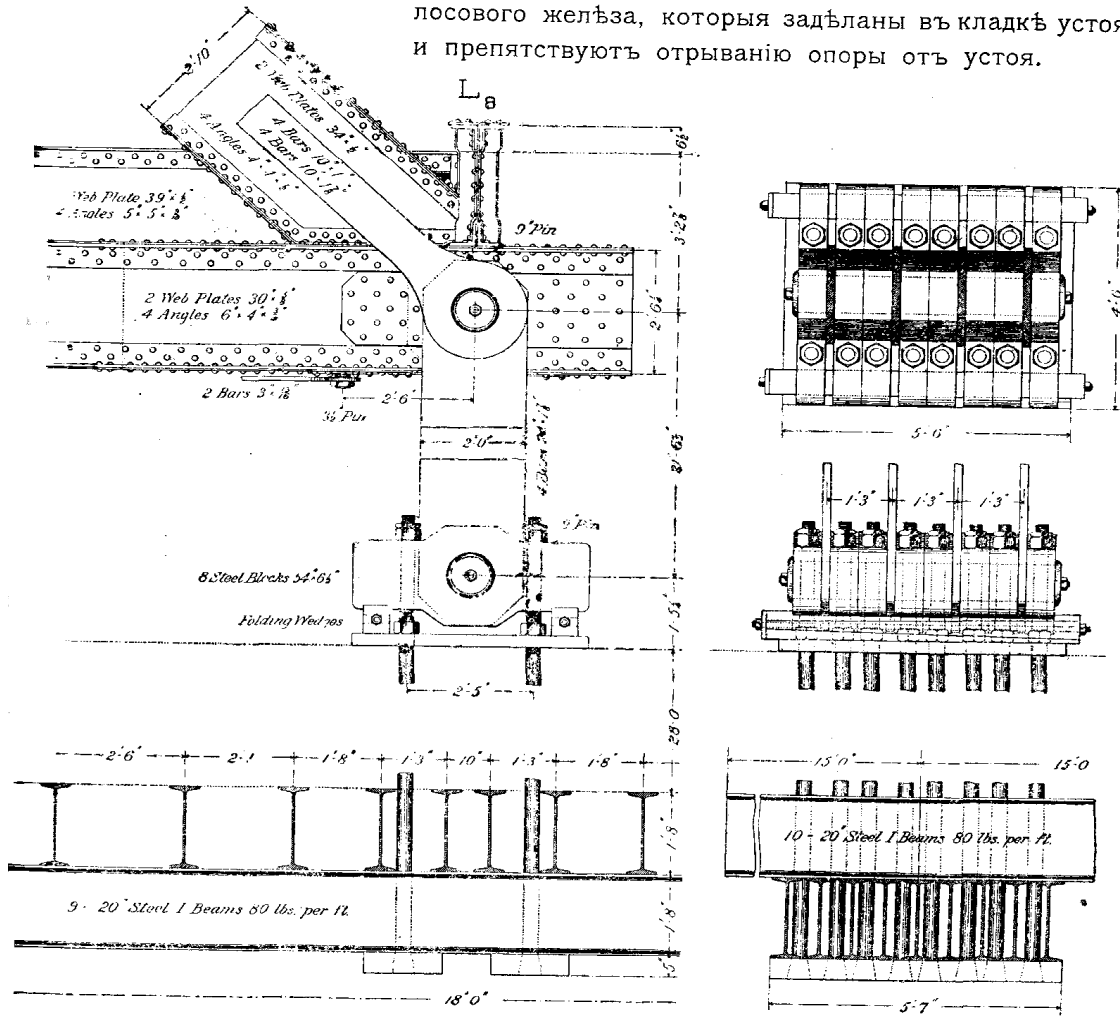
IX примѣръ (фиг. 208). Эта закрѣпленная качающаяся опора имѣетъ для передачи положительной и отрицательной реакціи. Первая воспринимается двумя чугунными балансиромъ слѣдующаго устройства. Поперечная діафрагма опорнаго узла прикрѣплена четырьмя болтами. Балансиръ, который опирается на нижній балансиръ, уложенный на подфундаментъ.



Фиг. 208. „Mühlenthorbrücke“ черезъ каналъ Эльбе-Траве въ Любекѣ.

Соприкосновеніе между плоскою головкою верхняго и выпуклою головкою нижняго балансиромъ происходитъ лишь въ средней ихъ части, а по бокамъ крайныя, устраняющія возможность поперечнаго сдвига балансировъ. Для передачи отрицательной опорной реакціи, балансиромъ связаны между собою двумя желѣзными планками, надѣтыми на два горизонтальныхъ болта, діам. 160 мм., изъ которыхъ нижній совпадаетъ съ центромъ цилиндрической

нижняго балансира, такъ что планки могутъ качаться вмѣстѣ съ балан. На концы нижняго болта надѣты помощью проушинъ двѣ тяги изъ полосового желѣза, которыя задѣланы въ кладкѣ устоя и препятствуютъ отрыванію опоры отъ устоя.

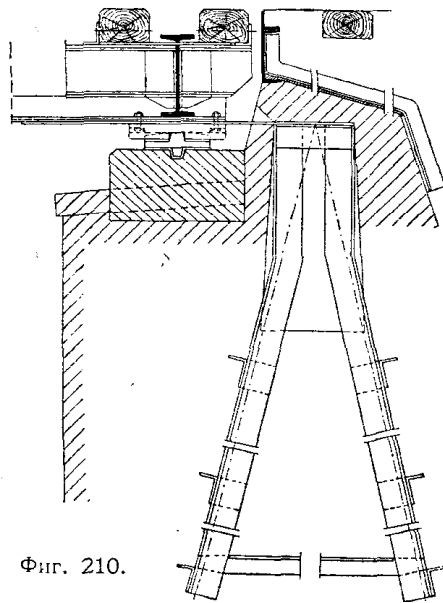


Фиг. 209. Жел.-дор. консольный мостъ черезъ Миссиссиппи въ Мемфисѣ.

Х примѣръ (фиг. 209). Эта береговая опора консольнаго моста передаетъ шую отрицательную реакцію. На шарнирный болтъ (діам. 9 дм.) опорнаго узла надѣты 4 качающіяся подвѣски съченіемъ $24 \cdot 1\frac{7}{8}$ дм. Внизу подвѣски ты на цилиндрическую цапфу (діам. 9 дм.), пропущенную черезъ 8 стальныхъ кладинъ, которыя своими концами опираются на два выступа стальной доски, женной на подферменникѣ. Выступы снабжены клиньями, при помощи которыхъ опускать и поднимать перекладины. Черезъ каждую перекладину пропущено анкерныхъ болта, діам. $3\frac{1}{8}$ дм. и длиною 34,5 фут., задѣланныхъ въ кладкѣ. Верхній конецъ болтовъ снабженъ винтовою нарѣзкою и тремя гайками, изъ которыхъ упирается въ доску на подферменникѣ, а двѣ въ перекладину. Нижній конецъ болтовъ имѣетъ коническую потайную головку, втопленную стальную плиту, толщиною 5 дм. Такихъ плитъ имѣется двѣ; онѣ упираются двойной настиль изъ 20 дюйм. двугавровыхъ балокъ, расположенныхъ на крестъ задѣланныхъ въ кладкѣ устоя.

В. Горизонтально-закрѣпленныя опоры. Если неподвижная опора укрѣплена на

подферменномъ камнѣ по одному изъ способовъ, описанныхъ на стр. 51 и получивъ достаточное вертикальное давленіе, то такая опора можетъ принять на себя

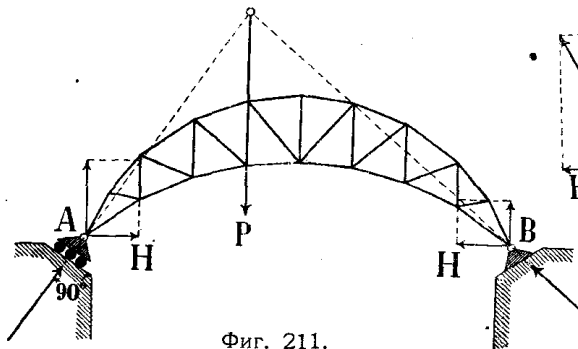


Фиг. 210.

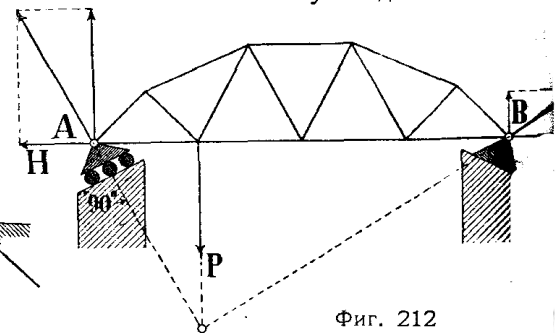
горизонтальныя силы, дѣйствующія вдоль пояса фермы. Но въ консольныхъ и неразрѣзныхъ случаяхъ могутъ быть случаи, когда поѣздъ, слѣдующій по мосту, вызываетъ не положительную, но даже отрицательную нагрузку на тѣхъ неподвижныхъ опорахъ, служащихъ для передачи силъ торможения. Въ этихъ случаяхъ эти опоры могутъ быть устроены въ видѣ подферменниковъ, если не устроить пенья въ горизонтальномъ направленіи. Закрѣпленіе показано на фиг. 210. Къ поясу фермы прикреплена горизонтальная стяжка изъ полосового желѣза, которая пущена въ кладку устоя и тамъ прикреплена къ козелку, склепанному изъ уголковъ и тонированному въ устоѣ. Для того, чтобы горизонтальная стяжка легче изгибалась въ случаѣ прогиба фермы, кладка имѣетъ небольшую выемку въ томъ мѣстѣ, гдѣ проходитъ стяжка.

§ 25. Наклонныя опоры ⁵⁾.

Если расположить подвижную опору балочной фермы въ наклонномъ положеніи, ея реакція отъ вертикальной нагрузки не будетъ вертикальна, вслѣдствіе чего фермѣ и устоямъ моста будетъ передаваться горизонтальный распоръ. При наклоненіи опорной площадки въ сторону пролета (фиг. 211), распоръ будетъ одного дѣйствія, какъ въ арочныхъ фермахъ; при наклоненіи опорной площадки въ обратную сторону (фиг. 212), распоръ будетъ такой же, какъ въ висячихъ фермахъ. Пользуясь дѣйствіемъ



Фиг. 211.



Фиг. 212

распора, можно для нѣкоторыхъ типовъ фермъ получить значительныя сбереженія матеріала. Наибольшую экономію дадутъ серповидныя фермы (фиг. 211), такъ какъ при наклоненіи подвижной опоры уменьшаются усилія въ обоихъ поясахъ.

Остановимся на примѣрѣ фермы съ прямымъ нижнимъ и криволинейнымъ верхнимъ поясомъ (фиг. 213). При наклоненіи подвижной опоры въ сторону

⁵⁾ Настоящій § представляетъ краткое извлеченіе изъ статьи автора „Фермы съ наклонными опорами“, помѣщенной въ Журналѣ Мин. П. С. 1900.

зывается распоръ, который сжимаетъ нижній поясъ фермы, уменьшая его
зающее усилие отъ дѣйствія вертикальной на-

При этомъ распоръ не

никакого вліянія

линейный поясъ и на

рѣшетки. Чтобы вы-

вліяніе, оказываемое

ніемъ подвижной опоры

поясъ, рассмотримъ

тнущую линію его уси-

въ средней панели.

Положимъ, что лѣвая под-

опора *A* составляетъ

съ вертикалью. Реак-

направленную перпен-

къ опорной площад-

жимъ на вертикаль-

горизонтальную соста-

A и *H*, причемъ *A*

разнится отъ реакціи ба-

фермы на горизонтальныхъ опорахъ. Усилие *U* нижняго поясъ выражается

$$U = \frac{M}{h} - H.$$

Инфлюэнтная линія перваго члена $\frac{M}{h}$ представляетъ

лѣвничекъ *abd* съ ординатою въ вершинѣ $gd = \frac{l}{4h}$. Второю членъ $H =$

$ctg \varphi$, такъ что его инфлюэнтная линія представляетъ треугольникъ *abc*

ординатою $ac = 1 \cdot ctg \varphi$. Вычитая Δabc изъ Δabd , получимъ

сѣтную линію усилю *U*, въ видѣ двухъ площадей — ω_1 и $+\omega_2$, заштрихов-

въ фиг. 213. Пользуясь этою инфлюэнтною линіею, мы получимъ усилю *U*:

отъ постоянной нагрузки *p*:

$$U_p = (-\omega_1 + \omega_2) p;$$

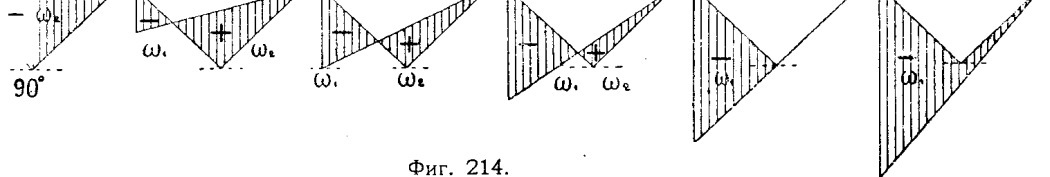
отъ временной нагрузки *k*:

$$U_k' = -\omega_1 \cdot k$$

$$U_k'' = +\omega_2 \cdot k.$$

Предѣльные усилю *U* зависятъ отъ соотношенія между площадями — ω_1 и

и между нагрузками *p* и *k*, такъ что нижній поясъ можетъ быть или только



Фиг. 214.

нутъ, или сжато-вытянуть, или только сжать. Соотношеніе между — ω_1 и

зависитъ отъ угла φ . При измѣненіи угла φ отъ 0 до 90° можно различать

още 6 случаевъ, представленные въ фиг. 214. Такіе же 6 случаевъ могутъ

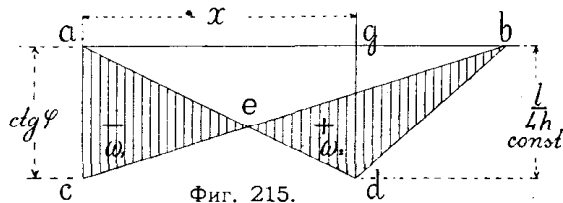
при измѣненіи угла φ отъ 90° до 180°. Пользуясь инфлюэнтными линіями,

нетрудно определить для каждой панели тотъ уголъ φ , которому соотвѣтъ наивыгоднѣйшее соотношеніе между $-\omega_1$ и $+\omega_2$. Однако, этотъ уголъ для отдѣльныхъ панелей различныя значенія, такъ какъ $\Delta a b d$, соотвѣщій усилию M/h , мѣняется для каждой панели.

Объемъ прямого нижняго пояса. Предположимъ параболическое очертаніе няго пояса; тогда площадь $\Delta a b d$ (фиг. 213), построеннаго для отдѣ. панелей нижняго пояса, будетъ имѣть постоянное значеніе; а такъ какъ Δ также не измѣняется, то разность площадей $\Delta a b d$ и $\Delta a b c$ или $(-\omega_2)$ постоянна на всемъ протяженіи нижняго пояса. Поэтому въ параболической съ наклонною подвижною опорой усилія отъ постоянной и всякой другой мѣрной нагрузки равны во всѣхъ панеляхъ нижняго пояса; что же касается большихъ усилій пояса, то они не получаютъ при полной нагрузкѣ, параболической фермѣ на горизонтальныхъ опорахъ, а при частичномъ на пролета. Предѣльныя усилія нижняго пояса рассчитываются по формуламъ:

$$\begin{aligned} \max U_x &= p (-\omega_1 + \omega_2) + \\ \min U_x &= p (-\omega_1 + \omega_2) - \end{aligned}$$

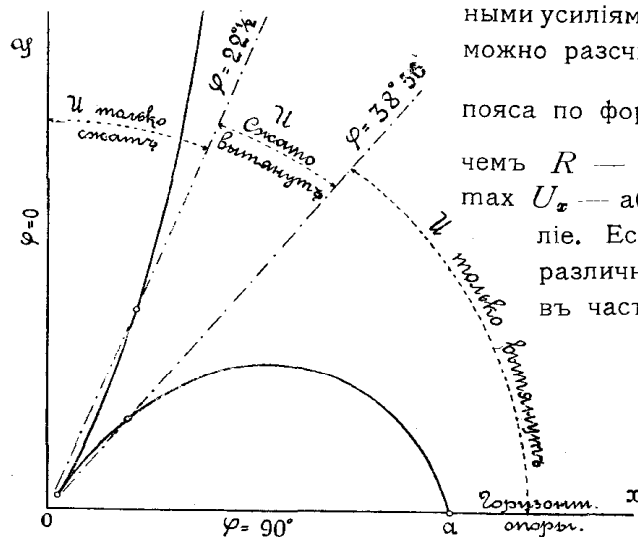
Выражая площади $-\omega_1$ и инфлюэнтной линии усилія U_x (фи черезъ x и постоянныя величин $\text{ctg } \varphi$ и подставляя найденныя въ формулы для предѣльныхъ уси получимъ



Фиг. 215.

$$\begin{aligned} \max U_x &= (p + k) \cdot \frac{l}{2} \left(\frac{l}{4h} - \text{ctg } \varphi \right) + \frac{k \cdot x \cdot \text{ctg } \varphi}{2 \left(\frac{x}{l} + \frac{l}{4 \cdot h \cdot \text{ctg } \varphi} \right)} \\ \min U_x &= p \cdot \frac{l}{2} \left(\frac{l}{4h} - \text{ctg } \varphi \right) + \frac{k \cdot x \cdot \text{ctg } \varphi}{p \left(\frac{x}{l} + \frac{l}{4 \cdot h \cdot \text{ctg } \varphi} \right)} \end{aligned}$$

Пользуясь этими уравненіями, представляющими зависимость между



Фиг. 216.

нными усиліями пояса и переменною неизвѣ можно рассчитать теоретическій объемъ : пояса по формулѣ $V = \frac{1}{R} \int_0^l \max U_x \cdot d$ чемъ R — допускаемое напряженіе $\max U_x$ — абсолютно наибольшее предѣльіе. Если рассчитать этотъ объемъ различныхъ углахъ φ наклоненія въ частномъ случаѣ $p = k$ и $l/h =$ получится интересная зави между V и φ , представлен фиг. 216 при помощи полярн. ординатъ. Углы φ отложены отъ оси $O y$, а объемы V отрѣзковъ на соотвѣстственны діусахъ-векторахъ. На оси O отвѣтствующей углу $\varphi = 90^\circ$, отложенъ объемъ $O a$, рассчитанный въ горизонтальныхъ опоръ. Для угловъ φ отъ 90° до $38^\circ 56'$ нижній поясъ

ными усиліями пояса и переменною неизвѣ можно рассчитать теоретическій объемъ : пояса по формулѣ $V = \frac{1}{R} \int_0^l \max U_x \cdot d$ чемъ R — допускаемое напряженіе $\max U_x$ — абсолютно наибольшее предѣльіе. Если рассчитать этотъ объемъ различныхъ углахъ φ наклоненія въ частномъ случаѣ $p = k$ и $l/h =$ получится интересная зави между V и φ , представлен фиг. 216 при помощи полярн. ординатъ. Углы φ отложены отъ оси $O y$, а объемы V отрѣзковъ на соотвѣстственны діусахъ-векторахъ. На оси O

тянуть и объемъ постепенно уменьшается. Для угловъ φ отъ $38^\circ 56'$ до $22^\circ 0,5'$ нижній поясъ сжато-вытянутъ. Для угловъ φ отъ $22^\circ 0,5'$ до 0 нижній поясъ сжать и его объемъ возрастаетъ до безконечности. Въ случаѣ $p = k$ и $l/h = 7$ наименьшій объемъ нижняго пояса параболической фермы получается углѣ φ наклоненія подвижной опоры къ вертикали около 33° .

Если сравнить теоретическіе объемы прямого нижняго пояса однопролетныхъ параболическихъ фермъ при наклонныхъ или горизонтальныхъ опорахъ, то оказывается, что при устройствѣ подвижной опоры наклонною, можно понизить вѣсъ нижняго пояса обѣихъ фермъ

приблизительно на	700	1500	2400	4600	8500	пудовъ
при пролетѣ фермъ	25	35	45	60	70	саж.

смотря на то, что наличность распора влечетъ за собою нѣкоторое утолщеніе пояса, т.-е. увеличеніе ихъ стоимости, экономія на желѣзѣ настолько значительна на крупныхъ пролетахъ, и особенно въ многопролетныхъ мостахъ, что устройство наклонныхъ опоръ можетъ оказаться выгоднымъ.

Конструктивныя соображенія. Въ виду наклоннаго положенія подвижной опоры, ея устройство на каткахъ нерационально; трудно удержать ихъ въ лежащемъ положеніи; со временемъ они неизбежно скатятся по наклонной плоскости и упрутся въ ея нижнюю реборду. Поэтому необходимо устраивать наклонно-подвижныя опоры секторнаго или качающагося типа съ шарнирами (§ 22 и 23). Въ первомъ случаѣ, какъ и при каткахъ, опорная реакція направлена перпендикулярно къ наклонной плоскости катанія; во второмъ же случаѣ направленіе опорной реакціи совпадающее съ осью качающагося стержня, можетъ измѣняться, такъ какъ стержень мѣняетъ свое положеніе при перемѣщеніи конца фермы отъ дѣйствія теплоты и нагрузки. Поэтому при устройствѣ наклонной опоры, ферма испытываетъ отъ измѣненія температуры воздуха дополнительныя напряженія небольшой величины.

§ 26. Двойныя центрированныя опоры на быкахъ.

Если на быкъ моста опираются фермы двухъ смежныхъ пролетовъ, то подѣлъ каждой фермы желательнo укладывать не только самостоятельныя опорныя части, но даже отдѣльные подферменные камни. Укладывая на одинъ подферменный камень рядомъ двѣ подушки, слѣдуетъ опасаться его расшатыванія вслѣдствіе неравномернаго давленія нагрузки то на одинъ, то на другой конецъ камня. Въ такихъ случаяхъ рекомендуется устраивать общую опору для двухъ смежныхъ концовъ фермъ или называемую двойною центрированную опору. Такая опора должна допускать гибкость каждой фермы независимо отъ другой, а если требуется, то и самостоятельное продольное перемѣщеніе концовъ смежныхъ фермъ. Преимущества двойной центрированной опоры заключаются: 1) въ уменьшеніи толщины быка, 2) въ центральной передачѣ давленія двухъ смежныхъ опоръ на подферменный камень, чѣмъ устраняется его расшатываніе, 3) въ удобствѣ перелома продольной оси фермъ при расположеніи моста на кривой. Устройство двойныхъ центрированныхъ опоръ зависитъ отъ того, расположены ли опорныя точки смежныхъ фермъ на одинаковомъ или разныхъ уровняхъ.

1) При расположеніи опорныхъ точекъ на разныхъ уровняхъ, можетъ встрѣтиться два случая, смотря по тому, имѣютъ ли фермы смежныхъ пролетовъ одинаковое или разное разстояніе между ихъ осями.

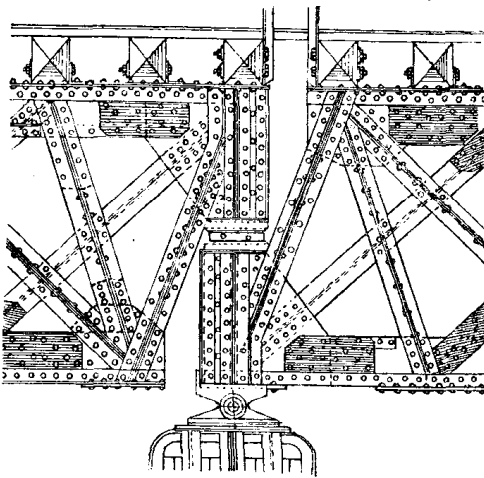
а) При различномъ разстояніи между осями фермъ, укр-
ляютъ между опорными стойками болѣе широкаго моста поперечную балку



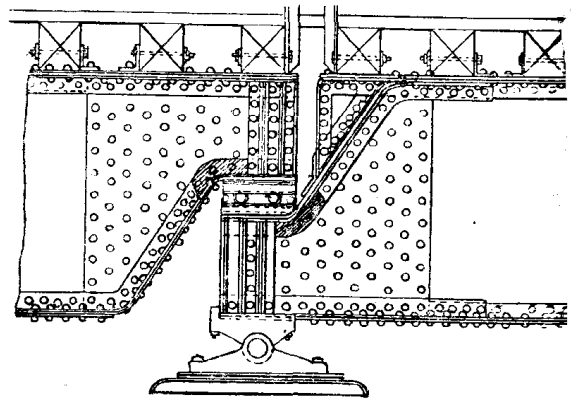
сплошную или скле-
ною стѣнкою
217 и 218) и
дывають на нее
душки или опор-
части для смежн
пролета. Въ
218 попер-
балка составл
изъ верхняго и
няго поясовъ
чатаго сѣченія,
единенныхъ
собою крестомъ
двухъ уголковъ
 $3\frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$ дм.
тикальные
верхняго пояса,
казанные въ раз-
зѣ по *ВГ* и *А*

Фиг. 217. Мостъ, отв. 10 саж., чер. Сить на Архангельской ж. д.

имѣются только
короткомъ среднемъ участкѣ попереч-
балки; по концамъ они замѣнены бо



Фиг. 219. Пролетъ фермъ 9 саж.

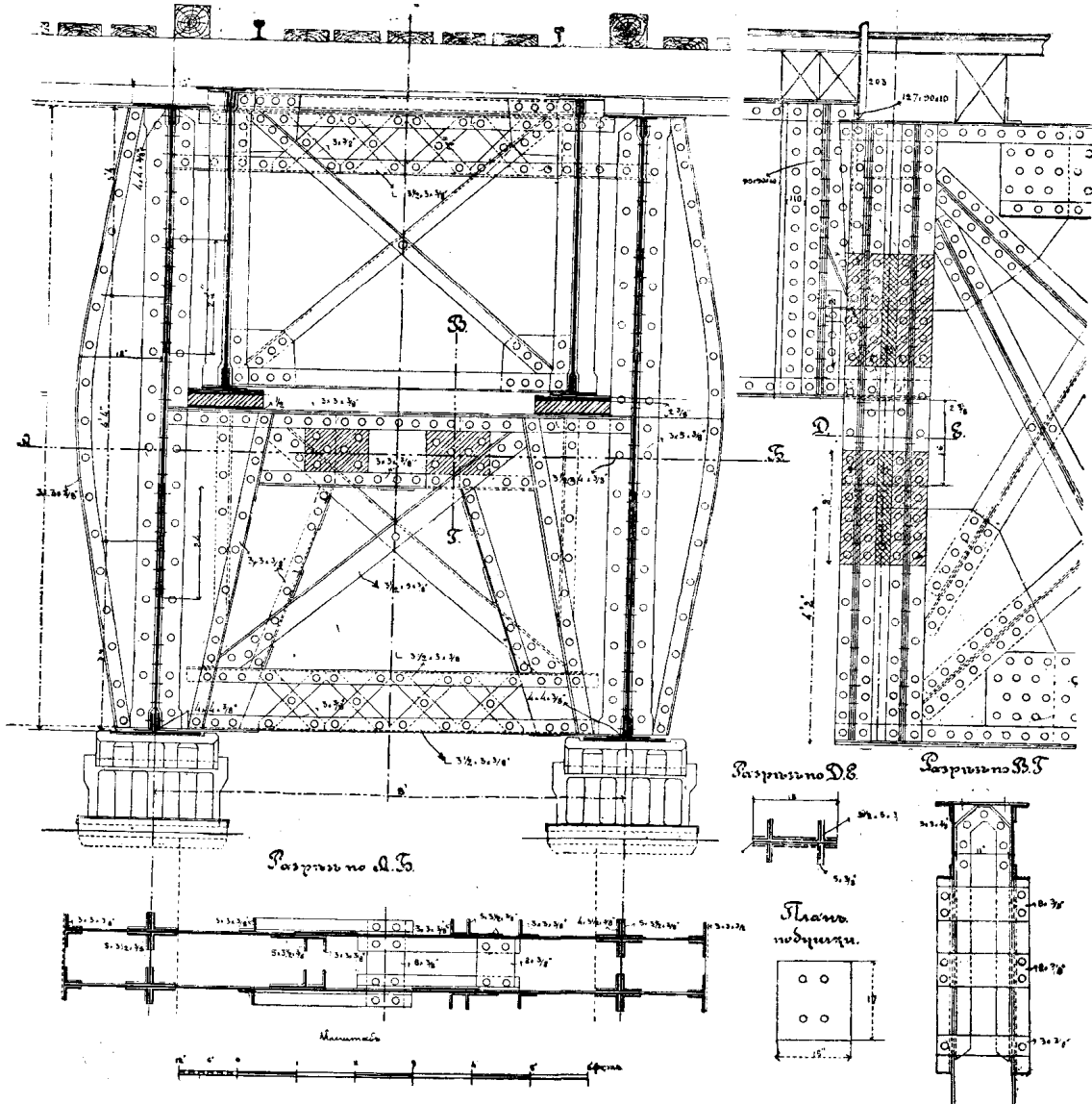


Фиг. 220. Пролетъ фермъ 6 саж.

Мосты Южно-Уссурійской ж. д.

шими трапецидальными вставками, которыя доходятъ до нижняго пояса и зажа-
между уголками опорныхъ стоекъ главныхъ фермъ. Горизонтальный листъ и
ніе уголки верхняго пояса поперечной балки пропущены во всю ширину
поддерживаютъ двѣ плоскихъ подушки. Сплошныя фермы малаго пролета сбли-
на столько (6 фут.), чтобы онѣ помѣщались между горизонтальными лист
верхняго пояса главныхъ фермъ. Какъ показано въ фасадѣ пунктиромъ,
малыхъ фермъ скошены сверху для того, чтобы можно было соединить опс
стойки главныхъ фермъ верхнею распоркою, располагая ее по возможности
къ концу фермъ.

б) При одинаковомъ разстояніи между фермами смежныхъ пролетовъ, приходится скашивать концы обѣихъ фермъ такъ, чтобы можно было переставить одну ферму на другую и расположить между ними подушку. Въ фиг. 219 представлена такая опора при сквозныхъ фермахъ многорѣшетчатой системы. Съ конструкціею центрированныхъ опоръ при сплошныхъ фермахъ ознакомимся на трехъ примѣрахъ.

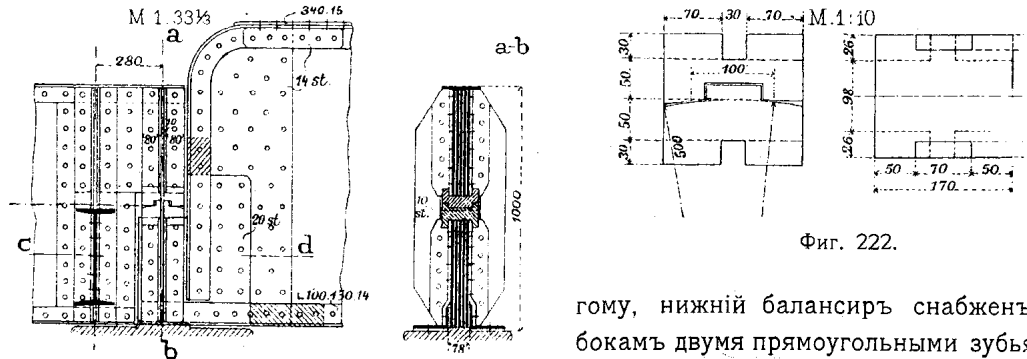


Фиг. 218. Мостъ Рязанско-Уральской ж. д.

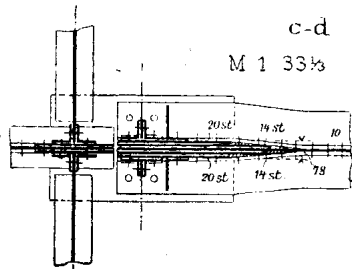
I примѣръ (фиг. 220). Концы сплошныхъ фермъ скошены и усилены наклепкою накладокъ, безъ которыхъ скалывающіяся напряжения превышаютъ допускаемую норму. Лѣвая ферма опирается на правую при помощи двухъ катковъ.

II примѣръ (фиг. 221 и 222). Въ концѣ правой фермы сдѣланъ сверху вертикальный вырѣзъ и на образовавшуюся горизонтальную площадку шириною 180 мм. опирается конецъ лѣвой фермы, въ которомъ вырѣзанъ нижній уголъ. Стѣнка тавровой фермы усилена наклепкою двухъ накладокъ во всю высоту фермы и двухъ накладокъ только внизу. Такими же 4-мя накладками снабженъ конецъ лѣвой

фермы. Эта ферма опирается на правую при помощи двухъ стальныхъ бал-
ровъ (фиг. 222), изъ которыхъ нижній имѣетъ выпуклую головку, а верхній
скую. Во избѣжаніе продольнаго и поперечнаго сдвига одного балансира по



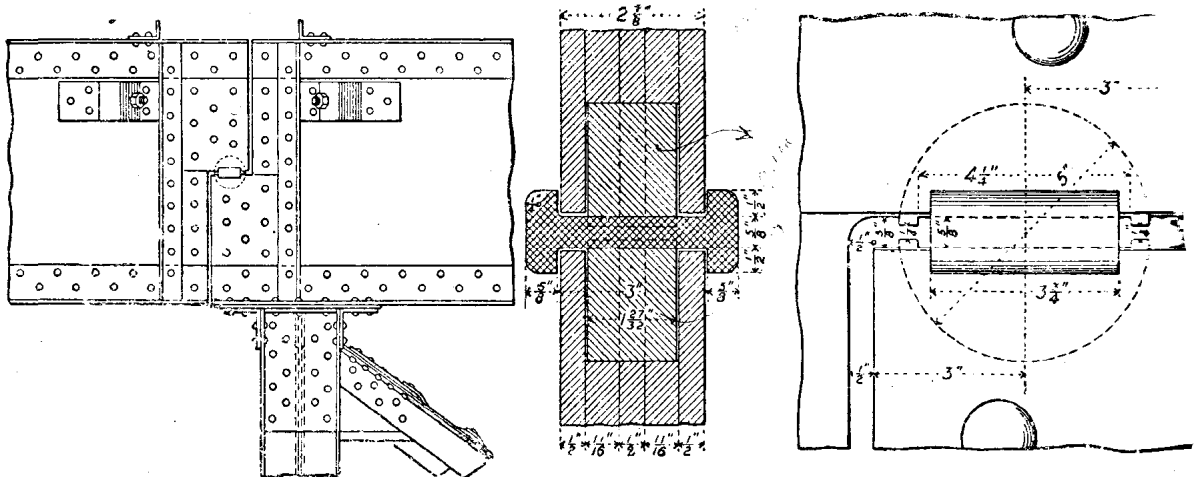
Фиг. 222.



Фиг. 221. „Dammtorbrücke“ въ Гамбургѣ.

гому, нижній балансиръ снабженъ бокамъ двумя прямоугольными зубьями для которыхъ гнѣзда сдѣланы въ немъ балансирѣ. На подошвахъ балансировъ ются приливы во всѣхъ 4-хъ углахъ—для укрѣ-
ненія балансировъ на опорныхъ площадкахъ. удержать стѣнки обѣихъ фермъ въ одной
кости, между уголками опорныхъ полустоекъ жаты двѣ пластинки толщиною 10 мм., кото-
имѣютъ вырѣзы для помѣщенія балансировъ и зываются очень слабое сопротивленіе наклоне
конца лѣвой фермы при ея прогибѣ.

III примѣръ (фиг. 223 и 224). Эта американская центрированная опора
скачетъ какъ вращеніе, такъ и продольное перемѣщеніе концовъ фермъ. Эти ко



Фиг. 223. Bellefontaine bridge on the St. Louis—Keokuk Railroad.

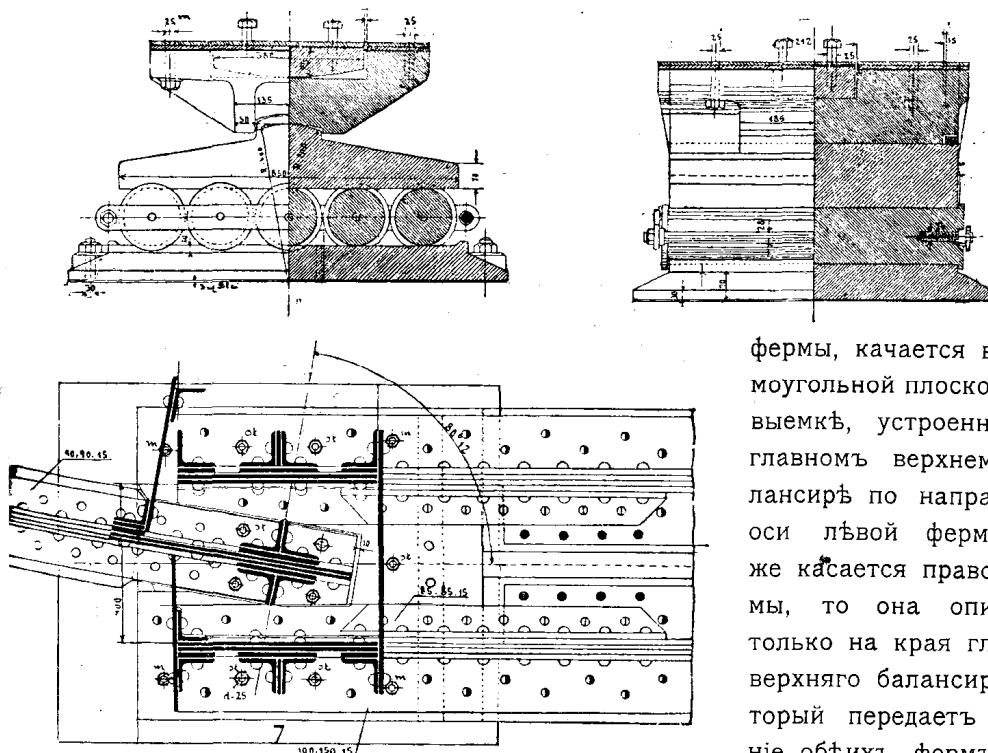
Фиг. 224.

срѣзаны такъ, что нижняя половина правой фермы образуетъ выступъ въ 61
дм., на который опирается конецъ лѣвой фермы съ выступомъ сверху. Чтобы
при прогибѣ лѣвой фермы ея концы могли вращаться, устроенъ шарниръ
въ видѣ цилиндрическаго диска діаметромъ 5 дм. и длиною $1\frac{27}{32}$ дм. Онъ помѣ-
щается въ двухъ полукруглыхъ гнѣздахъ, которыя сдѣланы въ стѣнкахъ обѣихъ
фермъ, усиленной съ каждой стороны вертикальною накладкою въ $\frac{11}{16}$ дм. Во
избѣжаніе сдвига фермъ съ шарнира, съ каждой стороны наклепаны наружны

дм. накладки, которыя доходятъ лишь до середины высоты фермъ. Шарнирдискъ можетъ быть или круглый или, какъ въ фиг. 224, состоять изъ двухъ винъ. Круглый дискъ примѣняется, если опора неподвижная и требуется ея шарнирность. Въ подвижныхъ опорахъ (фиг. 224) дискъ состоитъ изъ половинъ, съ оставленіемъ между ними зазора въ $\frac{5}{8}$ дм., въ который вляется стальная или бронзовая плитка съ боковыми закраинами, во избѣ-поперечнаго сдвига фермъ. По этой плиткѣ можетъ скользить конецъ лѣ-фермы.

2) При расположеніи опорныхъ точекъ на одномъ уровнѣ, опорныя части дол-быть устроены такъ, чтобы онѣ поддерживали одновременно оба смежныхъ фермъ. Разсмотримъ три примѣра такихъ опоръ.

I примѣръ (фиг. 225). Мостъ расположенъ на кривой, радіусомъ 100 м.; по-му продольныя оси смежныхъ фермъ пересѣкаются на опорѣ подъ довольно шимъ угломъ (см. планъ). Нижній поясъ правой главной фермы имѣетъ ко-тое сѣченіе, а лѣвой фермы—тавровое. Опорная стойка лѣвой фермы пропу-во внутрь трубчатой опорной стойки правой фермы и опирается на неболь-подушку съ выпуклою подошвою. Эта подушка, замѣняющая шарниръ лѣвой



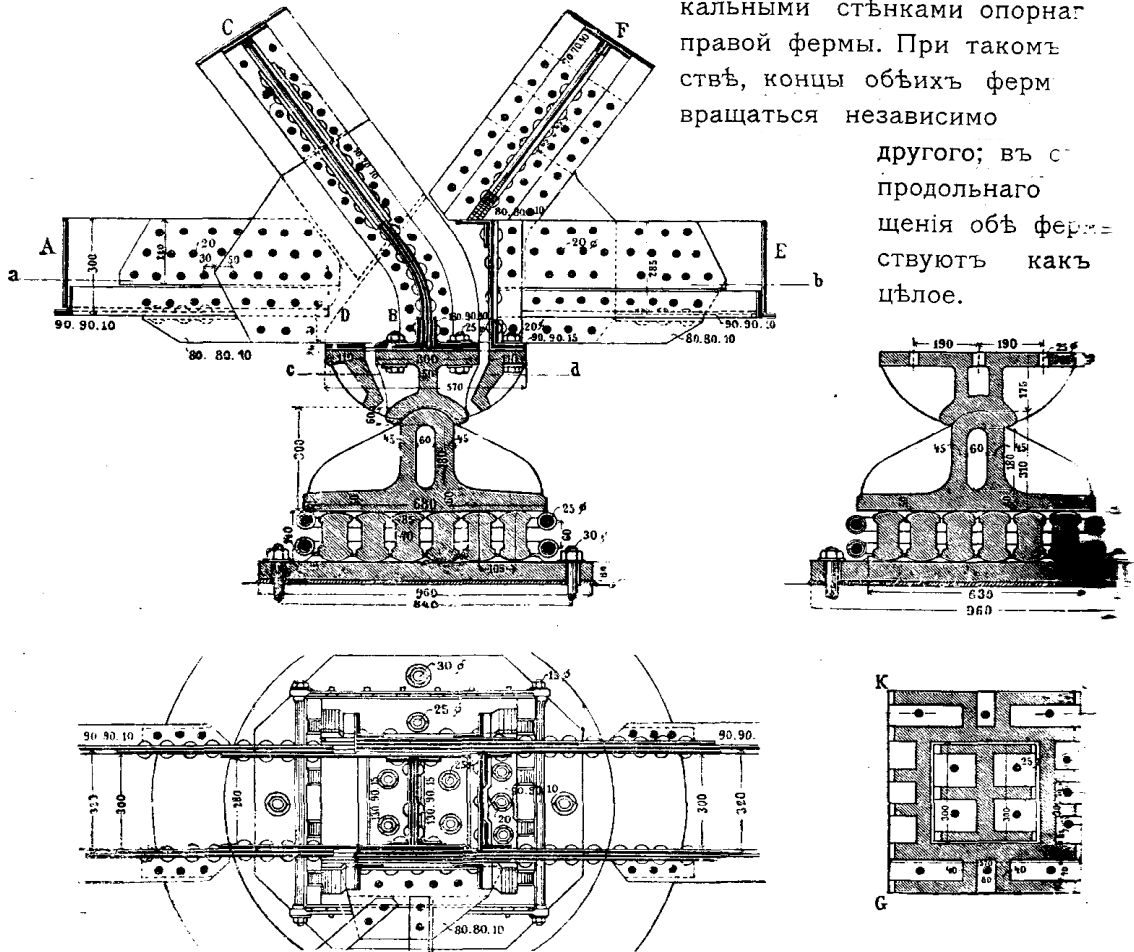
225. Путепров. Вѣнской город. ж. д. чер. Гюртельштрассе.

фермы, качается въ пря-моугольной плоскодонной выемкѣ, устроенной въ главномъ верхнемъ балансиръ по направленію оси лѣвой фермы. Что же касается правой фермы, то она опирается только на края главнаго верхняго балансира, ко-торый передаетъ давлєніе обѣихъ фермъ ниж-нему балансиру съ вы-лою головкою и затѣмъ каткамъ. При указанномъ устройствѣ, опора лѣвой обладаетъ только самостоятельною шарнирностью; въ отношеніи подвиж-она зависитъ отъ правой фермы.

II примѣръ (фиг. 226). Нижняя восьмигранная подушка, катки и нижній ба-ррь служатъ одновременно для обѣихъ фермъ. Зато каждая ферма имѣетъ льный верхній балансиръ. Коробчатый опорный узелъ правой фермы опирается верхняго балансира *GHIK* (планъ въ правомъ нижнемъ углу фиг. 226), шаго въ серединѣ квадратное отверстие 300.300 мм. Въ это отверстие встав-

ленъ верхній балансиръ лѣвой фермы, конецъ которой пропущенъ между калными стѣнками опорнаго правого фермы. При такомъ ствѣ, концы обѣихъ ферм вращаться независимо

другого; въ с продольного щенія обѣ ферм ствуютъ какъ цѣлое.



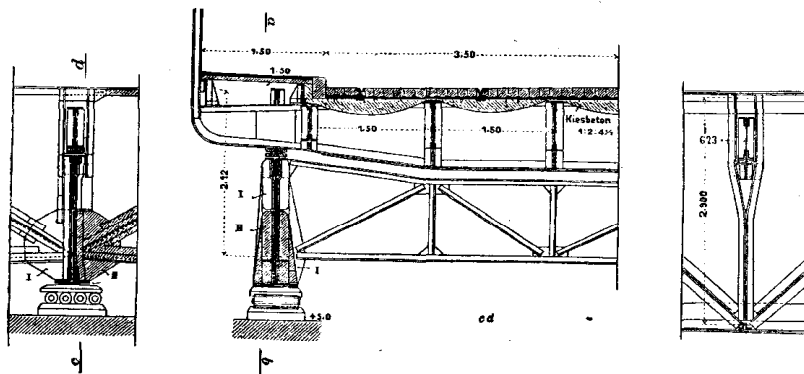
Фиг. 226. Мостъ Берлинской город. ж. дор. черезъ Шпре у парка Бельвю.

III примѣръ (фиг. 227 до 229). Обѣ фермы (пролетомъ 31,15 м.) имѣютъ опорную стойку и опираются на одинъ балансиръ съ цилиндрическою выпу сверху. Смежные концы обѣихъ фермъ соединены между собою только

Фиг. 227.

Фиг. 228.

Фиг. 229.

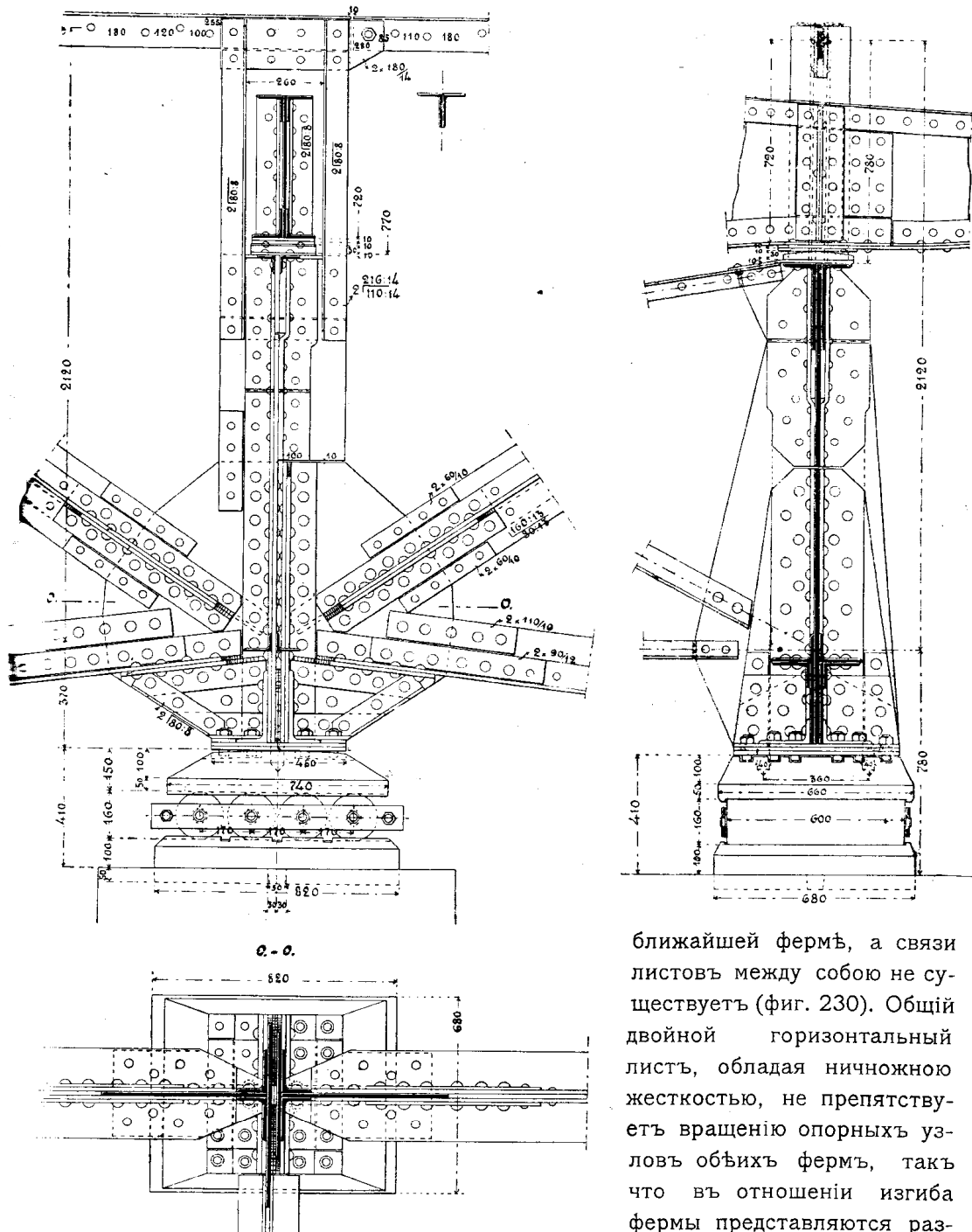


Шосейный мостъ черезъ Эльбу въ Гарбургъ.

горизонт листомъ (двѣ опирающимъ лансиръ; на остальномъ жении опорны ки отсутствуетъ кая связь смежными фермъ, если тать подвиж единенія пояса право

съ опорною стойкою. Граница между правою и лѣвою фермами наглядн тривается изъ фиг. 227, если имѣть въ виду, что въ ней и въ фиг.

рихованы всѣ части, относящіяся къ правой фермѣ. Въ самомъ низу двойной стойки зазоръ между обѣими фермами заполненъ двумя вертикальными листами, изъ которыхъ каждый приклепанъ 10 потайными заклепками только къ



Фиг. 230. Шоссейный мостъ черезъ Эльбу въ Гарбургѣ.

ближайшей фермѣ, а связи листовъ между собою не существуетъ (фиг. 230). Общій двойной горизонтальный листъ, обладающій ничтожною жесткостью, не препятствуетъ вращенію опорныхъ узловъ обѣихъ фермъ, такъ что въ отношеніи изгиба фермы представляются разрыванными на опорѣ; что же касается продольныхъ и по-

чечныхъ силъ, дѣйствующихъ въ горизонтальной плоскости, то онѣ передаются отъ фермы на другую при посредствѣ указаннаго листа. Во избѣжаніе сдвига

фермъ съ балансира, черезъ горизонтальный опорный листъ пропущенъ 24 болтовъ, а въ балансирѣ имѣется для нихъ 12 пазовъ, направленныхъ фермъ. Для пропуска поперечной балки, верхній конецъ опорной стойки вается: поперечная балка поддерживается выпуклою подушкою, которая на внутреннихъ уголкахъ опорной стойки. На такихъ же подушкахъ остальные поперечныя балки, приче́мъ стойки фермъ имѣютъ устройство такое въ фиг. 229. Подъ опорную поперечную балку находятся верт. связи, приклепанныя только къ лѣвой фермѣ при помощи фасонныхъ служащихъ одновременно для жесткости опорной стойки (фиг. 228).

§ 27. Вѣсъ опорныхъ частей.

Вѣса даны общіе для двухъ подвижныхъ и двухъ неподвижныхъ включеніемъ вѣса желѣзныхъ болтовъ, рамъ и другихъ скрѣпленій, но свинца. Вѣса заимствованы изъ проектовъ желѣзнодорожныхъ одномостовъ.

1) Плоскія чугуныя подушки.

Пролетъ фермы въ мет.	3	5	7	9	11
Вѣсъ 4-хъ опоръ въ кил. при одиночныхъ подушкахъ (только нижняя)	200	250	300	350	400
при двойныхъ подушкахъ (верхняя и нижняя)	350	400	450	550	600

2) Выпуклыя чугуныя подушки по типу фиг. 45.

Пролетъ фермъ въ мет.	1—3	4—6	7—10	11—15
Вѣсъ 4-хъ подушекъ въ кил. безъ вѣса болтовъ и скрѣпленій	56	104	180	272

3) Балансирныя опоры съ катками по типу фиг. 82 и 11

Неподвижная опора, согласно фиг. 82, состоитъ изъ верхняго балцапы и нижняго балансира. Подвижная опора, согласно фиг. 118, изъ верхняго балансира, цапфы, нижняго балансира, катковъ и нижней Между вѣсомъ G опорныхъ частей въ кил. (безъ свинца) и наибольшимъ нѣмъ A одной опоры въ тон. существуетъ приблизительно слѣдующая зависа) для чугуныя опорныхъ частей при A отъ 60 до 27

$$G = 90 \cdot A - 3000 \text{ кил., гдѣ } A \text{ въ тон.}$$

Давленіе одной опоры A въ тон.	75	100	150	200
Общій вѣсъ G 4-хъ опоръ въ кил.	3750	6000	10500	15000
Вѣсъ G въ % отъ давленія A въ кил.	5	6	7	7,5

b) для стальныхъ опорныхъ частей при A отъ 70 до 300 тон.

$$G = 66 \cdot A - 2000 \text{ кил., гдѣ } A \text{ въ тон.}$$

Давленіе одной опоры A въ тон.	75	100	150	200	250
Общій вѣсъ G 4-хъ опоръ въ кил.	2950	4600	7900	11200	14500
Вѣсъ G въ % отъ давленія A въ кил.	3,9	4,6	5,3	5,6	5,8

4) Балансирныя опоры по типу фиг. 61 и 62.

Неподвижная опора, согласно фиг. 62 состоитъ изъ верхняго сира, нижняго балансира и чугунаго стула. Подвижная опора, фиг. 61, состоитъ изъ верхняго балансира, нижняго балансира, катковъ и подушки; всѣ части изъ стали.

давленіе одной опоры A въ тон.	44	55	66	87	109	123
вѣсъ опорныхъ частей G въ кил.	970	1280	1990	2780	3800	5380
G въ % отъ давленія A въ кил.	2,2	2,3	3,0	3,2	3,5	4,4

Часть II.

Шарниры консольныхъ фермъ.

§ 28. Классификація шарнировъ консольныхъ фермъ.

Въ мостахъ консольной системы фермы состоятъ изъ ряда консольныхъ и поддерживаемыхъ ими подвѣсныхъ фермъ. Мѣста, въ которыхъ подвѣсныя фермы опираются на консольныя, называются шарнирами. Шарниры должны имѣть: 1) изгибъ подвѣсной фермы, т. е. вращеніе ея концовъ относительно стѣн, и 2) измѣненіе длины фермъ при дѣйствіи теплоты. Кромѣ вертикальныхъ силъ, въ шарнирахъ могутъ дѣйствовать поперечныя горизонтальныя вызванныя давленіемъ вѣтра и боковыми ударами колесъ, а также продольныя горизонтальныя силы, вызванныя дѣйствіемъ теплоты и тормаженія⁶⁾. Шарниръ устроенъ такъ, что устанавливается неразрывная связь между консольной и подвѣсной фермъ, тогда продольныя силы передаются черезъ шарниръ и онъ называется неподвижнымъ шарниромъ. Если шарниръ допускаетъ самостоятельное продольное перемѣщеніе конца подвижной фермы, независимо отъ консоли, то онъ называется подвижнымъ. Число и размѣщеніе подвижныхъ и неподвижныхъ шарнировъ зависитъ отъ числа и расположенія опоръ консольныхъ фермъ. Можно различать два основныхъ (см. стр. 311 I тома).

I случай. Всѣ шарниры неподвижны, такъ что подвѣсныя фермы перемѣщаются вмѣстѣ съ консольными. Тогда всѣ опоры консольныхъ фермъ за исключеніемъ одной, устраиваются подвижными. На всемъ протяженіи фермы представляютъ одно неразрывное цѣлое. Неподвижную опору расположено ближе къ серединѣ моста. Отъ дѣйствія теплоты ферма увеличиваетъ свою длину въ каждую сторону отъ неподвижной опоры и притомъ равномерно до соответственнаго конца фермы.

II случай. Каждая подвѣсная ферма поддерживается однимъ подвижнымъ и однимъ неподвижнымъ шарниромъ. Каждая консольная ферма можетъ измѣнять свою длину независимо отъ консольной. Каждая консольная ферма должна имѣть одну неподвижную опору. При такомъ устройстве пролетное строеніе моста раздѣлено на рядъ участковъ, которые при дѣйствіи теплоты измѣняютъ свою длину независимо одинъ отъ другого. Поэтому перемѣщенія подвижныхъ опоръ значительно меньше, чѣмъ въ I

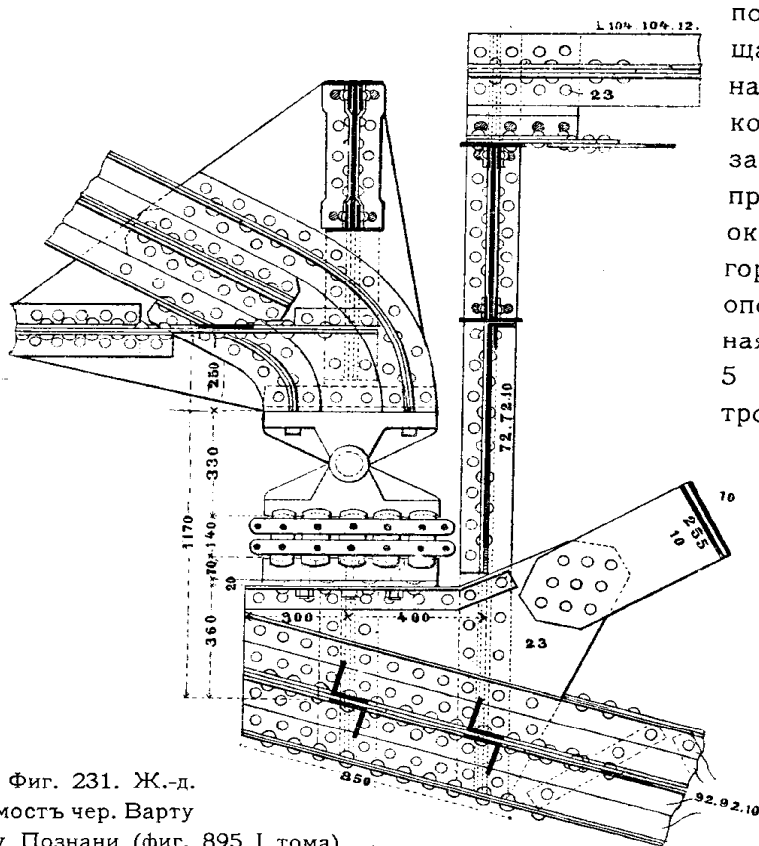
Поперечныя и продольныя силы можно передавать отъ подвѣсныхъ фермъ на консольныя шарниры, пользуясь для этого продольными связями между фермами. Чтобы передать поперечныя силы, диагонали продольныхъ связей сводятся въ середину распорки, соединяющей шарниры, и тамъ устраивается вѣтровая опора (см. стр. 137 IV тома). Чтобы передать продольныя силы, пропускаютъ продольныя связи безъ перерыва въ мѣстахъ расположенія шарнировъ.

Смотря по конструкции, можно различать четыре основных шарнировъ: 1) шарниры, устроенные при помощи обыкновенных частей, 2) шарниры, устроенные при помощи одного болта, 3) шарниры въ видѣ качающейся подвѣски или стойки и 4) шарниры, устроенные въ видѣ упругого соединенія подвѣсной фермы съ консолью. Шарниры 1-го и 2-го типа могутъ быть устроены подвижными или неподвижными; шарниры 3-го типа по существу относятся къ разряду подвижныхъ; шарниры 4-го типа всегда неподвижны. Рассмотримъ каждый типъ шарнировъ въ отдѣльнѣе.

§ 29. Шарниры въ видѣ обыкновенныхъ опорныхъ частей.

Шарниры, рассмотрѣнные въ этомъ §, имѣютъ слѣдующее устройство. Фермы опираются на консоли при помощи обыкновенныхъ опорныхъ частей подвижнаго или неподвижнаго типа. Для установки опорныхъ частей, на концѣ консоли выступающую опорную площадку помѣщаютъ внутри концевой стойки консоли, а конецъ подвѣсной фермы.

а) **Примѣры шарнировъ съ выступающими опорными площадками.** Простейшаго шарнира этого типа для случая сплошныхъ фермъ указанъ въ фиг. 223 и 224. Въ фиг. 231, представляющей подвижный шарниръ параболы



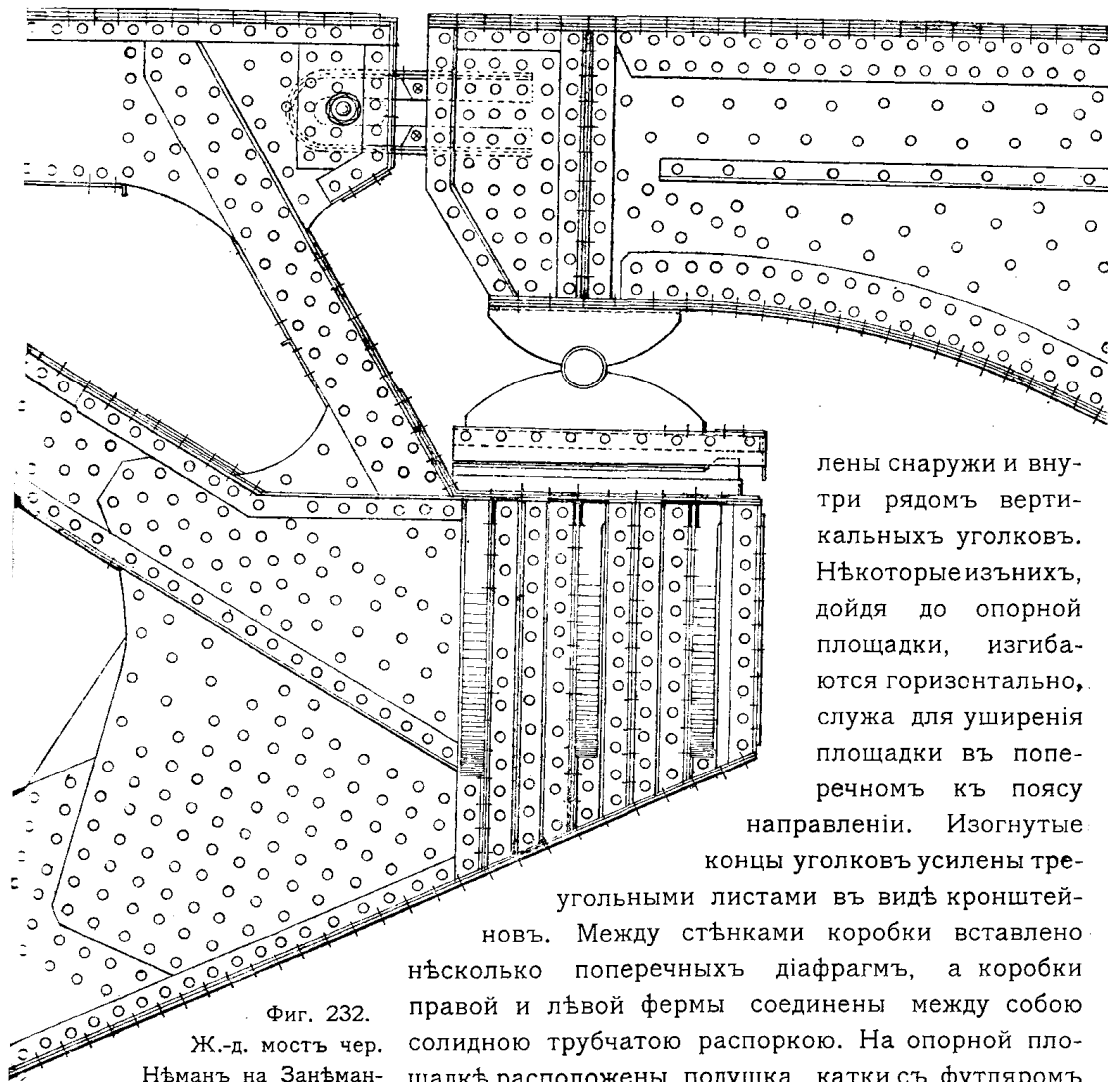
Фиг. 231. Ж.-д. мостъ чер. Варту у Познани (фиг. 895 I тома).

подвѣсной фермы, опирающаяся на площадку, устроенную изъ одного листа, толщиной котораго прикрѣпленъ заклепками къ двумъ прокладкамъ, толщиной окаймленнымъ каждая горизонтальнымъ уголко опорному листу приболченая подушка, на которой 5 срезанныхъ катковъ, толщиной 140 мм., длиной и шириною 90 мм. На шее перемѣщеніе $= 74$ мм. Другой конецъ подвѣсной фермы опирается на неподвижную опору, состоящую изъ двухъ балансировъ, расположенныхъ между ними.

Въ фиг. 232 показанъ подвижный шарниръ параболы, устроенный съ вѣздой по опоре. Опорная площадка живаается нижнимъ

раскосомъ консольной фермы. Короткій вспомогательный раскосъ предназначенъ для поддержанія свободнаго конца верхняго пояса консольной фермы. Опорная площадка составлена изъ двухъ горизонтальныхъ листовъ, изъ которыхъ

тся вверхъ по наклонному листу вспомогательнаго раскоса и служить для оплечения поперечныхъ связей въ плоскости этого раскоса. Каждая продольная стѣнка коробки, поддерживающей опорную площадку, состоитъ изъ 4 листовъ, по $\frac{7}{16}$ дм. Два внутреннихъ листа представляютъ фасонныя вставки, вложенныя въ плоскости двойныхъ вертикальныхъ листовъ пояса, два наружныхъ листа служатъ одновременно накладками для перекрытія стыковъ между стѣнками и листами главнаго раскоса и пояса. Указанныя стѣнки коробки уси-



Фиг. 232.

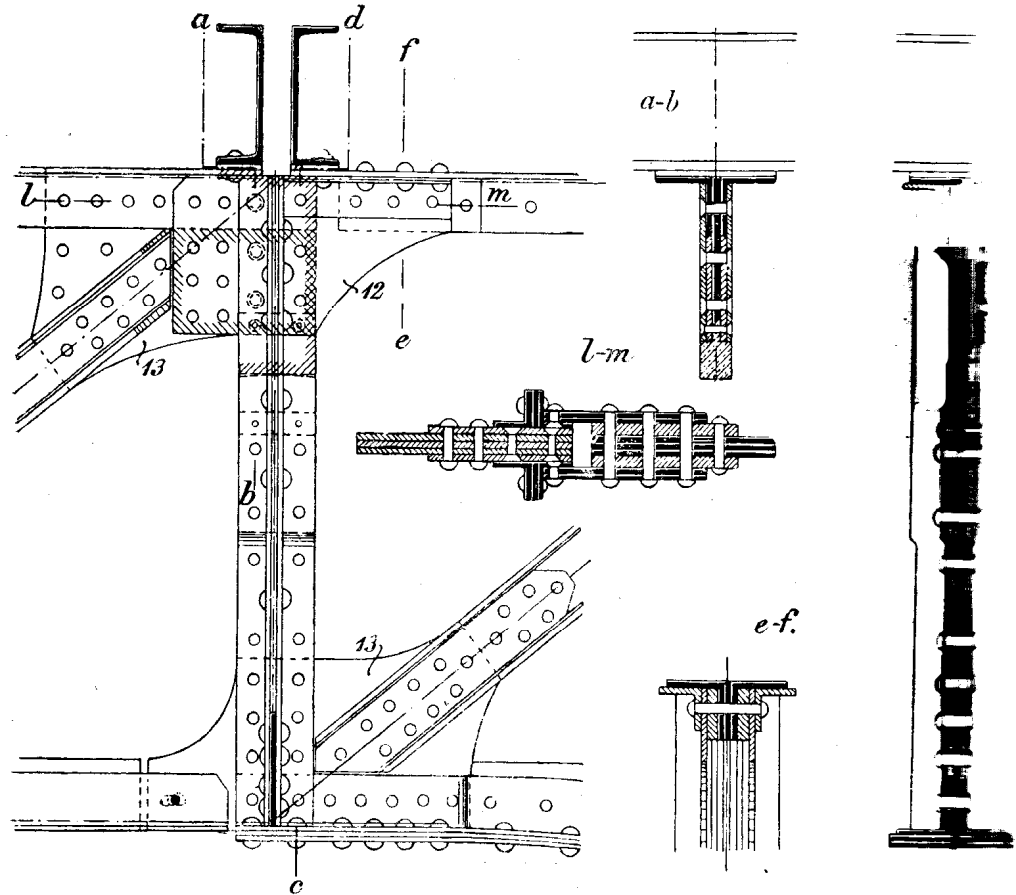
Ж.-д. мостъ чер.

Нѣманъ на Занѣманской ж. д. (фиг. 864 I тома).

лены снаружи и внутри рядомъ вертикальныхъ уголковъ. Нѣкоторые изъ нихъ, дойдя до опорной площадки, изгибаются горизонтально, служа для уширенія площадки въ поперечномъ къ поясу направлении. Изогнутые концы уголковъ усилены треугольными листами въ видѣ кронштейновъ. Между стѣнками коробки вставлено нѣсколько поперечныхъ діафрагмъ, а коробки правой и лѣвой фермы соединены между собою солидною трубчатою распоркою. На опорной площадкѣ расположены подушка, катки съ футляромъ и оба балансира съ цапфою, поддерживающіе подвѣсной фермы. Помимо опорныхъ частей, подвѣсная ферма соединяется консольно помощью скобы изъ гнутыхъ уголковъ и листовъ. Эта скоба лепана къ опорному узлу подвѣсной фермы, а съ верхнимъ поясомъ конной фермы она соединена подвижно при помощи горизонтальнаго болта.

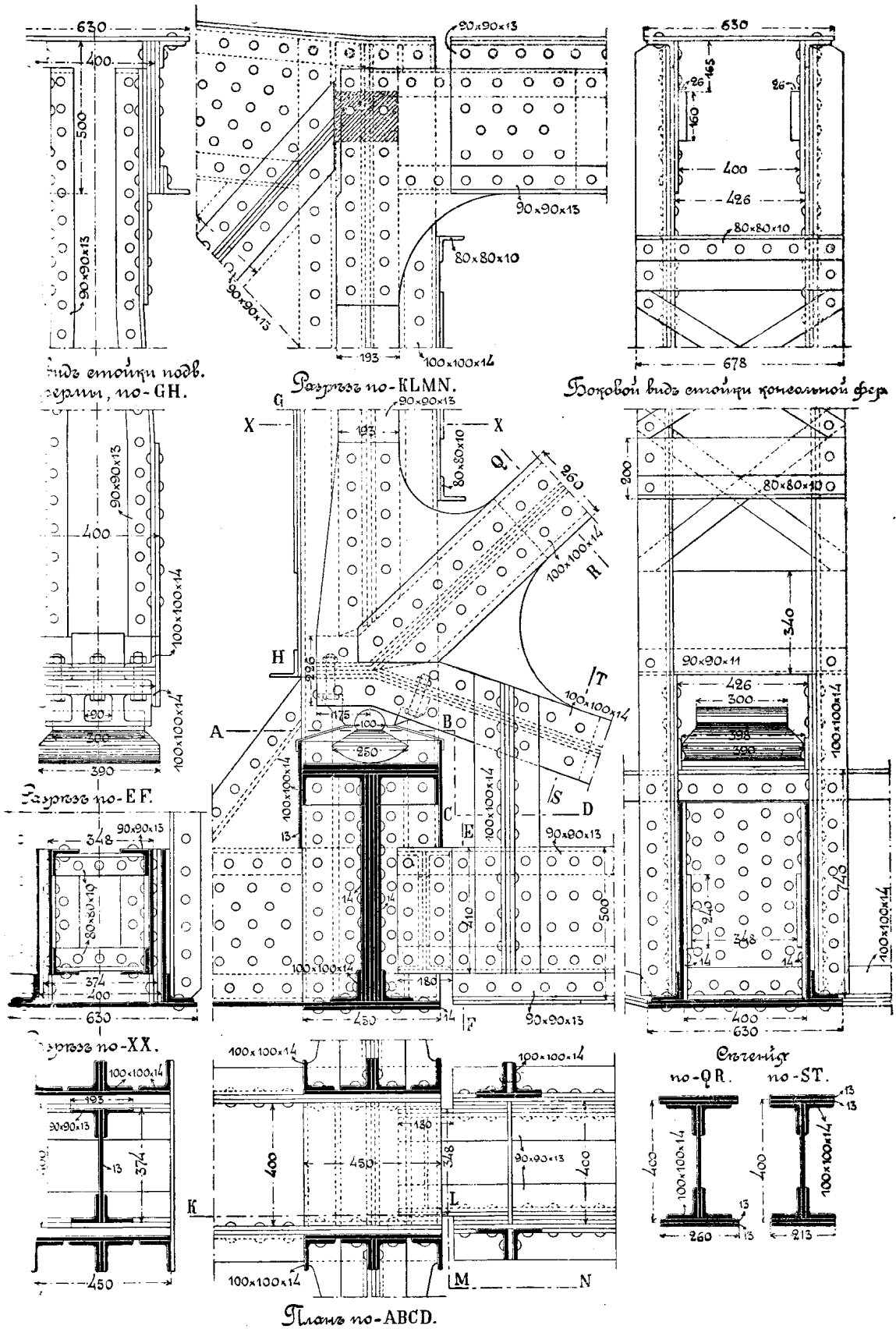
b) Примѣры помѣщенія опорныхъ частей внутри стойки. I примѣръ (фиг. 233). Консольная ферма (на чертежѣ справа) заканчивается стойкою изъ 4 уголковъ и вкладокъ между ними. Немного выше середины стойки, прокладки оборваны разрывъ по $c-d$) и на ихъ концы положена стальная, сверху закругленная, воспринимающая давленіе верхняго конца подвѣсной фермы (на чертежѣ

слѣва). Какъ видно изъ разрѣза по $a-b$ и изъ фасада, 13 мм. фасо верхняго узла подвѣсной фермы усиленъ наклепкою на него двухъ накладокъ съ каждой стороны; онъ пропущенъ въ 61 мм. за уголками консольной стойки и снабженъ снизу плиткою, которая передана на выпуклую плитку консольной фермы. Нижній поясъ подвѣсной фермы съ узловою вставкою консольной фермы помощью болта въ ова:



Фиг. 233. Берлинская городская электрическая дорога (Hochbahn).

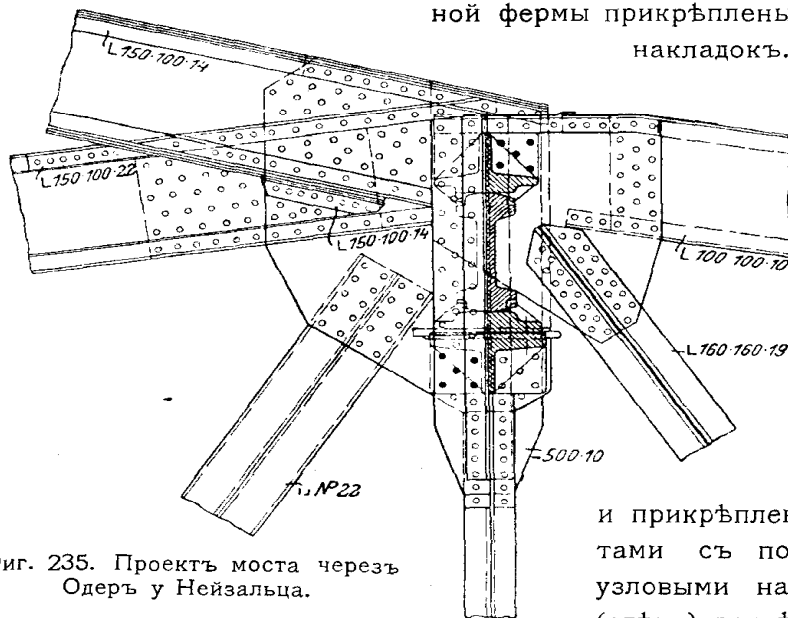
II примѣръ (фиг. 234). Подвижный шарниръ подвѣсной фермы съ ными поясами, представленный въ фиг. 871 на стр. 316 I тома. Опорны устроены секторнаго типа. Разсмотримъ сперва устройство консольн руководствуясь лѣвою стороною средняго чертежа (фиг. 234), а затѣмъ къ подвѣсной фермѣ, которая изображена на томъ же чертежѣ съ роны. Верхній и нижній пояса консольной фермы имѣютъ коробчатое Консольная ферма заканчивается стойкою трубчататаго сѣченія, состоя гласно разрѣзу по $X-X$, изъ двухъ листовъ, шириною 450 мм. и 8 100.100.14 мм. Какъ усматривается изъ бокового вида стойки (послѣ тежъ справа на фиг. 234), обѣ половины трубчатой стойки соединены бою рѣшеткою изъ полосоваго желѣза и распорками изъ уголковъ и Соединеніе стойки и поясовъ консоли устроено при помощи узловыхъ накладокъ. Опорная площадка, воспринимающая давленіе подвѣсной фер ена (согласно разрѣзу по $K-L-M-N$ и плану по $A-B-C-D$) изъ двойн зонтальнаго листа, который поддерживается вертикальною діафрагмою изъ



234. Город. мостъ (Bergstrassenbrücke) у центр. вокзала въ Дрезденѣ (фиг. 871 I тома).

листовъ, вклепанныхъ между узловыми накладками. На опорной плите секторный балансиръ. Переходя къ описанію подвѣсной фермы, что ея пояса имѣютъ коробчатое сѣченіе такой же ширины 400 консольной фермѣ. Какъ усматривается изъ фиг. 871 I тома, въ подвѣсной фермы верхній поясъ не работаетъ, въ виду устройства раскоса, а нижній поясъ раздваивается на два элемента. Верхній наклонный элементъ соединенъ съ раскосомъ въ опорномъ узлѣ; онъ воспринимаетъ нагрузку пояса и поддерживаетъ помощью подвѣски изъ 4 уголковъ свободнаго нижняго горизонтальнаго элемента, пропущеннаго подъ опорную консольную ферму (см. разрѣзы по *K L M N*, по *E F* и планъ по *NP22*). Наклонный элементъ нижняго пояса имѣетъ двутавровое сѣченіе изъ одного листа, 4 уголковъ и 4 горизонтальныхъ листовъ (см. сѣченіе по *S*); такое же сѣченіе имѣетъ восходящій раскосъ (сѣченіе по *Q R*) и опорная подвѣсная ферма (сѣченіе по *X X*), соединенные между собою въ помощь двухъ фасонныхъ накладокъ. Такими же накладками опорная ферма соединена съ верхнимъ поясомъ подвѣсной фермы. Опорный узелъ и опорная подвѣсная ферма пропущены во внутрь трубчатой стойки консоли. Взаимное положеніе обѣихъ стоекъ усматривается изъ разрѣза по *X X*. Боковина внутренней опорной стойки показанъ въ фиг. 234 на крайнемъ чертежѣ; тамъ же показано коробчатое сѣченіе верхняго пояса подвѣсной фермы. Для предупрежденія бокового сдвига подвѣсной фермы, верхній конецъ ея опирается на двѣ (заштрихованныя) плитки 160.26 мм., которыя приклепаны къ узловымъ накладкамъ консольной фермы.

III примѣръ (фиг. 235). Этотъ шарниръ устроенъ при помощи одной опоры. Слева расположена консольная ферма, а справа — подвѣсная. Та и другая ферма составлена изъ стержней двутѣнчатаго сѣченія. Всѣ 4 стержня консольной фермы прикрѣплены къ парѣ большихъ накладокъ.



Фиг. 235. Проектъ моста черезъ Одеръ у Нейзальца.

Во внутрь между накладками пропущены стержни обѣихъ фермъ, которыми прикрѣпленъ верхній поясъ и подвѣсная ферма. Между правой и левой накладкой соприкасаются между собою стержни. Между узловыми накладками подвѣсной фермы (справа) вставлены стальные стержни и прикрѣплены къ накладкамъ 10 болтами съ потайными головками. Между узловыми накладками консольной фермы (слева) закрѣплены 10-ю болтами

балансиръ. Верхній балансиръ опирается на нижній черезъ сѣзанный катокъ. Между каткомъ и нижнимъ балансиромъ помещена плита, снабженная снизу каткомъ для ея установки въ вертикальномъ направленіи. Для удержанія отъ продольнаго угона, верхній балансиръ и нижняя плита снабжены катками, для которыхъ имѣются гнѣзда въ головкахъ катка.

IV примѣръ (фиг. 236 и 237). Фермы имѣютъ на всемъ протяженіи моста лельные пояса. Изъ схематическаго чертежа шарнира (фиг. 236) усматри-

что опора подвѣсной фермы расположена по серединѣ вы- фермы. Такъ какъ опоры подвѣс- рмы расположены на ея ней- ой оси, то ихъ продольныя пе- нія при прогибѣ фермы нич-

Другое преимущество разсма- мой конструкціи заключается нтральности передачи да- подвѣсной фермы на консольную. этой цѣли, опорной стойкѣ под- фермы придано крестовое сѣче-

она пропущена во внутрь трубчатой стойки на концѣ консольной фермы.

Перейдемъ къ детальному описанію шарнира, придерживаясь фиг. 237, въ большой чертежъ слѣва изображаетъ продольный разрѣзъ по оси кон- стойки консольной фермы, до помѣщенія въ ней опорной стойки подвѣсной

Средній чертежъ изображаетъ поперечный разрѣзъ черезъ шарниръ, при- концевая стойка консоли показана въ разрѣзѣ (по AB), а стойка подвѣс- фермы — въ фасадѣ. Большой чертежъ съ правой стороны представляетъ опорной стойки подвѣсной фермы. Согласно разрѣзу $d d$ концевая стойка имѣетъ трубчатое сѣченіе и состоитъ изъ 4-хъ уголковъ 130.90.12 мм.

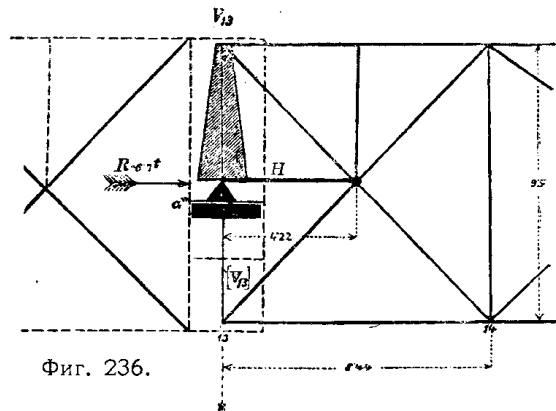
листовъ 200.10 мм., связанныхъ съ 4-хъ сторонъ рѣшеткою и листовыми дками. По серединѣ высоты стойки имѣется опорная площадка, поддержива- трубчатую балкою, высотой 1 м., которая приклепана внутри стойки, и ть изъ двухъ вертикальныхъ стѣнокъ, окаймленныхъ наверху и внизу угол- и перекрытыхъ двумя горизонтальными листами (продольный разрѣзъ и раз- по $f f$ и по $e e$). На опорной площадкѣ уложены двѣ узкія выпуклыя по- изъ стали (разрѣзъ по $h h$) съ оставленіемъ между ними зазора въ 190

черезъ который пропущена опорная стойка подвѣсной фермы. Эта стойка ть крестовое сѣченіе, причемъ въ нижней растянутой половинѣ ея сѣченіе влено изъ 4-хъ уголковъ 80.80.14 мм. съ прокладками между ними, а въ

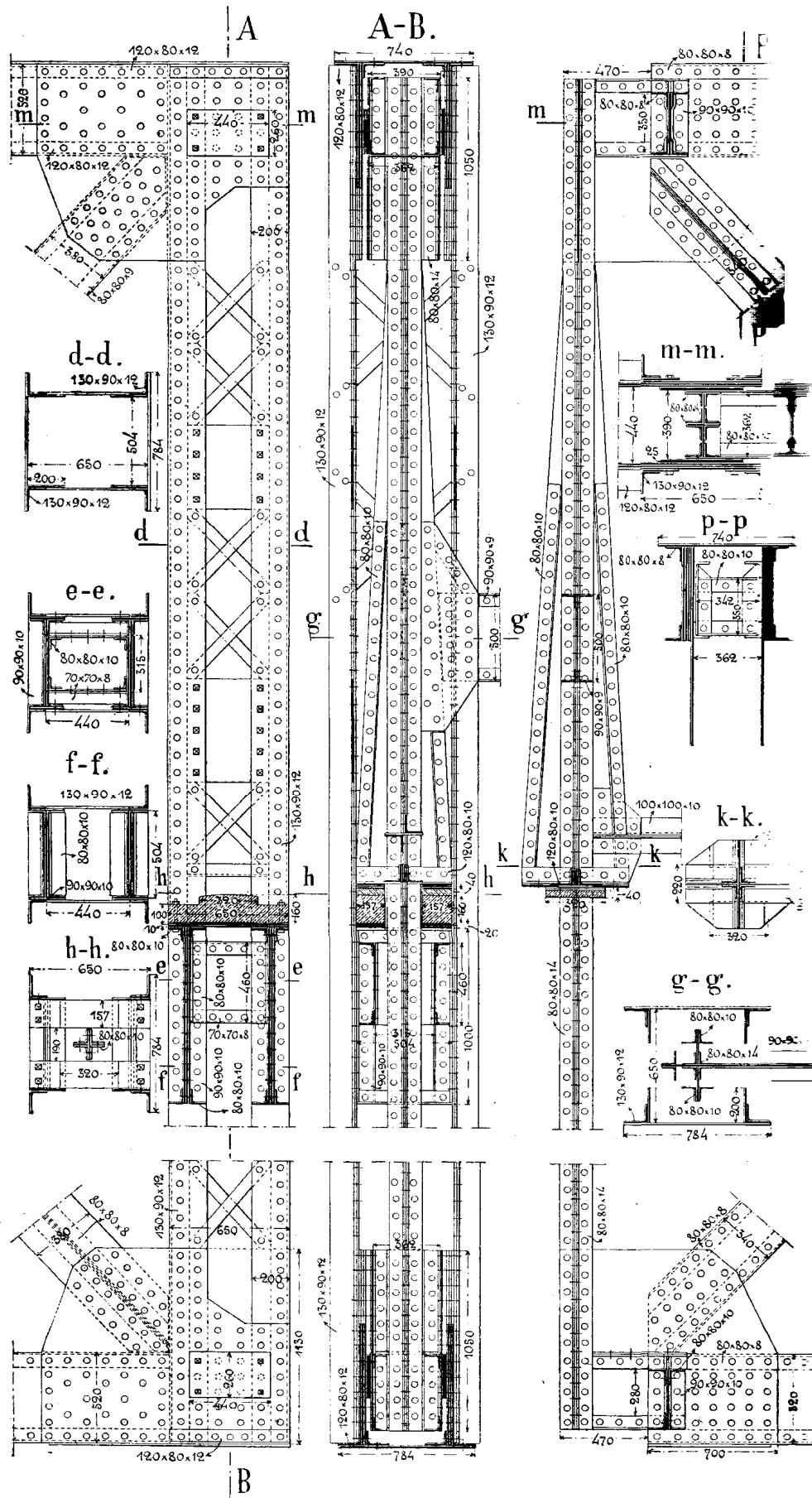
сжатой половинѣ стойка усилена съ 4-хъ сторонъ треугольными листами; такими листами, расположенными поперекъ фермъ, стойка опирается на вышеуказанныя выпуклыя подушки.

Такъ какъ обѣ консольныя части моста (фиг. 856 I тома) имѣютъ на бы- неподвижныя опоры, то одинъ шарниръ подвѣсной фермы устроенъ под- мь, а другой — неподвижнымъ. Выпуклыя подушки того и другого шарнира чаются только тѣмъ, что въ неподвижномъ шарнирѣ онѣ снабжены закрай-

Продольное перемѣщеніе подвижнаго шарнира отъ теплоты равно измѣне- длины всего средняго пролета въ 84,4 м. При скольженіи подвижной опоры вается горизонтальная сила тренія $R = 6,7$ тон. отъ дѣйствія одной посто- нагрузки. Эта сила стремится изогнуть сравнительно слабую и длинную ную стойку подвѣсной фермы; во избѣжаніе такого изгиба, въ каждомъ шар- имѣется горизонтальная распорка H (фиг. 236) крестоваго сѣченія изъ 2-хъ ковокъ, соединяющая середину опорной стойки съ точкою пересѣченія ближай-



Фиг. 236.

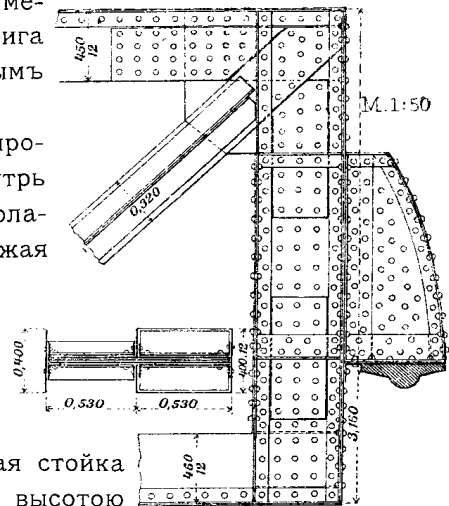


Фиг. 237 Жел.-дор. мостъ черезъ Молдаву у Червена (см. фиг. 856 I тома).

ихъ раскосовъ фермы. При повышеиіи температуры воздуха, распорки *H* сжимаются, а при понижеиіи температуры, онѣ растягиваются.

Для удержаиія подвѣсныхъ фермъ отъ поперечнаго сдвига, приняты слѣдующія фермы. Концы опорной стойки подвѣсной фермы продолжены до встрѣчи съ верхнимъ и нижнимъ поясами и склепаны съ ними помощью узловыхъ накладокъ, которыя пропущены во внутрь верхняго и нижняго узловъ концевой стойки консоли. Между узловыми накладками консольной и подвѣсной фермы имѣются зазоры въ 25 мм., въ которыхъ помѣщаются стальные направляющія плитки, не допускающія бокового сдвига подвѣсной фермы, а только ея продольное перемѣщеніе (разрѣзъ по *AB* и по *mn*). Немного выше шарнира концевая стойка консоли соединены между собою трубчатую поперечную балку проѣзжей части сквозными стѣнками. Высота балки 160 см., а ширина между стѣнками 66 см. На поперечную балку опираются концы продольныхъ балокъ какъ подвѣсной, такъ и консольной части моста. Внутри поперечной балки пропущена распорка, которая соединяетъ верхнія половины опорныхъ стоекъ подвѣсной фермы (разрѣзъ по *gg*) и составлена изъ 4-хъ уголковъ 90.90.9 мм., связанныхъ рѣшеткою. Ниже шарнира не устроено поперечныхъ связей между фермами, такъ какъ отъ поперечнаго сдвига фермы удерживаются вышеуказаннымъ взаимнымъ зацепленіемъ ихъ концовъ.

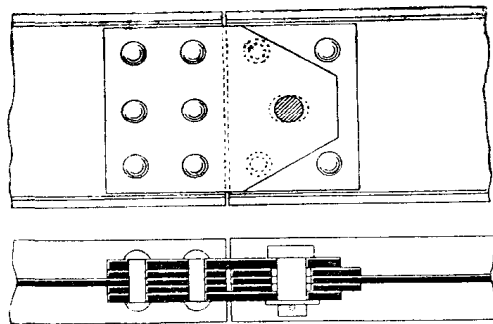
V примѣръ (фиг. 238). Въмѣсто того, чтобы пропускать опорную стойку подвижной фермы во внутрь крайней стойки консольной фермы, можно располагать обѣ стойки рядомъ по фасаду фермы, снабжая опорную стойку подвѣсной фермы кронштейномъ, который пропускается во внутрь крайней стойки консольной фермы и опирается на уложенныя тамъ опорныя части. Конструкція такого кронштейна показана на фиг. 238, изображающей конецъ подвѣсной фермы. Опорная стойка и кронштейнъ имѣютъ двутавровое сѣченіе высотой 530 мм.



Фиг. 238. Віорскій виадукъ во Франціи.

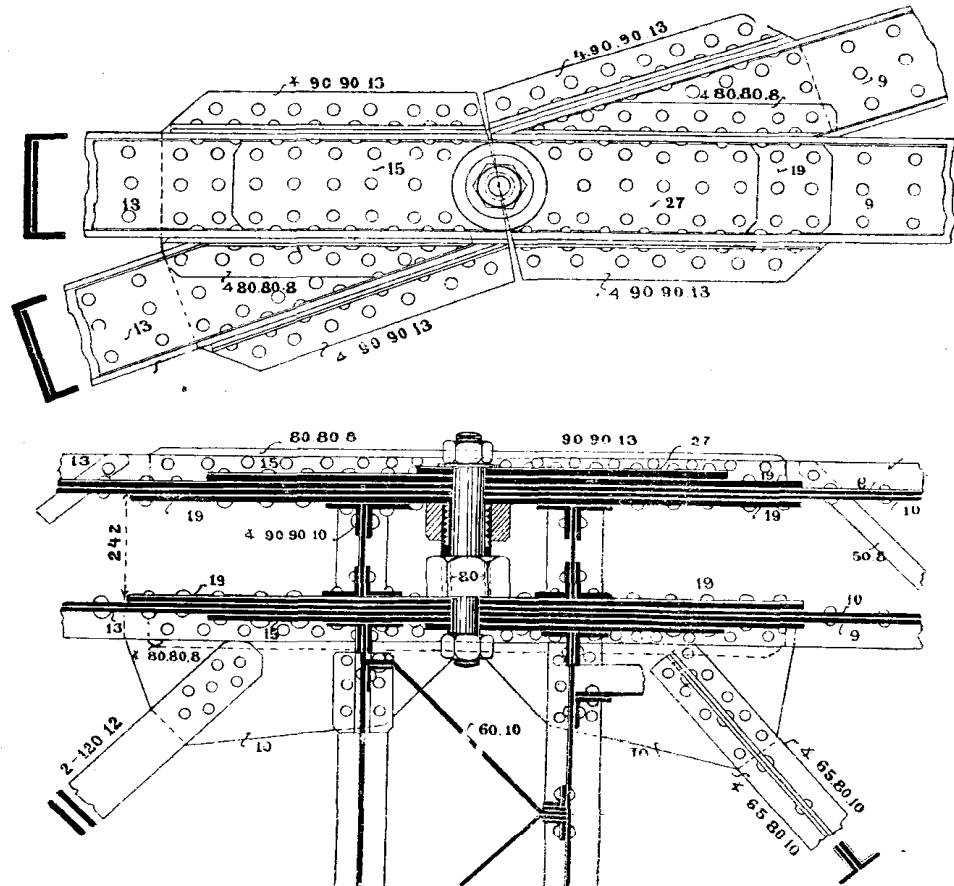
§ 30. Шарниры, устроенные при помощи одного болта.

Примѣръ простѣйшаго устройства шарнира помощью одного болта показанъ въ фиг. 239. Разсмотримъ болѣе совершенный шарниръ, соединяющій острые концы подвѣсной и консольной фермы (фиг. 240). Оба пояса фермъ составлены изъ 2-хъ швеллеровъ и 2-хъ листовъ, и, обрываясь въ мѣстѣ ихъ взаимнаго пересѣченія, они образуютъ между собою два острыхъ узла. Для взаимнаго соединенія поясовъ каждого узла, поставлена пара внутреннихъ накладокъ, толщиной по 19 мм. Снаружи на швеллера наклепаны двѣ накладки, толщиной по 15 мм., такъ что общая толщина каждой стѣнки равна 53 мм. Соприкасающіеся торцы



Фиг. 239.

стѣнокъ пояса снабжены полукруглыми гнѣздами для шарнирнаго болта и заняты такъ, чтобы возможно было вращеніе подвѣсной фермы относительно сольной. Шарнирный болтъ, діаметромъ 80 мм., снабженъ съ обѣихъ сторонъ наружными гайками и шайбами. Во избѣжаніе поперечнаго сдвига одной относительно другой, на болтъ надѣта распорка изъ стальной трубки, толщ



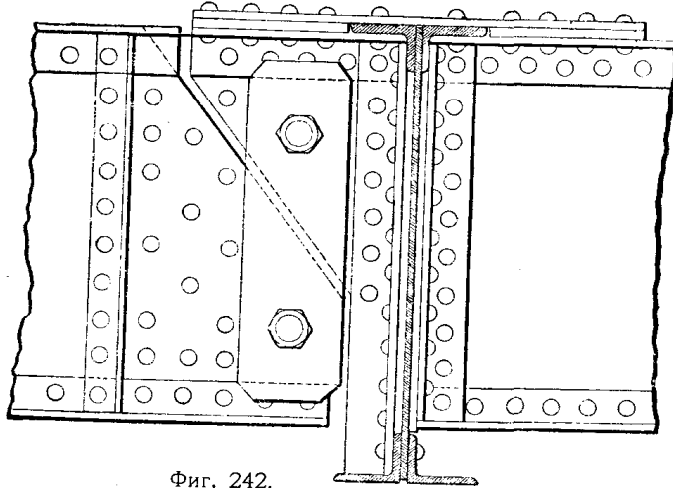
Фиг. 240. Шоссейный мостъ чер. р. Эмсъ у Тунксдорфа (см. фиг. 863 I тома).

11 мм., снабженной по концамъ гайками, которыя плотно упираются въ поясовъ. Эта же трубка служитъ для передачи поперечнаго давленія вѣтра подвѣсной фермы на консольную. Продольныя вѣтровыя связи проектированы безъ перерыва въ шарнирѣ; поэтому шарниру передаются сжимающія и растягивающія продольныя усилія, соответствующія поясамъ вѣтровыхъ связей. Сжимающія усилія воспринимаются шарнирнымъ болтомъ непосредственно; что же касается растягивающихъ силъ, то для ихъ передачи на каждый конецъ болта дѣла накладка, приклепанная правымъ концомъ къ узлу подвѣсной фермы. Справа и слѣва отъ шарнира имѣется по одной поперечной балкѣ, которыя приклепаны при помощи вертикальныхъ уголковъ и горизонтальныхъ фасонныхъ накладокъ. Къ послѣднимъ приклепаны діагонали горизонтальныхъ связей, а для передачи горизонтальнаго давленія вѣтра отъ одной поперечной балки на другую, ими устроена треугольная рѣшетка изъ полосоваго желѣза.

Другой примѣръ болтоваго шарнира представленъ въ фиг. 241. Конецъ подвѣсной фермы, показанный въ фасадѣ фиг. 241 съ лѣвой стороны, образуется изъ стойки *d*, изъ коробчатого пояса фермы и изъ затяжки *e*.

§ 31. Шарниры въ видѣ качающейся подвѣски или стойки.

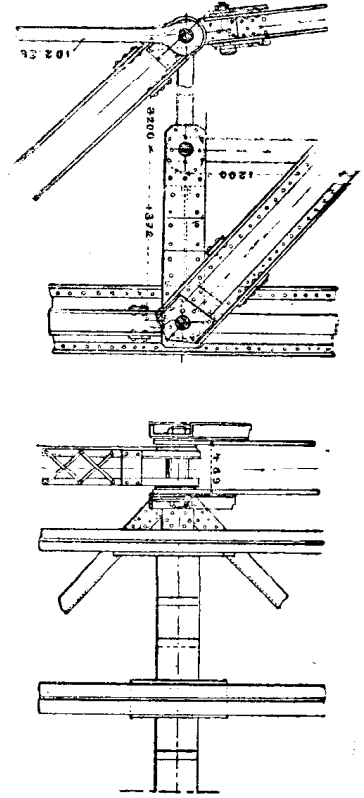
А. Качающіяся подвѣски. Если подвѣсную ферму подвѣсить къ верхнему консоли при помощи подвѣски, которая можетъ качаться вдоль моста, читается подвижный шарниръ, допускающій продольное перемѣщеніе, а так



Фиг. 242.

щеніе конца подвѣсной фермы. Чтобы подвѣска не изгибалась при качаніи, надо каждый ея конецъ прикрѣплять только однимъ болтомъ.

I примѣръ (фиг. 242). Сплошная продольная балка подвѣшена къ консоли, которая приклепана къ поперечной балкѣ, сѣченіе которой заштриховано. Подвѣска состоитъ изъ двухъ полосъ, которыя обхватываютъ вертикальныя стѣнки балки и консоли, утолщенные накладками, во избѣжаніе смятія болтовъ.

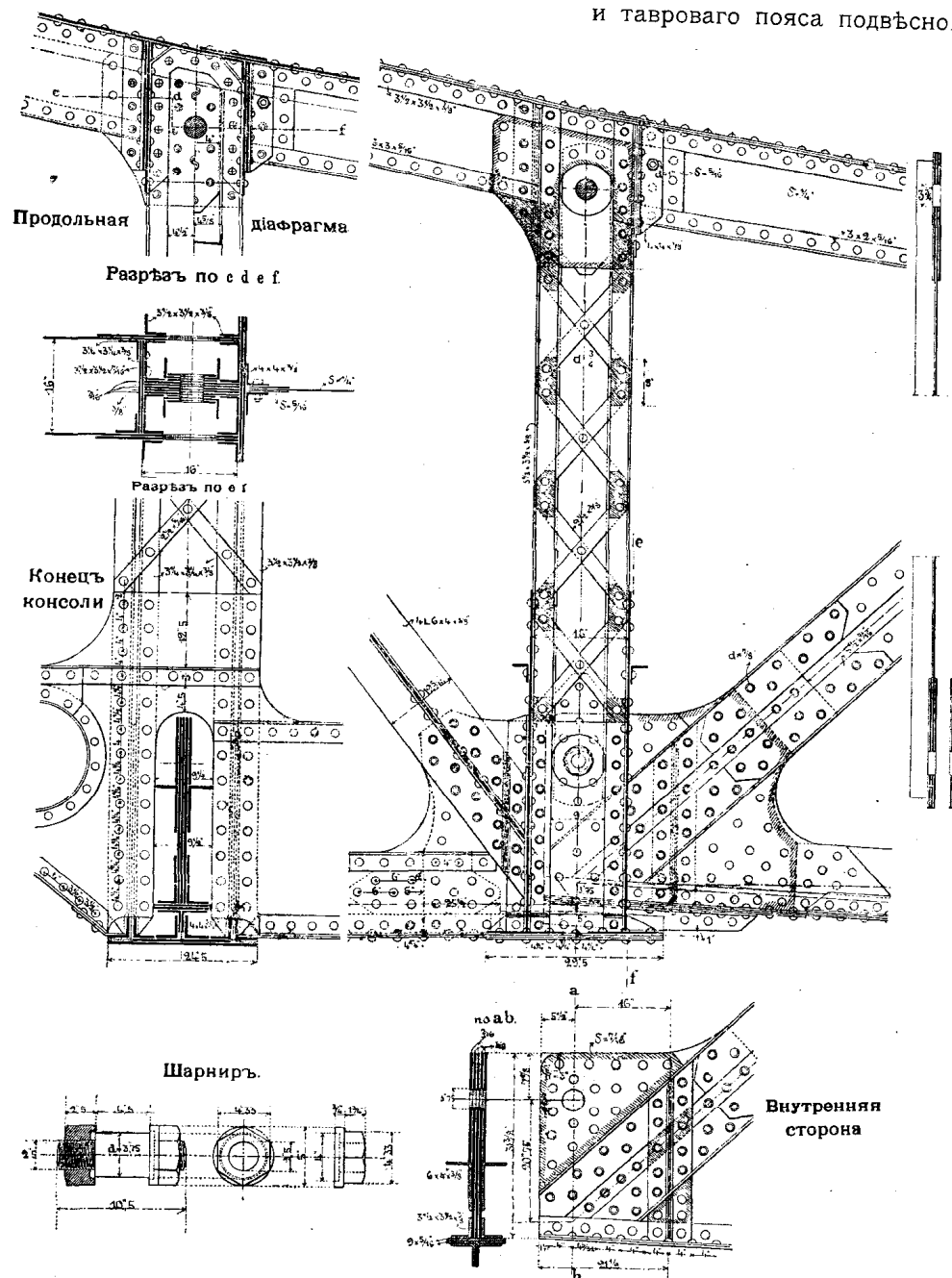


Фиг. 243. Ж.-д. мостъ чер. р. зеръ въ Канадѣ (см. фиг. 909)

II примѣръ (фиг. 243). Этотъ способъ подвѣшиванія примѣненъ на нѣскокихъ американскихъ мостахъ съ ѣздою по верху. Изъ фасада (расположенъ въ нижней части фиг. 243) усматривается, что опорный узелъ подвѣсной фермы подвѣшенъ къ верхнему концу консольной фермы при помощи составной вѣски съ промежуточнымъ шарниромъ. Качаться можетъ только нижняя подвѣски, длиною 3200 мм., и притомъ около промежуточнаго шарнира; что касается верхней части подвѣски длиною 1372 мм., то она служитъ для прикленія поперечной балки проѣзжей части (показанной въ планѣ фиг. 243) и должна качаться; поэтому ея нижній конецъ, служащій шарниромъ подвѣски, единенъ съ жесткимъ раскосомъ консольной фермы помощью распорки, длин 1200 мм. Дабы не препятствовать качанію подвѣски, верхній поясъ подвѣс. фермы и нижній поясъ консоли соединены съ шарнирами подвѣски подвижны образомъ, съ примѣненіемъ овальныхъ дыръ.

III примѣръ (фиг. 244). Подвижный шарниръ подвѣсной фермы пролета 30,4 м. Консольная ферма имѣетъ коробчатые, а подвѣсная ферма—тавропояса. Консольная ферма (на фасадѣ фиг. 244 съ лѣвой стороны) заканчиваетъ стойкою трубчатого сѣченія изъ 4 уголковъ 80.80.8 мм. (разрѣзь по *ff*). Верхній конецъ стойки соединенъ съ раскосомъ и съ верхнимъ поясомъ помощью

діаметромъ 105 мм., пропущеннаго черезъ стѣнки коробчатого пояса консольной и таврового пояса подвѣсной



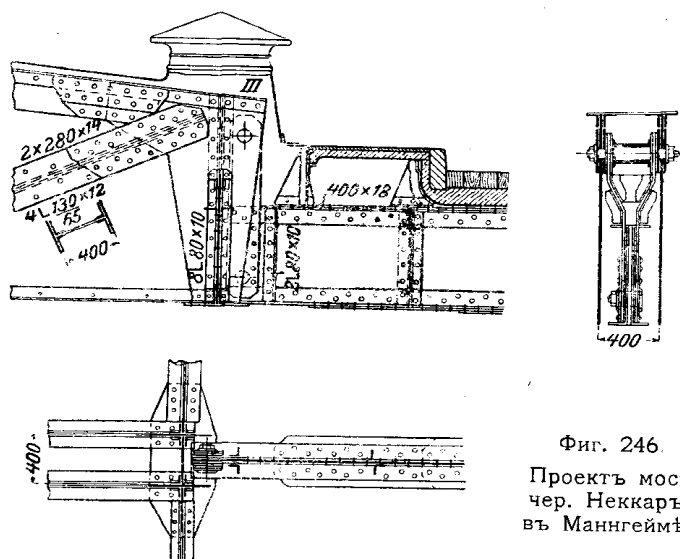
Фиг. 245. Городской мостъ черезъ Волховъ въ Новгородѣ (см. фиг. 911 I тома).

IV примѣръ (фиг. 245). Консольная ферма имѣетъ коробчатые пояса, а подвѣсная ферма—тавровые пояса. Консольная ферма, изображенная на фасадѣ фиг. 245 съ лѣвой стороны, заканчивается вертикальною стойкою трубчатого сѣченія, которая составлена изъ 8 уголковъ $3\frac{1}{2}$. $3\frac{1}{2}$. $\frac{3}{8}$ дм., взаимно связанныхъ рѣшеткою съ четырехъ сторонъ. Внизу и наверху стойка соединена съ коробчатыми поясами консольной фермы при помощи фасонныхъ вставокъ и накладокъ. Подвѣсная ферма заканчивается острымъ опорнымъ узломъ, образованнымъ восходящимъ опорнымъ

и тавровымъ нижнимъ поясомъ. Верхній поясъ въ первой панели подфермы не работаетъ и имѣетъ подвижное соединеніе съ консолью. Опорный узелъ подвѣсной фермы устроенъ при помощи тройныхъ фасонныхъ листовъ, часть которыхъ, выступающая за очертаніе раскоса, усилена приклепкою двухъ треугольныхъ листовъ и имѣетъ круглую дыру для прикрѣпленія подвѣска, жесткаго сѣченія, состоитъ изъ двухъ швеллеровъ $9\frac{1}{4} \cdot 3\frac{1}{2}$ дм., которыхъ усилена по концамъ наклепкою двухъ накладокъ, толщиной $\frac{3}{8}$ дм. Нижній конецъ подвѣски обхватываетъ стѣнку опорнаго узла подвѣсфермы и соединенъ съ нею помощью стального болта, діаметромъ 3,75 дм. конецъ подвѣски соединенъ такимъ же болтомъ съ продольною діафрагмой, которая вклепана въ верхнемъ узлѣ консоли и направлена вдоль моста разрѣзъ по *c d e f*). Въ узловыхъ фасонныхъ листахъ, противъ шарнирныхъ подвѣски, сдѣланы круглыя отверстія, діам. 9 дм., которыя служатъ для чистванія гаекъ и для осмотра болтовъ.

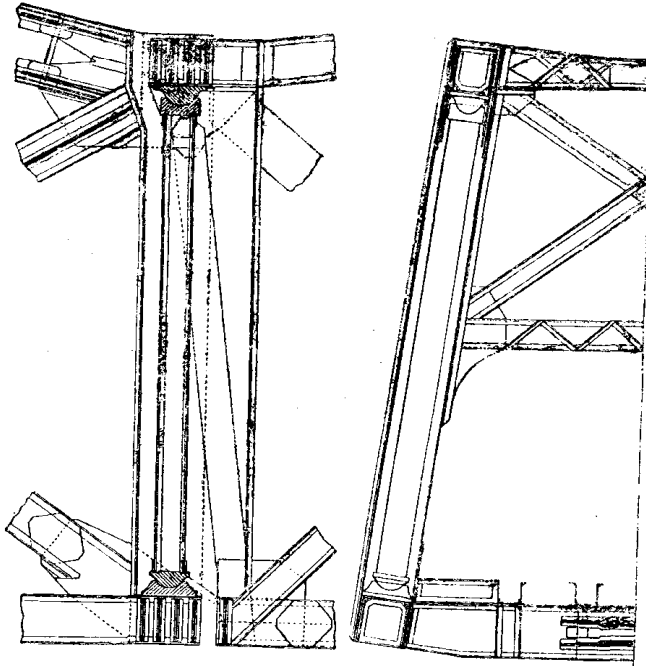
Подвѣска помѣщается внутри трубчатой стойки консоли. Между внутренними частями стойки имѣется просвѣтъ въ 9,5 дм., въ который пропущенъ конецъ подвѣсной фермы, снабженный горизонтальными листами той же ширины—9,5 дм. того, къ концу подвѣсной фермы снизу подклепаны два уголка, вертикальные полки которыхъ образуютъ ребро, входящее въ зазоръ между вертикальными частями двухъ другихъ горизонтальныхъ уголковъ, приклепанныхъ къ нижнему концу консоли (см. разрѣзъ по *e f*). Передача горизонтальнаго давления вѣтра отъ подвѣсной фермы на конецъ консоли происходитъ 1) помощью упомянутыхъ горизонтальныхъ уголковъ и 2) помощью горизонтальныхъ листовъ нижняго пояса подвѣсной фермы, упирающихся въ ребра внутреннихъ уголковъ стойки. Во избежаніе продольнаго качанія подвѣсной фермы, на одномъ ея концѣ устроено слѣдующее соединеніе, не могущее передавать вертикальнаго давления: въ вертикальныхъ полкахъ вышеуказанныхъ направляющихъ уголковъ (сѣченіе по *e f*) сдѣланы вырезы, въ которыхъ заложенъ горизонтальный болтъ діаметромъ 1,25 дм.

V примѣръ (фиг. 246). Конечная подвѣска для прикрѣпленія одностѣнчатой подвѣсной фермы къ двустѣнчатой консоли. Вертикальная часть сплошной подвѣской (въ фиг. 246 справа) усилена наклепкою двухъ накладокъ и прикрѣплена помощью болта къ подвѣскѣ изъ двухъ полосъ. Полосы направлены сперва параллельно между собою; затѣмъ имѣющійся между ними зазоръ увеличивается до ширины коробки верхняго пояса сквозной консольной фермы; при этомъ каждая полоса подвѣски получаетъ два перелома. Во избежаніе выпрямленія подвѣсокъ, ихъ мѣста перелома усилены наклепкою жесткихъ уголковъ; кромѣ того, на верхній болтъ подвѣски надѣта распорка въ видѣ трубки.



Фиг. 246.
Проектъ моста
чер. Неккаръ
въ Маннгеймѣ.

В. Качающіяся стойки. Чтобы образовать шарниръ помощью качающейся стойки, устанавливаютъ ее нижній конецъ на крайній нижній узелъ консольной фермы, а на верхній конецъ стойки опираютъ крайній верхній узелъ фермы. Качаясь около нижняго своего шарнира, стойка допускаетъ вращательное и продольное перемѣщеніе конца фермы при дѣйствіи теплоты и нагрузки. Въ трубчатая качающаяся стойка снабжена наверху и внизу шаровыми шарнирами.



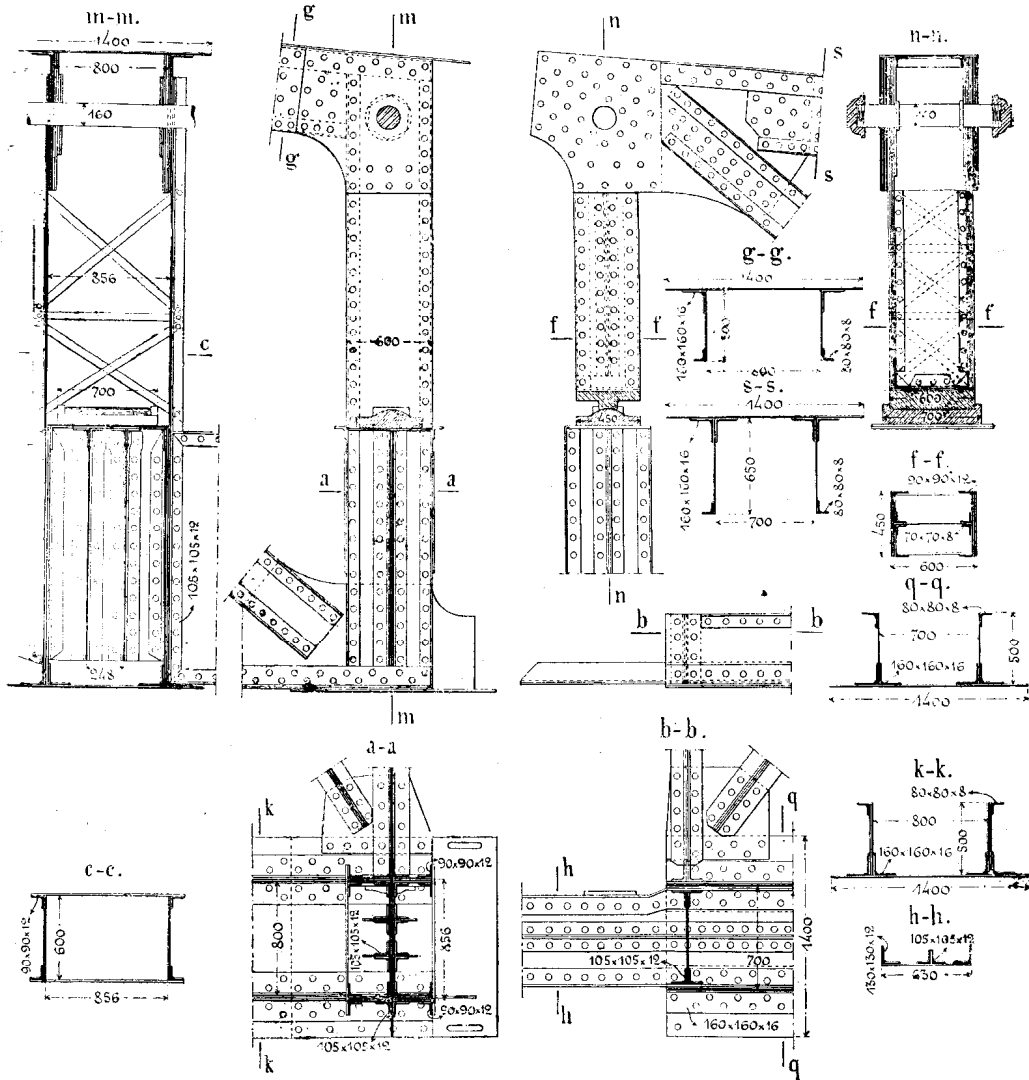
Фиг. 247. Фортскій мостъ чер. заливъ Firth of Forth (см. фиг. 903 I тома).

Установлена наклонно, наклоннаго положенія расположена внутри концевой стойки консольной фермы. Опорная площадка, вающая нижній шарниръ устроена на концѣ нижняго ребратаго пояса консоли, котораго связаны между четырьмя діафрагмами. Шаровой шарниръ стойки пленъ къ опорному узлу консольной фермы. Конецъ нижняго пояса подвѣсной фермы связанъ къ ея верхнему опорному шарниру помощью наклонной діафрагмы. Продольныя связи между стойками прерваны въ шарнирахъ. Поэтому сближенные шарниры балки проѣзжей части

положенныя по обѣ стороны шарнира, соединены между собою по срединѣ мощью вертикальнаго болта, діам. 229 мм. На одномъ концѣ подвѣсной фермы этотъ болтъ допускаетъ только вращеніе, а на другомъ концѣ — вращеніе и продольное перемѣщеніе подвѣсной части.

Другой примѣръ шарнира съ качающеюся стойкою показанъ въ фигурѣ 248. Два верхнихъ чертежа справа представляютъ фасадъ и боковой видъ качающейся стойки, и два верхнихъ чертежа слѣва — поперечный и продольный видъ концевой стойки консольной фермы. Вертикальная качающаяся стойка, 1,6 м., имѣетъ *H*-образное сѣченіе (разрѣзъ по *ff*) изъ поперечнаго 8 уголка, 2-хъ узкихъ и 4-хъ широкихъ листовъ, и расположена внутри консольной (см. разрѣзъ по *cc*) концевой стойки консольной фермы. Нижній шарниръ качающейся стойки снабженъ стальнымъ балансиромъ съ цилиндрической головкой и опирается на выпуклую стальную подушку, уложенную на опорной площадке, которая поддерживается жесткою поперечною діафрагмою (см. разрѣзъ по *gg*). Верхній конецъ качающейся стойки пропущенъ въ пространство между верхними узлами подвѣсной фермы (разрѣзъ по *hh*) и соединенъ съ фермой помощью горизонтальнаго болта, діаметромъ 160 мм., представляющаго шарниръ качающейся стойки. Что касается длины этого болта, то она различна въ обоихъ шарнирахъ. Въ неподвижномъ шарнирѣ болтъ проходитъ черезъ качающуюся стойку, черезъ узловые накладкі подвѣсной фермы и черезъ

стойки консоли, какъ показано въ разрѣзахъ по *m m* и по *n n*, такъ что не можетъ качаться, а возможно только вращеніе конца подвѣсной фермы шарнирнаго болта. Въ подвижномъ шарнирѣ болтъ не проходитъ черезъ консольной фермы и соединяетъ только качающуюся стойку съ опорнымъ подвѣсной фермы, такъ что возможно качаніе стойки, допускающее не



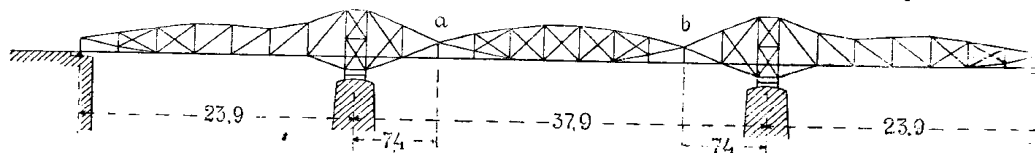
Фиг. 248. Город. мостъ Франца Юсифа чер. Дунай въ Будапештѣ (см. фиг. 872 I тома).

вращеніе, но и продольное перемѣщеніе конца подвѣсной фермы. Во избѣ бокового сдвига нижней части подвѣсной фермы, ея нижній поясъ опирается горизонтальный листъ, приклепанный къ консольной фермѣ, а уголки пояса пущены во внутрь коробки нижняго пояса консольной фермы (см. планы по *a a* и по *b b*).

§ 32. Шарниры въ видѣ упругаго соединенія.

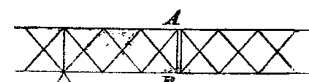
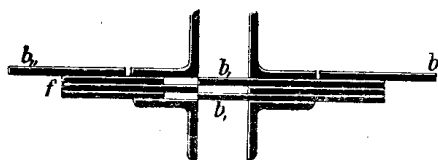
Упругое соединеніе подвѣсной фермы съ консольною можетъ быть устроено четырьмя способамъ, изъ которыхъ наибольшаго вниманія заслуживаютъ ливые шарниры.

I способъ. Если въ шарнирѣ высота фермы настолько мала, вызываетъ перенапряженія матеріала (формула 55), можно обойтись ства особаго шарнира, какъ сдѣлано Герберомъ въ шоссеиномъ мостѣ Майнѣ около Хассфурта (фиг. 249). Фермамъ этого моста придано очер отвѣтствующее эпюрѣ наибольшихъ моментовъ. Пояса фермъ пересѣкаютъ

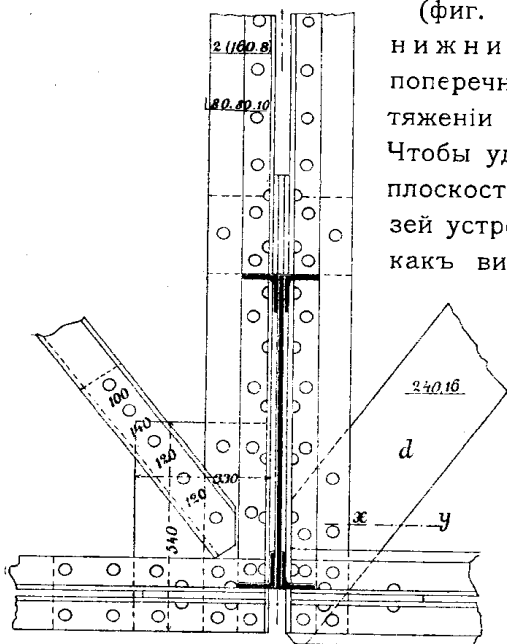
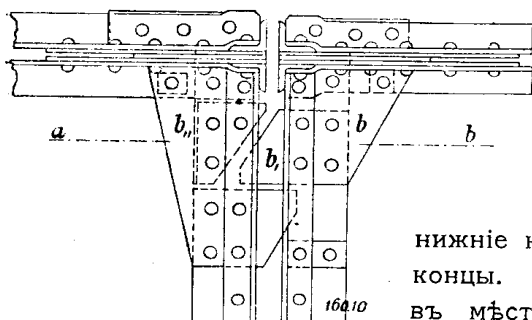


Фиг. 249. Шосс. мостъ черезъ Майнѣ въ Хассфуртѣ.

собою въ шарнирахъ *a* и *b* среднего пролета, будучи взаимно склепанъ въ шарнирахъ незначительную высоту = 18 см., допускающую достаточнѣннѣя угловъ безъ перенапряженія матеріала. Къ сожалѣнію, этотъ спосс



Фиг. 250.

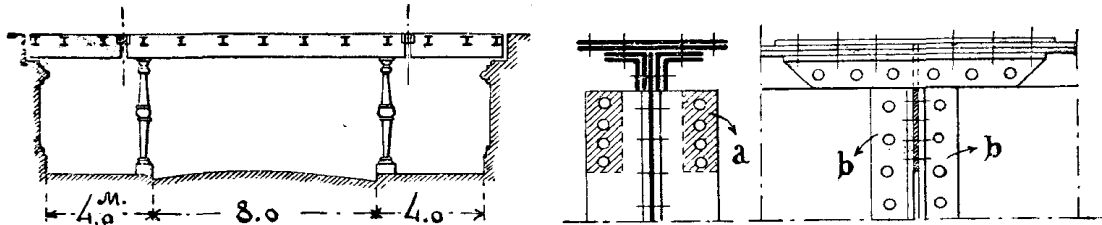


Фиг. 251. Мостъ чер. Дунай у Вильсофена.

примѣнимъ, такъ какъ трудно перенапряженія матеріала.

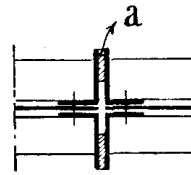
II способъ. Если высота шарнирѣ достаточна, то скле между собою только нижніе или концы соприкасающихся фермъ. по низу предпочтительнѣе нижніе концы фермъ, а при ѣздѣ по верху-- концы. I примѣръ (фиг. 250 и 251). въ мѣстѣ *AB* фермы съ параллельными (фиг. 250) устроены путемъ взаимнаго нижнихъ концовъ стоекъ, между которыми поперечная балка проѣзжей части. На остальномъ тяженіи стоекъ, между ними оставленъ сквозной. Чтобы удержать верхній поясъ фермъ въ плоскости, между смежными распорками зей устроено зацѣпленіе при помощи трехъ какъ видно изъ плана и разрѣза, помѣщенн въ верхней части фиг. 251. II при (фиг. 252). Шарниръ сплошной устроены путемъ взаимнаго соединенія верхнихъ концовъ подвѣсной сольной фермы. Вертикальные фермъ прерываются въ шарнирѣ тавленіемъ между ихъ концами 3 мм. Къ концамъ вертикальныхъ приклепано по парѣ неравн вертикальныхъ уголковъ *b*, обращен другъ къ другу широкими полкамъ

уголки соединены между собою 8-ю заклепками, причемъ въ 3 мм. зазорѣ сдѣланы узкія прокладки *a*, заштрихованныя въ поперечномъ разрѣзѣ. Горизонтальные листы и поясные уголки также прерываются въ шарнирѣ. Въ верхнемъ стыки этихъ частей перекрыты накладкою и уголками, а въ нижнемъ поясъ оставлены безъ перекрытія, дабы при прогибѣ фермъ шовъ могъ раскрыться внизу. Проѣзжая часть состоитъ изъ поперечныхъ и продольныхъ балокъ.



Фиг. 252. Ж.-д. путепроводъ надъ ул. Майбахъ въ Кельнѣ.

рыхъ лотковымъ желѣзомъ, которое не прерывается въ шарнирѣ. Конструкцію нельзя считать удачною, такъ какъ при прогибѣ фермъ стыковые уголки и накладка горизонтальныхъ листовъ верхняго пояса подвергаются значительнымъ напряжениямъ, а заклепки *a, a* работаютъ на отрываніе головокъ.



III способъ. Концы фермы въ шарнирѣ соединяются между собою 4-мя пружинами вертикальными уголками. Тѣ полки этихъ уголковъ, которыя выступаютъ изъ плоскости фермъ, дѣлаются шириною до 350 мм. и склепываются между однимъ вертикальнымъ рядомъ заклепокъ, помѣщенныхъ возможно близко къ краю уголковъ. Между этими краями располагаютъ узкія прокладки, толщиною 10 мм., повышающія пружинность уголковъ (фиг. 253). Верхній или нижній конецъ фермы иногда дѣлается неподвижнымъ; тогда поперечныя полки уголковъ получаютъ трапециoidalную форму и уширяются въ сторону подвижнаго конца.

Примѣръ шарнира съ неподвижнымъ верхнимъ и подвижнымъ нижнимъ концомъ представленъ въ фиг. 253. Въ планѣ и продольномъ разрѣзѣ подъ нимъ показана ферма съ правой, а подвѣсная съ лѣвой стороны. Обѣ фермы имѣютъ сплошную вертикальную стѣнку, высотой 990 мм. Къ концу стѣнки фермы приклепана помощью двухъ рядовъ заклепокъ пара стальныхъ уголковъ, толщиною 10 мм. Полки ихъ, приклепанныя къ стѣнкѣ, имѣютъ постоянную ширину въ 157,5 мм., а трапециoidalныя поперечныя полки уширяются къ концу отъ 98 мм. до 310 мм. Между трапециoidalными полками имѣется 10 мм.

въ который пропущены фасонные консольные листы, служащіе для приклепыванія поперечныхъ балокъ и обрѣзанные параллельно наклоннымъ краямъ трапециoidalныхъ полокъ. Къ верхнему поясу фермъ и поперечныхъ балокъ приклепана сплошная настилка изъ лотковаго желѣза, не прерванная надъ шарниромъ.

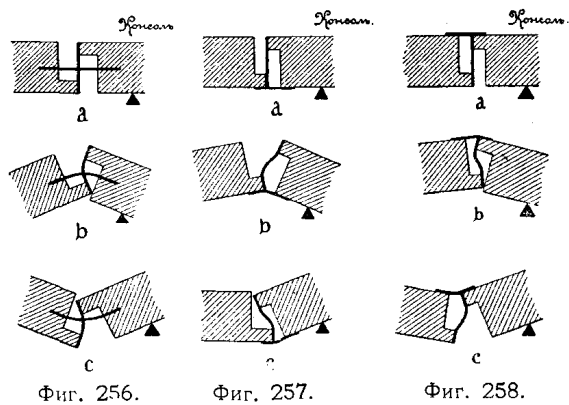
При описанномъ устройствѣ, верхній конецъ шарнира неподвиженъ, нижній же конецъ обладаетъ достаточною подвижностью, такъ какъ при прогибѣ фермъ между ними раскрывается внизу.

Примѣръ шарнира, обладающаго наверху болѣею подвижностью чѣмъ внизу, представленъ въ фиг. 254. Къ концамъ фермъ двутавроваго сѣченія приклепаны по два вертикальныхъ стальныхъ уголка съ трапециoidalными поперечными полками, взаимно соединенными по краямъ наклоннымъ рядомъ кониче-

одною полкою, толщиной 13 мм., къ стѣнкѣ фермы помощью 7 за-
діаметромъ 23 мм. Другою полкою, толщиной 8 мм., уголки взаимно
и между ними помѣщены вдоль края узкія прокладки толщиной 10 мм.
щами фермъ оставленъ зазоръ въ 10 мм. Для передачи черезъ шарниръ
пныхъ силъ, дѣйствующихъ вдоль фермъ, съ каждой стороны стѣнки
стальная пластинка, толщиной 30 мм. и шириною 100 мм. Ея концы
между горизонтальными полками стальныхъ отливокъ, приклепанныхъ
ѣнкѣ фермъ. Свободная длина горизонтальныхъ пластинокъ = 540 мм. Съ
стороны шарнира, на разстояніи 700 мм. отъ его оси, къ стѣнкѣ фермы
лана поперечная балка. Въ плоскости нижняго пояса фермъ концы попе-
хъ балокъ связаны между собою горизонтальнымъ крестомъ изъ двухъ діаго-
входящихъ въ составъ продольныхъ связей моста, которыя такимъ обра-
не прерываются въ шарнирѣ. Такъ какъ пояса фермъ прерваны въ шар-
то горизонтальныя пластинки шарнира служатъ поясами продольныхъ связей.

IV способъ. Листовые шарниры. Листовые шарниры предложены въ 1890 году
нскимъ инженеромъ Кепке и напоминаютъ собою способъ подвѣшиванія ча-
маятника помощью упругой пла-

съ цѣлью устранить треніе и
заный съ нимъ износъ частей.
мущество листовыхъ шарнировъ
чается 1) въ простотѣ ихъ ус-
ства и 2) въ однородной съ осталь-
частями моста ихъ конструкціи,
ленной при помощи заклепочныхъ
диненій безъ примѣненія фасонныхъ
вокъ. Листовые шарниры могутъ
примѣнены съ одинаковымъ успѣ-
при балочныхъ, висячихъ и ароч-
фермахъ.

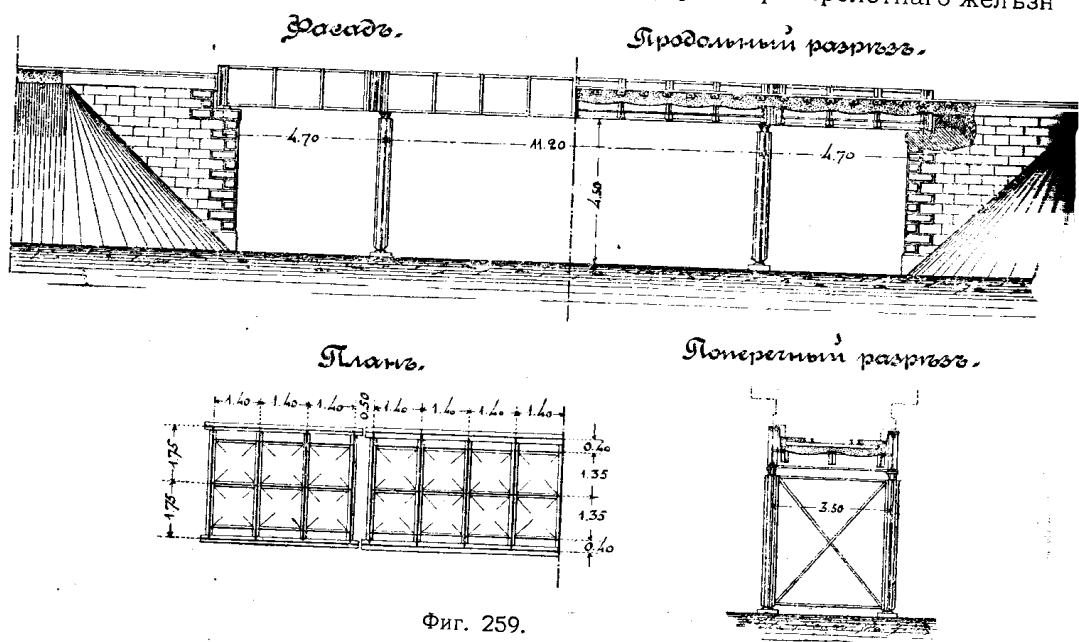


Такъ какъ шарниръ подвергается дѣйствию вертикальныхъ и горизонтальныхъ
то онъ долженъ быть составленъ изъ вертикальнаго и горизонтальнаго листа.
кальный листъ передаетъ вертикальное давленіе подвѣсной фермы на консоль,
ризонтальный листъ воспринимаетъ горизонтальныя силы, дѣйствующія какъ
такъ и поперекъ моста. Горизонтальный листъ можетъ быть расположенъ
вертикальнымъ листомъ (фиг. 258), подъ нимъ (фиг. 257), или же въ
редѣлахъ его высоты (фиг. 256). Листы приклепываются однимъ концомъ
консоли, а другимъ концомъ — къ подвѣсной части моста. Такіе листовые шар-
относятся къ разряду неподвижныхъ шарнировъ. При прогибѣ консоли или
двѣсной фермы, оба листа изгибаются. Характеръ изгиба листовъ усматривается
фиг. 256 до 258, соотвѣтствующихъ расположенію горизонтальнаго листа по
рединѣ (фиг. 256), по низу (фиг. 257) и по верху (фиг. 258) вертикальнаго листа.
всѣхъ фигурахъ съ лѣвой стороны показанъ конецъ подвѣсной фермы, а съ
—конецъ консоли. Всѣ фигуры *a* верхняго ряда относятся къ случаю, когда
существуетъ нагрузка и листы шарнира совершенно прямые. Въ фигурахъ *b*
едняго горизонтальнаго ряда показаны деформаціи листовъ, вызванныя враще-
емъ консоли вверхъ отъ дѣйствія нагрузки на пролетъ, расположенный
отъ опоры. Въ фигурахъ *c* нижняго ряда изображены деформаціи листовъ

при прогибѣ консоли внизъ, вслѣдствіе дѣйствія нагрузки на часть и на консоль. Нетрудно убѣдиться, что во всѣхъ шести случаяхъ зонтальный листъ испытываетъ простой изгибъ внизъ или вверхъ, какъ вертикальный листъ имѣетъ простой изгибъ только въ двухъ случаяхъ — въ фиг. 256, *b* и *c*; въ остальныхъ же четырехъ случаяхъ двойной изгибъ вертикальнаго листа. Характеръ изгиба оказываетъ болѣе на величину напряженій въ листѣ; при двойномъ изгибѣ они получаются больше, чѣмъ при простомъ изгибѣ (см. формулу 55 на стр. 185). Поэтому все равно размѣщать листы шарнира согласно фиг. 256, т.-е. такъ, зонтальный листъ находился по серединѣ свободной длины вертикальнаго

Листовые шарниры впервые получили широкое примѣненіе при Дрезденскаго желѣзнодорожнаго узла и были исполнены на многихъ мѣстахъ со сплошными фермами. Большинство этихъ путепроводовъ, находящихся надъ улицами, имѣютъ три пролета: большой средней — надъ улицей и два боковыхъ — надъ тротуарами (фиг. 259). Путепроводы первой очереди были выполнены съ неразрѣзными фермами, по образцамъ Берлинской городской постройки оказалось, что точная установка неразрѣзныхъ фермъ на качающихся колоннахъ весьма затруднительна и требуетъ много времени, опасались, что опоры могутъ дать осадки, которыя вызовутъ въ неразрѣзныхъ фермахъ дополнительныя напряженія. Поэтому рѣшили отказаться отъ примѣненія неразрѣзныхъ фермъ и для остальныхъ путепроводовъ выработана специальная консольная система съ листовыми шарнирами колоннами. Въ этой системѣ консоли почти не свѣшиваются за подпорки колонны и имѣютъ чисто конструктивное значеніе, такъ что при изгибающихъ моментахъ и поперечныхъ силахъ въ фермахъ пренебрегалось ими. Изъ случаевъ примѣненія листовыхъ шарнировъ известны слѣдующіе: 1) путепроводъ подъ обыкновенную дорогу на ст. Либ.-Ром. ж. д. на ст. Гомель и 2) путепроводъ подъ жел. дорогу Моск. Окруж. ж. д. надъ путями Моск.-Курс. ж. д.

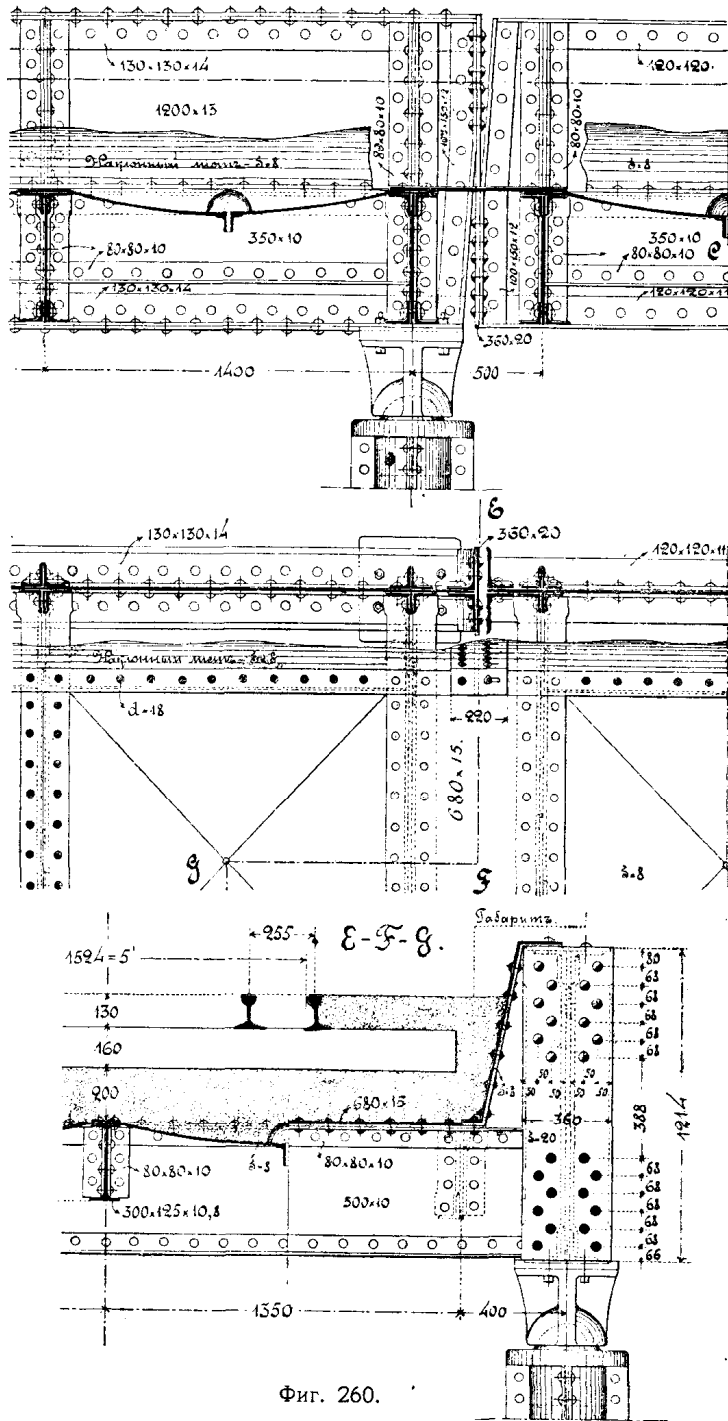
I примѣръ (фиг. 259 и 260). Сплошныя фермы трехпролетнаго желѣзнодорожнаго



Фиг. 259.

путепровода съ ѣздою по низу (фиг. 259), состоитъ изъ средней двухконной части, покоящейся на двухъ качающихся опорахъ, и изъ двухъ боковых частей, опирающихся однимъ концомъ на устой, а другимъ концомъ на подвижные консоли. На лѣвомъ устоѣ устроена подвижная опора. Качающиеся колонны представляютъ подвижные опоры. Колонны склепаны изъ квадратнаго железа снабжены наверху внизу шаровыми шарнирами (см. фиг. 197), получающими центральную передачу давления и соединены между собою поперечными связями. Проезжая часть состоитъ изъ поперечныхъ трехъ продольныхъ балокъ, покрытыхъ лотковымъ желѣзомъ и наклонными листами для предохраненія фермъ отъ сырости. Верхнее строеніе желѣзнодорожнаго пути уложено на слоѣ балласта. Въ виду сплошнаго лотковаго настила проезжей части не устроено продольныхъ связей между фермами.

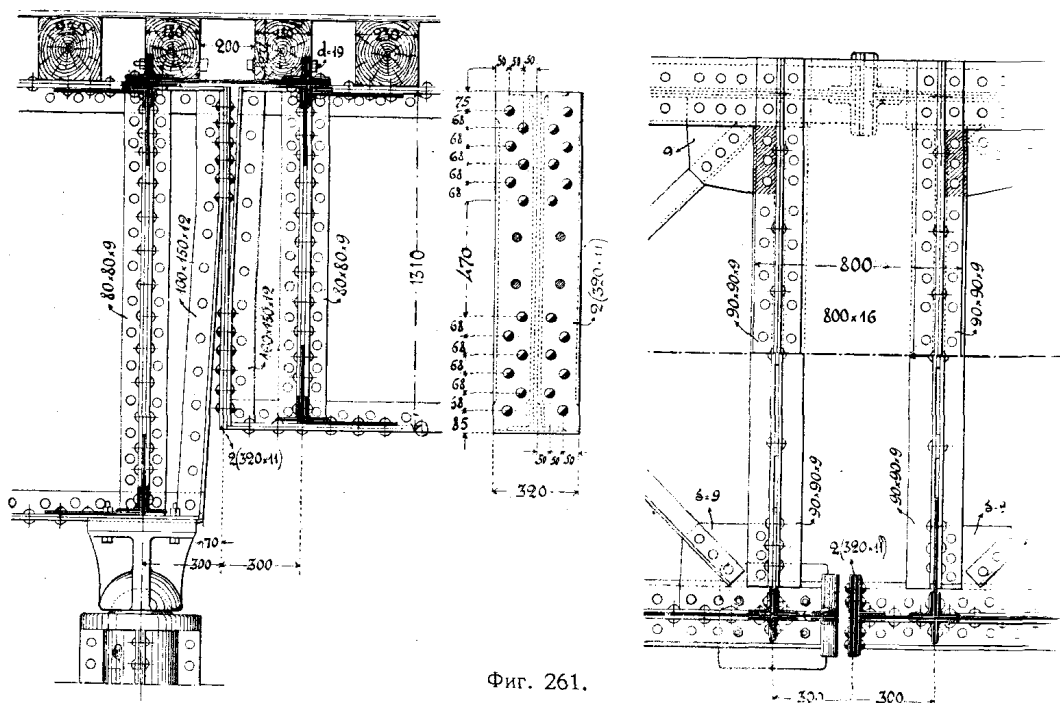
Листовой шарниръ (фиг. 260) ²⁾ состоитъ изъ вертикальнаго листа и расположеннаго почти по срединѣ его высоты горизонтальнаго листа. Ферма берегового пролета, показанная въ фиг. 260 съ правой стороны, подвѣшена къ консоли помощью верти-



Фиг. 260.

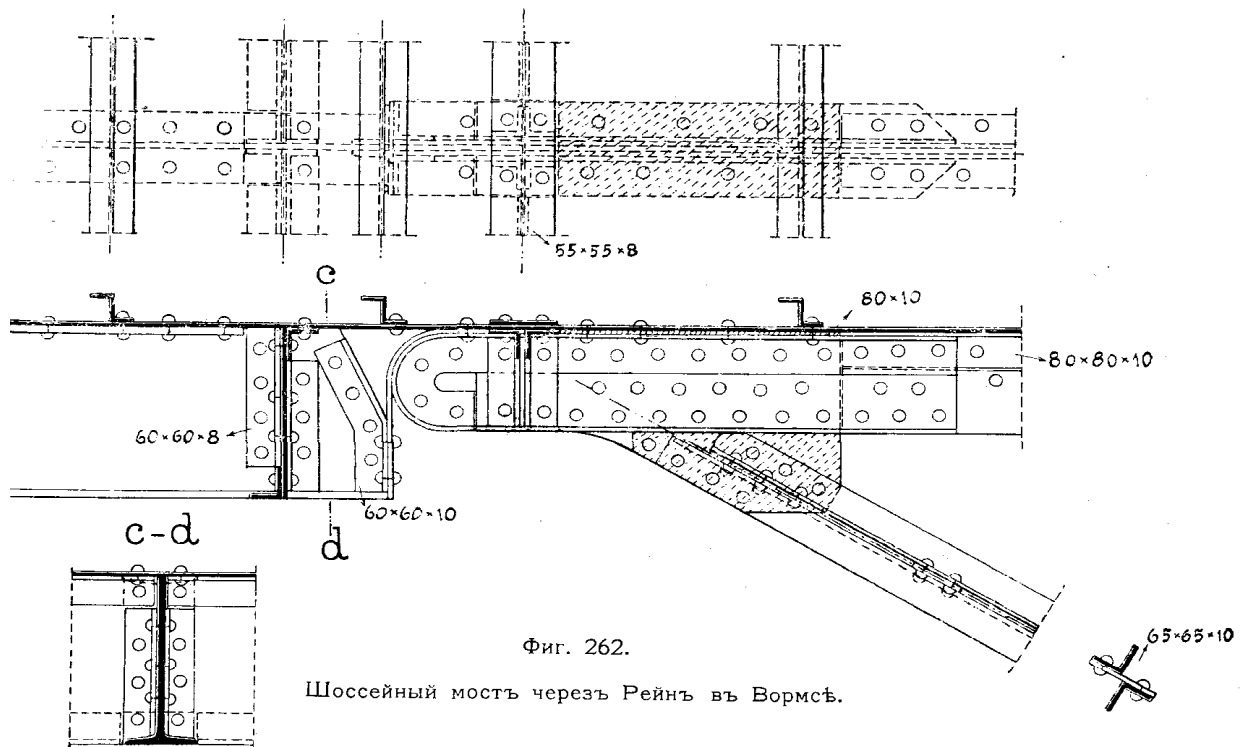
²⁾ Болѣе подробные чертежи находятся въ статьѣ: Патонъ. Листовые шарниры. Журналъ Мин. Пут. Сооб. 1899. Книга 5. Листъ VII.

кального листа 360.20 мм., который приклепанъ наверху къ консоли 12 заклепокъ, диаметромъ 26 мм., а внизу—къ подвѣсной фермѣ. мѣшать изгибу листа, немного скошены тѣ концы фермы, которые не приклепаны. Свободная длина вертикального листа = 388 мм. стороны шарнира, на разстояніи 250 мм. отъ его оси, расположена наклонная балка. На нихъ наклепанъ горизонтальный листъ шарнира, 680.15 мм., который пропущенъ во всю ширину моста и служитъ продольногого настила. Горизонтальный листъ передаетъ консольной фермѣ горизонтальныя силы, направленныя вдоль моста, и 2) давленіе вѣтра. Если колонны каждой промежуточной опоры соединены между собою поперечными (фиг. 259), то при давленіи вѣтра пролетное строеніе работаетъ какъ жесткая трехпролетная неразрѣзная балка. При отсутствіи такихъ связей колоннами, горизонтальная нагрузка передается только устоямъ моста, и при давленіи вѣтра пролетное строеніе работаетъ какъ горизонтальная однопролетная балка во всю длину моста. Въ обоихъ случаяхъ горизонтальному листу передается горизонтальная поперечная сила и такой же изгибающій моментъ. Наибольшія напряженія горизонтальный листъ испытываетъ отъ момента, действующаго при отсутствіи поперечныхъ связей между колоннами, въ нѣсколько разъ больше, чѣмъ въ случаѣ устройства этихъ связей. При косомъ положеніи связей между колоннами, такъ какъ онѣ препятствуютъ свободному качанію колоннъ въ плоскости фермы и этимъ вызываютъ въ нихъ дополнительные напряженія. Наклонныя предохранительныя листы разрѣзаются въ шарнирахъ, и стыкъ ихъ перекрываютъ накладками съ заклепками въ овалъ



II примѣръ (фиг. 261). Листовой шарниръ трехпролетнаго моста съ верха. Каждая ферма состоитъ изъ средней двухконсольной части, покоящейся на двухъ качающихся колоннахъ и изъ двухъ подвѣсныхъ частей, опирающихся однимъ концомъ на устой, а другимъ концомъ подвѣшенныхъ къ консоли

почти не свѣшиваются за поддерживающій ихъ балансиръ колонны и чисто конструктивное значеніе. Колонны склепаны изъ квадрантнаго же-снабжены наверху и внизу шаровыми шарнирами, обеспечивающими цент-передачу давленія (фиг. 197). Проѣзжая часть устроена подѣ железную и состоитъ изъ деревянныхъ брусевъ, уложенныхъ на фермахъ. Шарниръ, въ мѣстѣ соединенія консоли съ подвѣсною фермою берегового состоитъ изъ вертикальнаго и расположеннаго надъ нимъ горизонтальнаго. Вертикальный листъ, помощью котораго подвѣшена ферма берегового про-составленъ изъ двухъ листовъ, шириною 320 мм. и толщиной 11 мм., прикле-наверху къ консоли, а внизу—къ подвѣсной фермѣ. Въ каждомъ концѣ поставлено 12 заклепокъ, діаметромъ 26 мм. Свободная длина вертикаль-листа = $\frac{1}{2} \cdot 47$ см. Чтобы не мѣшать изгибу листа, немного скошены тѣ фермы, которые къ листу не приклепаны. Въ каждомъ пролетѣ лѣвая и фермы соединены между собою продольными связями въ плоскости верх-и нижняго поясовъ. По обѣ стороны шарнира, на разстояніи 300 мм. отъ оси, расположены вертикальныя связи, состоящія изъ креста діагоналей и рас-Каждая распорка состоитъ изъ двухъ уголковъ, приклепанныхъ къ фер-помощью узловыхъ накладокъ. На верхнія распорки наклепанъ по всей ширинѣ горизонтальный листъ, толщиной 16 мм. и шириною 800 мм., передающій сольной фермѣ: 1) давленіе вѣтра, дѣйствующаго какъ на верхнія, такъ и на ниж-связи берегового пролета, и 2) горизонтальныя силы, направленныя вдоль моста.



III примѣръ (фиг. 262). Листовой шарниръ въ мѣстѣ прикрѣпленія двутавровой балочки къ консоли сквозной продольной балки проѣзжей части. Вертикаль-

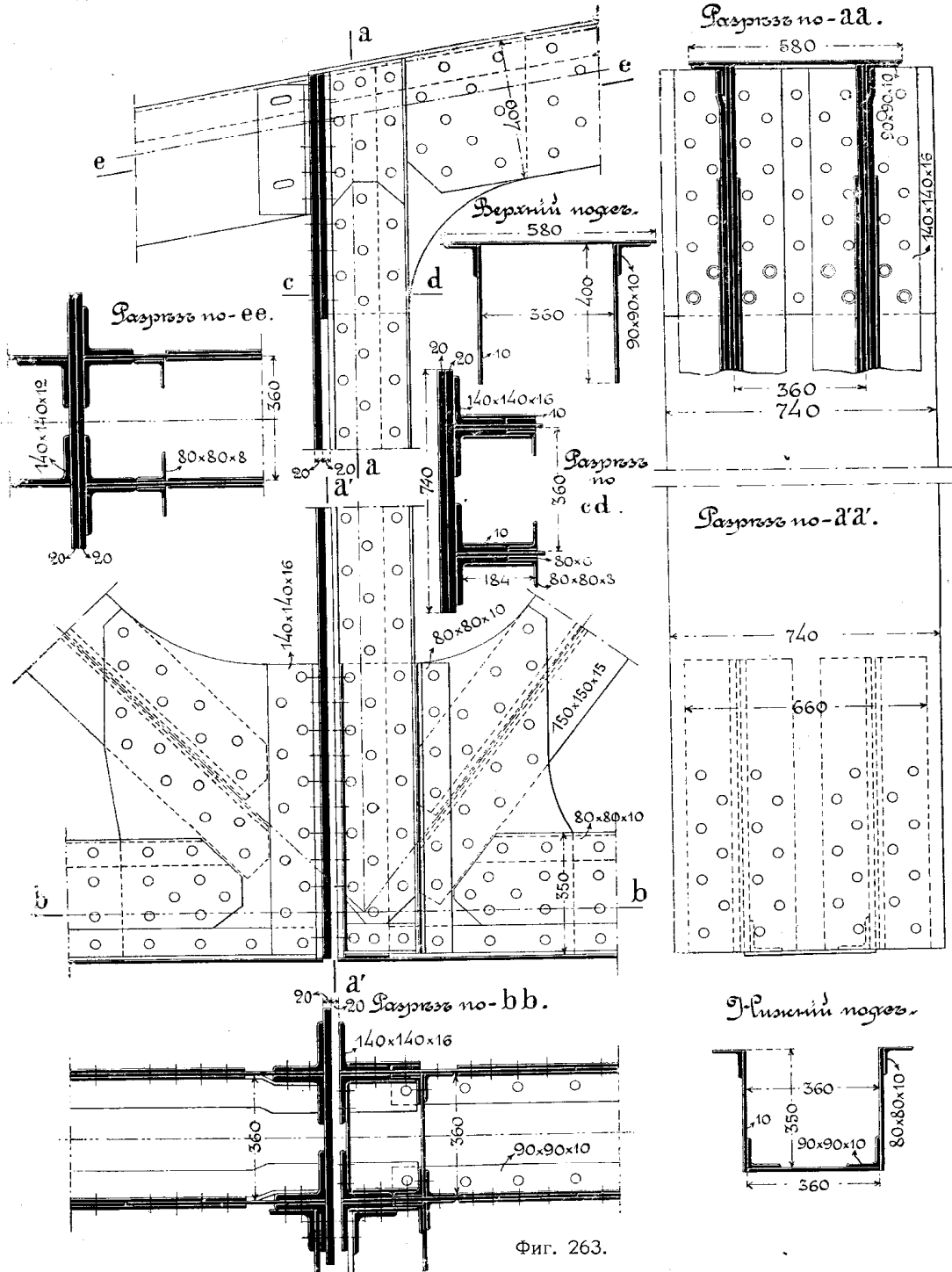
§) Болѣе подробные чертежи находятся въ статьѣ: Патонъ. Листовые шарниры. Журналъ Мин. Пут. Сооб. 1899. Книга 5. Листъ VIII.

ный листъ 190.10 мм. огибаетъ наверху закругленный конецъ консоли панъ къ нему. Внизу вертикальный листъ приклепанъ помощью двухъ 60.60.10 мм. къ торцу двутавровой подвѣсной балки со скошеннымъ концомъ. Снабженіе шарнира особымъ горизонтальнымъ листомъ изли какъ проѣзжая часть имѣетъ сплошной настилъ изъ плоскаго желѣза 8 мм., усиленнаго зетовыми ребрами для жесткости.

IV примѣръ (фиг. 263). Трехпролетныя консольныя фермы желѣзнодорожнаго моста съ ѣздою по низу проектированы по типу фиг. 911 I тома, при длинѣ пролета въ 90 м. и обоихъ береговыхъ пролетовъ по 50 м. Въ пролетѣ помѣщаются двѣ консоли, длиною по 30 м., поддерживающія листовыхъ шарнировъ подвѣсную часть, пролетомъ 30 м. Опоры фермъ на быкахъ устроены неподвижными, такъ что одинъ шарниръ фермы долженъ быть подвижнымъ, а другой—неподвижнымъ. Въ каждомъ шарнирѣ консольная ферма заканчивается вертикальною стойкою трубчатого составленною изъ 2-хъ листовъ 220.10 мм., 4-хъ уголковъ 140.140.16 мм., уголковъ 80.80.8 мм. и 3-хъ прокладокъ 80.6 мм. Наверху и внизу единена съ коробчатыми поясами консольной фермы помощью узловыхъ Подвѣсная ферма заканчивается острымъ опорнымъ узломъ, образованнымъ дѣющимъ опорнымъ раскосомъ и коробчатымъ нижнимъ поясомъ. Верхній въ первой панели подвѣсной фермы не работаетъ и имѣетъ подвижное съ консольною фермою. Нижній конецъ подвѣсной фермы подвѣшенъ къ верхнему концу консольной фермы помощью вертикальнаго листа 740.20 мм., вызывающаго растягивающее напряженіе $n_1 = 591$ к/см.², при опорномъ давленіи 73 тон. Для образованія зазора между концомъ консоли и вертикальнымъ листомъ его верхній конецъ приклепанъ къ стойкѣ консоли при посредствѣ прокладокъ толщиной 20 мм., которая приклепана къ стойкѣ 8-ю добавочными заклепками показанными въ разрѣзѣ по *а а* двойными кружками, и не проходящими черезъ вертикальный листъ, имѣя подъ нимъ потайныя головки. Эти заклепки необходимы чтобы удержать отъ изгиба остальные 28 заклепокъ, прикрѣпляющія къ верхнему концу вертикальнаго листа: въ нижнемъ концѣ листа поставлено 28 заклепокъ. Вышеуказанный зазоръ между вертикальнымъ листомъ шарнира и стойкою консоли необходимъ на случай изгиба вертикальнаго листа, вызваннаго 1) перемѣщеніемъ концовъ фермъ отъ дѣйствія теплоты и 2) прогибомъ консольной и подвѣсной фермъ отъ дѣйствія вертикальной нагрузки. Уголъ перегиба отъ названныхъ причинъ составляетъ около 54', такъ что по формулѣ 55 напряженіе листа отъ изгиба $n_2 = 139$ к/см.² Полное напряженіе вертикальнаго листа $n = n_1 + n_2 = 591 + 139 = 730$ к/см.². Продольныя связи между фермами прерываются въ шарнирѣ и рассчитываются какъ консольная система. Для устранения бокового качанія послѣдней, устроена вѣтровая опора по типу фиг. IV тома, помѣщенная по серединѣ поперечной балки, куда сведены діагонали балки и связей. Въ одномъ шарнирѣ эта опора устроена неподвижною, а въ другомъ шарнирѣ—подвижною вдоль моста.

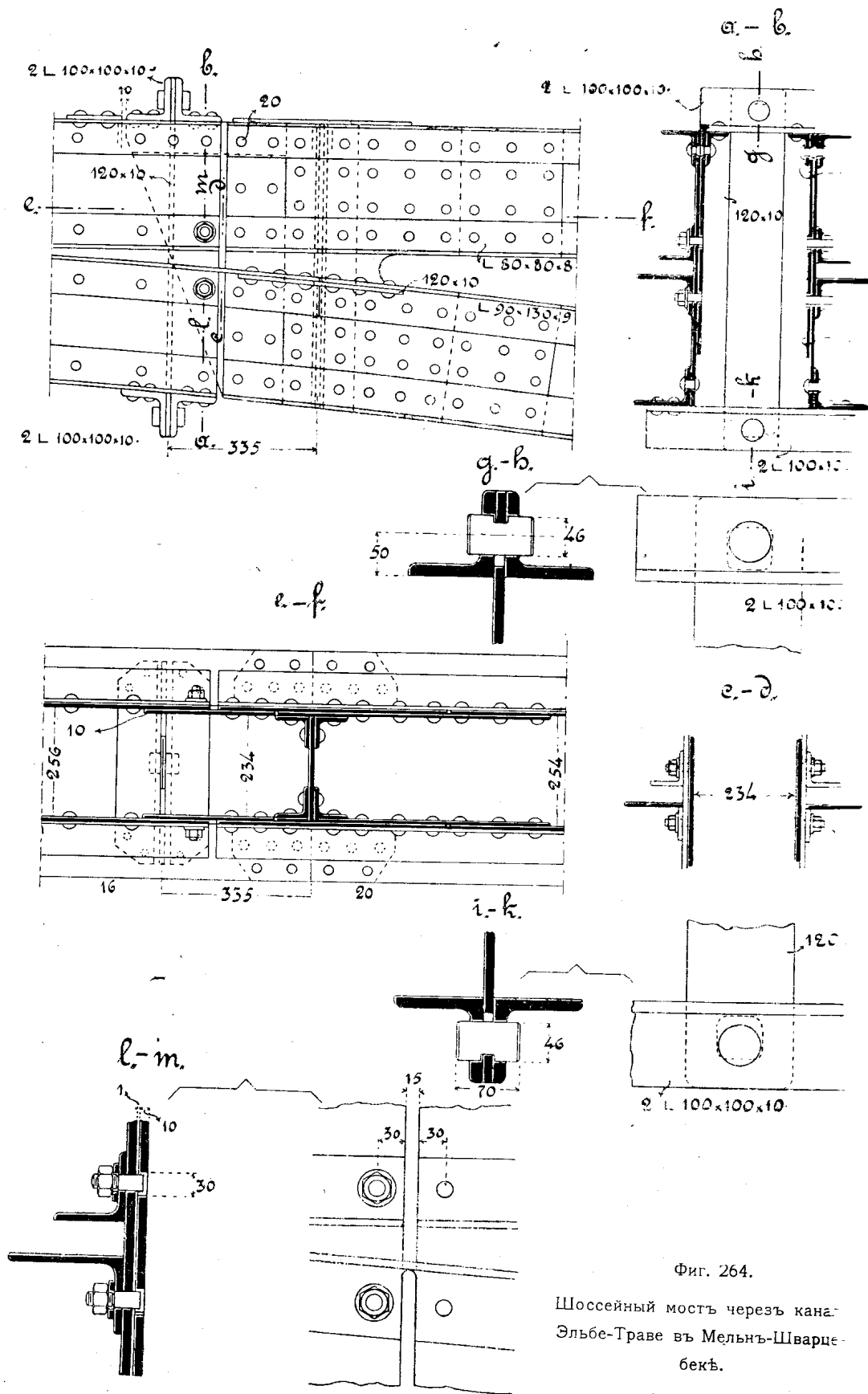
V примѣръ (фиг. 264). Съ лѣвой стороны фасада изображена подвѣсная ферма а съ другой—консольная ферма. Къ концу стѣнокъ консольной фермы приклепаны два кронштейна, состоящіе каждый изъ треугольнаго вертикальнаго листа, толщиной 10 мм., и горизонтальнаго уголка 50.75.9 мм. Кронштейны пропущены

коробки подвѣсной балки и поддерживаютъ два поперечныхъ уголка 100.10 мм., между которыми зажать и прикрѣплень помощью цилиндрической діам. 46 мм. верхній конецъ вертикальнаго листа, сѣченіемъ 120.10 мм.



Фиг. 263.

Нижній конецъ листа закрѣплень такимъ же способомъ (разрѣзъ по *i k*) между двумя уголками, приклепанными къ нижнему концу подвѣсной фермы. Между торцами вертикальныхъ стѣнокъ подвѣсной и консольной фермъ оставлень небольшой зазоръ. Тамъ же перерѣзаны у каждой стѣнки одинъ нижній и два верхнихъ

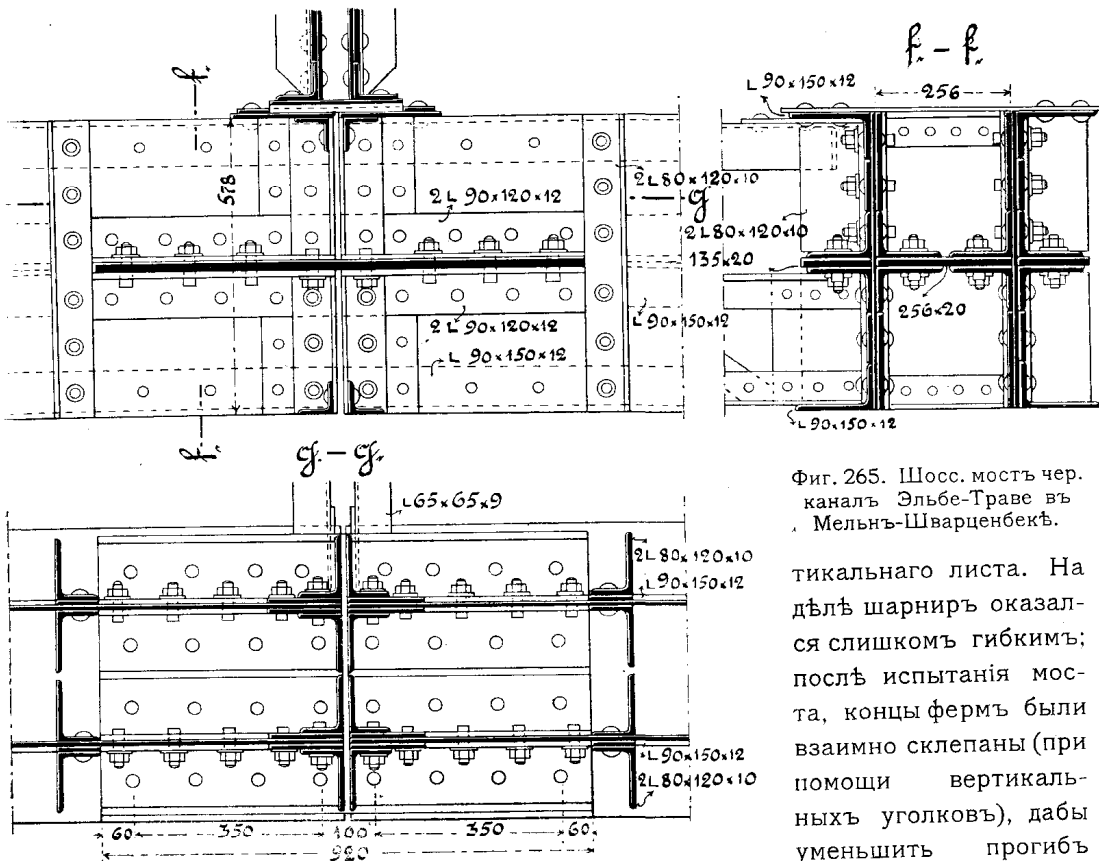


Фиг. 264.

Шоссейный мост через канал
 Эльбе-Траве в Мельнь-Шварце-
 бекъ.

оясныхъ уголка. Во второмъ уголкѣ снизу перерѣзана только вертикальная полка разрѣзъ по $c d$), а горизонтальная полка, шириною 130 мм., служитъ горизонтальнымъ листомъ шарнира. Между треугольными кронштейнами и подвѣсною фермою строено подвижное соединеніе, помощью двухъ болтовъ съ каждой стороны разрѣзъ по $a b$ и по $l m$). Взамѣнъ головки, болты имѣютъ коническій стержень, лотно пригнанный въ отверстіе уголковъ и вертикальныхъ листовъ подвѣсной фермы, между тѣмъ какъ въ треугольныхъ концахъ накладокъ консольной фермы дѣланы отверстія большаго діаметра (30 мм.), чѣмъ стержень болта (разрѣзъ по $l m$).

VI примѣръ (фиг. 265). Этотъ шарниръ отличается отсутствіемъ вертикальнаго листа; имѣется только горизонтальный листъ. Шарниръ расположенъ въ лучѣ консольно-арочной фермы. Горизонтальный листъ помѣщенъ по серединѣ фермы и составленъ изъ трехъ частей; средняя— шириною 256 мм., расположена между стѣнками фермы, а двѣ остальные, шириною по 135 мм.,— сна- Толщина всѣхъ трехъ листовъ по 20 мм. Они зажаты между горизонталь- уголками 120.90.12 мм., которые соединены со стѣнками фермы и съ го- зонтальными листами шарнира помощью коническихъ болтовъ. Свободная длина горизонтальнаго листа шарнира ничтожна и равна небольшому зазору между тор- фермъ; благодаря этому, удалось обойтись безъ устройства въ шарнирѣ вер-



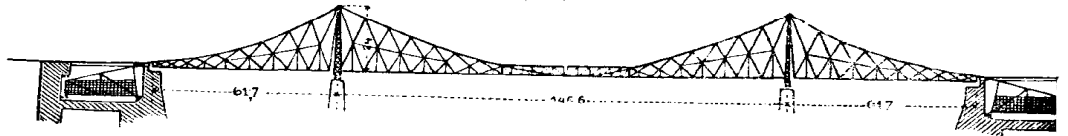
Фиг. 265. Шосс. мостъ чер. каналъ Эльбе-Траве въ Мельнъ-Шварценбекѣ.

тикальнаго листа. На дѣлѣ шарниръ оказал- ся слишкомъ гибкимъ; послѣ испытанія моста, концы фермъ были взаимно склепаны (при помощи вертикальныхъ уголковъ), дабы уменьшить прогибъ

фермъ отъ временной нагрузки.

VII примѣръ (фиг. 266). Своими крупными размѣрами отличается листовой шарниръ висячаго моста черезъ Эльбу въ Лошвицѣ (фиг. 266), исполненный по проекту инж. Кепке. Висячія фермы средняго пролета имѣютъ три шарнира и под-

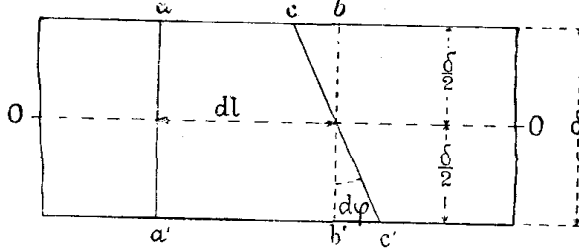
держиваются на быкахъ желѣзными пилонами, высотой 24 м., качающимися своего нижняго конца. Фермы береговыхъ пролетовъ покоятся однимъ на устоѣ, а другимъ концомъ онѣ подвѣшены къ верхнему концу пилоновъ листового шарнира, вертикальный листъ котораго склепанъ изъ трехъ. Другой листовой шарниръ устроенъ по серединѣ моста, для чего пришлито высоту фермъ въ этомъ мѣстѣ.



Фиг. 266. Шоссейный мостъ чер. Эльбу въ Лошвицѣ около Дрездена.

Разсчетъ листовыхъ шарнировъ. Листы шарнира разсчитываются 1) на растяженіе, и 2) на изгибъ. Изгибъ листа можетъ происходить въ его или изъ плоскости листа. Напряженія отъ растяженія, сжатія и изгиба его плоскости разсчитываются по обыкновеннымъ формуламъ строительной механики. При разсчетѣ напряженія отъ изгиба листа изъ его плоскости, исходить изъ деформации, т. е. угла, на который перегинулся листъ.

Разсчетъ листа на изгибъ изъ его плоскости. Для разсчета напряженія n листа отъ изгиба, необходимо опредѣлить уголъ φ перегиба листа, заключенный между изогнутыми осями консоли и подвѣсной части.



Фиг. 267.

угла φ напряженіе n листа зависитъ отъ толщины δ листа и отъ его длины l . Разсмотримъ элементъ длиной dl (фиг. 267), задѣланный концами aa' . Послѣ изгиба элемента dl онъ займетъ положение cc' , крайнее верхнее волокно укоротитъ на Δdl , нижнее волокно удлинится на

то же. На основаніи пропорциональности между деформациею и напряженіемъ получимъ относительное удлиненіе крайняго нижняго волокна:

$$i = \frac{\Delta dl}{dl} = \frac{n}{E}, \text{ гдѣ } E \text{ — коэффициентъ упругости.}$$

$$d\varphi = \text{tg}(d\varphi) = \frac{\Delta dl}{0,5 \cdot \delta}, \text{ такъ что } \Delta dl = 0,5 \cdot \delta \cdot d\varphi.$$

Подставляя въ предыдущее уравненіе, получаемъ

$$\frac{\Delta dl}{dl} = \frac{n}{E} = \frac{\delta \cdot d\varphi}{2 \cdot dl}. \text{ Переходя къ предѣлу и приравнивая } d\varphi \text{ углу } \varphi \text{ листа, а } dl \text{ свободной длинѣ } l \text{ листа, получимъ}$$

$$\frac{n}{E} = \frac{\delta \cdot \varphi}{2 \cdot l} \text{ откуда } l = \frac{\delta \cdot \varphi \cdot E}{2 \cdot n}.$$

Выражая уголъ φ длиною дуги круга радиуса $= 1$, т. е. предполагая 1 угла $\varphi = \frac{2 \cdot \pi}{360 \cdot 60} = 0,00029$, получимъ

^{*)} Детальный чертежъ этого шарнира помѣщенъ въ Handb. d. Ing. Wiss. Eiserne Bog Hängebrücken 1906. Taf. VI.

$$l = 0,000145 \cdot \varphi' \cdot \frac{E}{n} \cdot \delta, \text{ откуда искомое}$$

$$\text{напряженіе листа: } n = 0,000145 \cdot \frac{\varphi' \cdot \delta \cdot E}{l} \dots \dots \dots (55)$$

φ' обозначаетъ уголъ въ минутахъ. Зная свободную длину l , толщину δ и φ' изгиба листа, можно рассчитать его напряженіе n отъ изгиба по формулѣ 55.

Свободная длина l зависитъ не только отъ разстоянія между мѣстами рѣпленія листа, но также отъ характера изгиба листа. При простомъ изгибѣ листа, длина l равна полному разстоянію между мѣстами закрѣпленія листа; при двойномъ изгибѣ листа (съ нулевой точкою), длину l можно приравнять половинѣ указаннаго разстоянія. Изъ формулы 55 видно, что напряженіе получается тѣмъ меньше, чѣмъ больше свободная длина листа; поэтому простомъ изгибѣ листа его напряженіе будетъ всегда меньше, чѣмъ при двойномъ изгибѣ (см. фиг. 256 до 258).

Толщина δ листа. Листы шарнира исполняются по возможности одинаковыми, толщиной δ до 20 мм.; при недостаточности одного листа, ставятъ два болѣе листовъ. По мнѣнію нѣкоторыхъ инженеровъ составные листы безопаснѣе какъ при разрывѣ одного изъ листовъ (въ случаѣ недоброкачества его матеріала), не произойдетъ крушенія, а будутъ работать остальные листы, хотя бы съ меньшимъ запасомъ прочности.

Примѣръ расчета листового шарнира. Разсмотримъ листовый шарниръ, описанный въ I примѣрѣ на стр. 177 (фиг. 260) и принадлежащій трехпролетному путепроводу со сплошными фермами (фиг. 259).

Наибольшія вертикальныя опорныя реакціи (считая на 2 фермы):

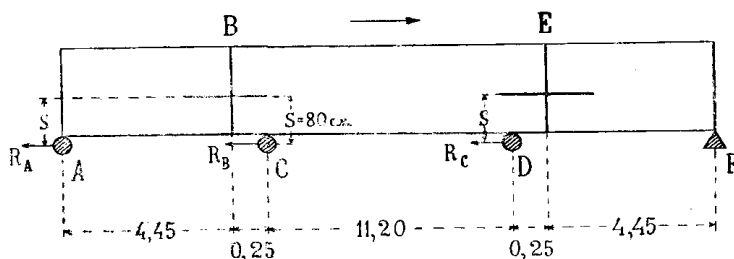
для подвѣсныхъ фермъ: $A = F = 37\ 000$ к.

для консольныхъ фермъ: $C = D = 82\ 000$ к.

Расчетъ горизонтальнаго листа сѣченіемъ 68.1,5 см. и длиною 270 см. Горизонтальный листъ испытываетъ напряженія 1) вслѣдствіе измѣненія температуры воздуха, 2) отъ дѣйствія вертикальной нагрузки и 3) отъ горизонтальнаго давленія вѣтра.

1) Вліяніе теплоты. При измѣненіи температуры воздуха, трехпролетная ферма имѣетъ стремленіе удлиниться или укоротиться, перемѣщаясь при этомъ по подвижнымъ опорамъ.

Горизонтальное сопротивленіе, оказываемое при этомъ подвижными опорами, передается горизонтальному листу шарнира, вызывая въ немъ растяженіе или сжатіе. Листъ E , расположенный со стороны неподвижной опоры F (фиг. 268), находится въ болѣе невыгодныхъ условіяхъ, чѣмъ листъ B , такъ какъ ему передаются одновременно горизонтальныя сопротивленія R трехъ подвижныхъ опоръ A, C, D . Принимая для скользящей опоры A коэффициентъ тренія $f = 0,30$, получимъ $R_A = 0,30 \cdot 37\ 000 = 11100$ к. Горизонтальное сопротивленіе R_C пары качающихся колонъ D можно рассчитать по формулѣ 54 на стр. 136, подставляя $f = 0,30$; $r = 12,5$ см.; $l = 400$ см.; $D = 82000$ к.;



Фиг. 268.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta}{l} = \frac{\alpha \cdot 40^\circ (11,2 + 0,25 + 4,45)}{400} = 0,00172, \text{ такъ что } \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} =$$

$$\text{Слѣдовательно } R_c = 2 \left(\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} + \frac{2f \cdot r}{l} \right) \cdot D = 2 \left(0,00086 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 12,5}{400} \right) \\ R_c = 0,039 \cdot 82000 = 3198 \text{ к.}$$

Колонны C оказываютъ немного меньшее горизонтальное сопротивление чѣмъ колонны D . Принимая его одинаковымъ для тѣхъ и другихъ колоннъ, получимъ сумму горизонтальныхъ сопротивленийъ опоръ A , C и D :

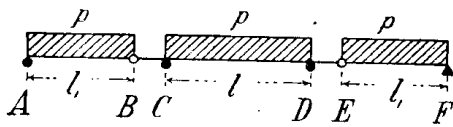
$\Sigma R = 11100 + 2 \cdot 3198 = 17496$ к. (считая на обѣ фермы). Если горизонтальная сила ΣR приложена не въ плоскости горизонтальнаго листа, получается моментъ $s \cdot \Sigma R = 80 \cdot 17496 = 1\,399\,680$ к. см., вызывающій неравныя напряжения въ вертикальныхъ листахъ шарнира.

Горизонтальный листъ, при рабочей площади $\omega = 1,5 (270 - 24 \cdot 2) = 318,6$ см.², испытываетъ отъ продольной силы ΣR сжимающее или растягивающее напряжение

$$n_1 = \frac{\Sigma R}{\omega} = \frac{17496}{318,6} = \pm 55 \text{ к/см.}^2$$

2) Вліяніе вертикальной нагрузки. При деформаціяхъ фермы, вызванныхъ вертикальною нагрузкою, горизонтальный листъ шарнира изгибается. Опредѣлимъ наибольшій уголъ перегиба шарнира. Наибольшій изгибъ горизонтальнаго листа получится при одновременномъ загрузеніи всей фермы, за исключениемъ консолей CB и DE (фиг. 269); при этомъ предполагается, что

горизонтальный листъ приклепанъ съ такимъ усилиемъ, чтобы его прогибъ отъ постоянной нагрузки моста равнялся нулю. Консольная ферма пролетомъ 1120 см., рассматривается какъ пролетная балка, находящаяся подъ дѣйствиемъ



Фиг. 269.

1) двухъ опорныхъ моментовъ $M_C = M_D = \frac{1}{2} \cdot 37000 \cdot 25 = 462500$ к. см. и 2) сплошной равномерной нагрузки $k = 50$ к. на п. см. фермы на протяжении пролета CD .

Уголъ наклоненія упругой линіи балки CD на опорѣ D :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{k \cdot l^3 \cdot 1)}{24 \cdot E \cdot J} - \frac{l(2M_C - M_D)}{6 \cdot E \cdot J},$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{6 \cdot E \cdot J} \left(\frac{k \cdot l^2}{4} - 2M_C + M_D \right)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1120}{6 \cdot 2150000 \cdot 899000} \left(\frac{50 \cdot 1120^2}{4} - 462500 \right)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,00147 \text{ или } \alpha = 5' 3''.$$

Согласно фиг. 270: $a = BC \cdot \operatorname{tg} \alpha = 25 \cdot 0,00147 = 0,037$ см.

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{a}{AB} = \frac{0,037}{445} = 0,000083 \text{ или } \beta = 17''.$$

Изъ $\Delta CAB'$ слѣдуетъ: $\gamma = \alpha + \beta = 5' 3'' + 17'' = 5' 20''$. Уголъ γ опредѣленный въ предположеніи, что балка AB остается прямою, слѣдуетъ считать на уголъ ϵ наклоненія упругой линіи AB' , причемъ пренебрегается гибомъ балки CD вверхъ, вызваннымъ нагрузкою подвѣсной балки AB .

1) См. стр. 3.

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{k \cdot l_1^3}{24 \cdot E \cdot J_1} = \frac{50.445^3}{24 \cdot 2150000 \cdot 356500} = 0,00024 \text{ или } \varepsilon = 50'.$$

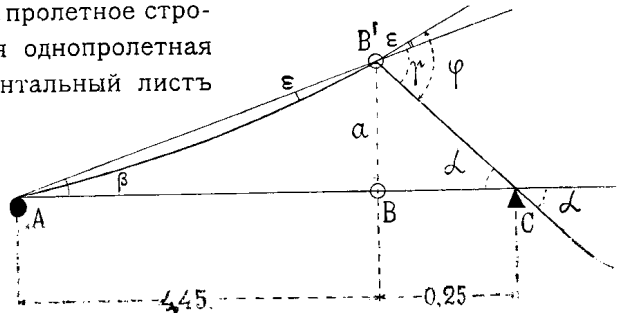
Итакъ уголъ перегиба шарнира B :

$$\varphi = \gamma + \varepsilon = 5'20'' + 50'' = 6'10'' = 6,2'.$$

Изъ угла $\varphi = 6,2'$, свободной длины горизонтального листа $l = 41$ см., толщины его $\delta = 1,5$ см. определяемъ по формулѣ 55 на стр. 185 напряженіе оризонт. листа отъ изгиба:

$$n_2 = 0,000145 \frac{\varphi' \cdot \delta \cdot E}{l} = 0,000145 \frac{6,2 \cdot 1,5 \cdot 2150000}{41} = \pm 71 \text{ к./см.}^2.$$

3) Вліяніе горизонтальной нагрузки. Напряженія горизонтальнаго листа отъ давленія вѣтра зависятъ отъ того, устроены ли поперечныя связи для взаимнаго соединенія колоннъ промежуточныхъ опоръ. Если не устроено поперечныхъ связей между колоннами, то горизонтальная нагрузка передается только остоямъ моста и при дѣйствіи вѣтра пролетное строеніе работаетъ какъ горизонтальная однопролетная балка во всю длину моста. Горизонтальный листъ шарнира работаетъ на изгибъ въ горизонтальной плоскости и напряженіе значительно больше, чѣмъ въ случаѣ устройства поперечныхъ связей между колоннами. Хотя въ разсматриваемомъ примѣрѣ имѣются поперечныя связи между колоннами (фиг. 259); но будемъ считать, что ихъ нѣтъ.



Фиг. 270.

При расположеніи поѣзда на мосту, давленіе вѣтра вызываетъ въ шарнирѣ горизонтальные изгибающій моментъ $M = 1\ 652\ 941$ к. см. и поперечную силу $Q = 2560$ к. При моментѣ инерціи горизонтальнаго листа поперекъ моста

$$J = \frac{1}{12} \cdot 1,5 \cdot 270^3 = 2\ 460\ 375 \text{ см.}^4$$

наибольшее нормальное напряженіе:

$$n_3 = \frac{M \cdot e}{J} = \frac{1\ 652\ 941 \cdot 135}{2\ 460\ 375} = \pm 91 \text{ к./см.}^2$$

и наибольшее касательное напряженіе:

$$t = \frac{Q \cdot S}{J \cdot \delta} = \frac{2560 \cdot 135^2 \cdot 1,5}{2460375 \cdot 1,5 \cdot 2} = 10 \text{ к./см.}^2.$$

4) Полное нормальное напряженіе горизонтальнаго листа отъ совмѣстнаго дѣйствія теплоты, вертикальной и горизонтальной нагрузки, въ случаѣ отсутствія поперечныхъ связей между колоннами:

$$n = n_1 + n_2 + n_3 = \pm 55 \pm 71 \pm 91 = \pm 217 \text{ к./см.}^2.$$

Разсчетъ вертикальнаго листа сѣченіемъ 36.2 см. Вертикальный листъ испытываетъ напряженія: а) отъ дѣйствія вертикальной нагрузки, б) вслѣдствіе прогиба фермъ и с) отъ дѣйствія теплоты.

а) Вліяніе вертикальной нагрузки. Наибольшее растягивающее напряженіе вертикальнаго листа шарнира отъ вертикальнаго давленія одной подвѣсной фермы, равнаго $\frac{1}{2} \cdot 37000$ к.:

$$n_a = \frac{37000}{2(36 - 2.2,6)} = + 601 \text{ к./см.}^2.$$

б) Вліяніе прогиба фермъ. Вслѣдствіе деформации фермъ отъ поѣздомъ, вертикальные листы изгибаются на тотъ же уголъ $\varphi' = 6,2'$. горизонтальный листъ. При свободной длинѣ вертикальнаго листа $l =$ и его толщинѣ $\delta = 2$ см., напряженіе отъ изгиба, разсчитанное по формуле на стр. 185, будетъ

$$n_b = \pm 0,000145 \frac{\varphi' \cdot \delta \cdot E}{l} = \pm 0,000145 \frac{6,2 \cdot 2 \cdot 2150000}{38,8} = \pm 100 \text{ к./см.}^2.$$

с) Вліяніе теплоты. Въ пунктѣ 1) разчета горизонтальнаго листомъ шарнира и неподвижною опорю F , при измѣненіи температуры t вызывается изгибающій моментъ $s \cdot \Sigma R = 1399680$ к. см., вращающій въ другую сторону, смотря по смыслу измѣненія температуры. Вслѣдствіе этого момента обоимъ вертикальнымъ листамъ шарнира E , отстоящаго на l_1 отъ F , передается растягивающая или сжимающая вертикальная сила

$$V = \pm \frac{s \cdot \Sigma R}{l_1} = \pm \frac{1399680}{445} = \pm 3145 \text{ к.,}$$

а на каждый листъ $\frac{1}{2} \cdot 3145 = 1572$ к.

Растягивающее или сжимающее напряженіе вертикальнаго листа:

$$n_c = \pm \frac{1572}{36 - 2.2,6} = \pm 51 \text{ к./см.}^2.$$

д) Полныя предѣльные напряженія вертикальнаго листа отъ суммарнаго дѣйствія вертикальной нагрузки, деформации фермъ и теплоты:

$$n' = + n_a + n_b + n_c = + 601 + 100 + 51 = + 752 \text{ к./см.}^2.$$

$$n'' = + n_a - n_b - n_c = + 601 - 100 - 51 = + 450 \text{ к./см.}^2.$$

Предѣльные напряженія n' и n'' имѣютъ всегда положительный знакъ.

е) Разсчетъ заклепокъ. Для прикрѣпленія каждого конца вертикальнаго листа принято 12 односрѣзныхъ заклепокъ, діаметромъ 26 мм. Наибольшее срѣзывающее напряженіе въ нихъ.

$$t = \frac{18500 + 1572}{12 \cdot \frac{\pi \cdot 2,6^2}{4}} = 315 \text{ к./см.}^2.$$

