

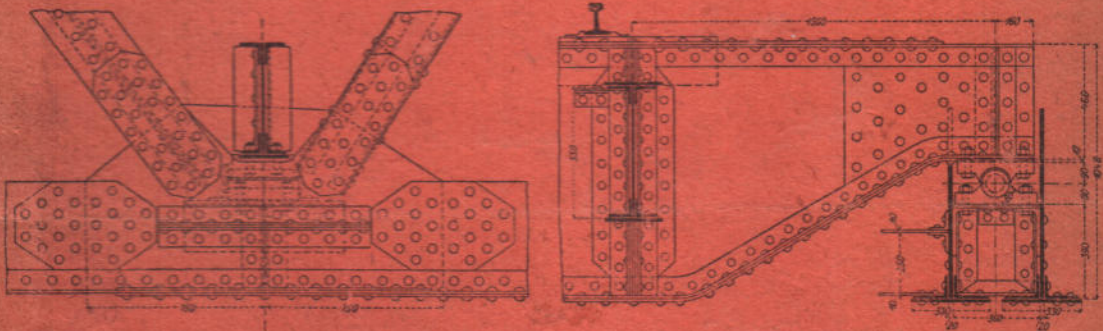
624.2
П-20

Е. О. ПАТОНЪ

ПРОФЕССОРЪ КІЕВСКАГО ПОЛИТЕХНИЧ. ИНСТИТУТА.

ЖЕЛѢЗНЫЕ МОСТЫ.

III ТОМЪ.



ПРОѢЗЖАЯ ЧАСТЬ и ТРОТУАРЫ.

1797

Часть 3

II ВЫПУСКЪ III ТОМА.



КІЕВЪ.

Лито-типографія Т-ва И. Н. Кушнеревъ и Ко.
Кіевское Отдѣленіе.

1908.

1727

EISERNE BRÜCKEN.

III BAND.

FAHRBAHN UND FUSSWEGE

der eisernen Brücken.

VON

E. O. PATTON

Professor an der Polytechnischen Hochschule in Kiew.

1908.



Inhalt der übrigen Bände.

- I Band. Eiserne Balkenträger. 1903.
- II Band. Lager der Balkenträger und Gelenke der Konsolträger. 1904.
- IV Band. Querverband der eisernen Brücken. 1907.

Считаю пріятнымъ долгомъ выразить глубокую благодарность инженеру А. И. Толчину за провѣрку всѣхъ вычисленій и за корректуру, а инженеру К. К. Симинскому за исполненіе части чертежей въ первой половинѣ книги.



СОДЕРЖАНІЕ.

Вступленіе и общія соображенія.

стр.

§ 1.	Поперечная и продольная профиль мостового полотна и въѣздовъ (2). Мосты желѣзнодорожные и подь обыкновенную дорогу (4)	2
§ 2.	Положеніе мостового полотна (4). а) Возвышеніе низа фермъ путепроводовъ надь нижележащею дорогою (4). б) Возвышеніе низа фермъ надь наивысшимъ горизонтомъ воды въ рѣкѣ (5). в) Строительная высота (6)	4
§ 3.	Устойчивость пролетнаго строения (8). Коэффициентъ устойчивости (10). Разсчетъ устойчивости (10). Устойчивость мостовъ съ ѣздою по верху (13). Мѣры къ повышенію устойчивости (15)	8
§ 4.	Основные размѣры поперечнаго сѣченія желѣзныхъ мостовъ (15). Высота проѣзда въ закрытыхъ мостахъ (16). 1) Ширина желѣзнодорожныхъ мостовъ (16). Увеличеніе ширины при расположеніи моста на кривой (17). 2) Ширина мостовъ подь обыкновенную дорогу (20). Расстояніе между фермами мостовъ желѣзнодорожныхъ и подь обыкновенную дорогу (22)	15

I Глава. Одежда полотна мостовъ подь обыкновенную дорогу.

§ 5.	Досчатый настиль (27). Верхній настиль (27). Нижній настиль (29). Примѣры устройства досчатого настила (31). Разсчетъ досчатого настила (33)	27
§ 6.	Деревянная или торцовая мостовая (34). Матеріаль (35). Укладка шашекъ (36). Основаніе мостовой (37). Стоимость и вѣсъ мостовой (38). Мѣры противъ выпучиванія мостовой (38). Подвижные тротуарные бордюры	34
§ 7.	Каменная мостовая (41). Размѣры, устройство и вѣсъ мостовой (41). Мостовая изъ искусственныхъ камней (42)	41
§ 8.	Щебеночная мостовая (42). Качество щебня (42). Толщина и вѣсъ щебеночной коры (43). Распределеніе давленія щебнемъ (43). Бетонная одежда полотна (44)	42
§ 9.	Асфальтовая мостовая (45). Матеріалы (45). Литой асфальтъ (46). Прессованный асфальтъ (46). Вѣсъ мостовой (47)	45

II Глава. Путь желѣзнодорожныхъ мостовъ.

§ 10.	Рельсы и ихъ скрѣпленія (47). Размѣры и вѣсъ рельсовъ и скрѣпленій правительственнаго типа (48). Рельсовые стыки на мостахъ (48)	47
§ 11.	Общія соображенія объ укладкѣ пути на балластѣ, на поперечинахъ или на продольныхъ лежняхъ (50). Преимущества и недостатки балластнаго слоя (50). Преимущества и недостатки подрельсовыхъ поперечинъ и продольныхъ лежней (53)	50
§ 12.	Охранныя приспособленія на случай схода колесъ съ рельсовъ (55). Предупрежденіе чрезмѣрнаго отклоненія сошедшихъ колесъ (55). Мѣры противъ провала сошедшихъ колесъ (59). Мѣры, предупреждающія сходъ колесъ съ рельсовъ (61). Приспособленія для автоматическаго вкатыванія на рельсы колесъ, сошедшихъ передъ мостомъ (61)	55
§ 13.	Деревянные подрельсовые поперечины (64). Сѣченіе поперечинъ (65). Рельсовые стыки (67). Длина поперечинъ (68). Прикрѣпленіе поперечинъ къ балкамъ (69). Мѣры противъ угона и поднятія поперечинъ (71). Разсчетъ поперечинъ (75). Формулы для расчета по теоріи нераэрѣзныхъ балокъ на упругихъ опорахъ (78). Примѣръ расчета поперечины (81)	64
§ 14.	Желѣзные подрельсовые поперечины (82). Сравненіе деревянныхъ и желѣзныхъ поперечинъ (82). Профили поперечинъ (86). Прикрѣпленіе рельсовъ къ поперечинамъ (86). Укладка поперечинъ на балкахъ (87). Прикрѣпленіе поперечинъ къ балкамъ (88). Разсчетъ желѣзныхъ поперечинъ (94)	82
§ 15.	Подрельсовые продольные лежни (94). Сѣченіе, укладка, прикрѣпленіе и расчетъ деревянныхъ лежней (95). Укладка рельсовъ непосредственно на желѣзныхъ балкахъ (96)	94
§ 16.	Верхній настиль желѣзнодорожныхъ мостовъ (97). А) Досчатый настиль (97). В) Желѣзный настиль (101). С) Приспособленіе полотна желѣзнодорожныхъ мостовъ для ѣзды экипажей (102)	97
§ 17.	Покрытія проѣзжей части путепроводовъ для отвода воды и для заглушенія шума	102
§ 18.	Путь мостовъ, расположенныхъ на кривой и на уклонѣ	105

III Глава. Нижний настил полотна железнодорожных мостовъ съ балластнымъ слоємъ и мостовъ подь обыкновенную дорогу.	
§ 19.	Деревянный нижний настил 106
§ 20.	Каменный настил (109). А. Каменные плиты (109). В. Кирпичные своды (112). Расчетъ сводовъ (113) 109
§ 21.	Бетонный и желѣзо-бетонный настил (115). Общія соображенія (115). Составъ бетона (117). Плоскія желѣзо-бетонныя конструкціи (118). Сводчатыя желѣзо-бетонныя конструкціи (127). Расчетъ желѣзо-бетоннаго настила (130) 115
§ 22.	Бетоны для покрытія нижняго настила (138). Цементный и асфальтовый бетонъ (139). Вѣсъ разныхъ бетоновъ, тяжелыхъ и легкихъ (140). Покрытіе бетона водонепроницаемымъ слоємъ 138
§ 23.	Настилъ изъ чугунныхъ плитъ 144
§ 24.	Настилъ изъ цилиндрическаго желѣза (144). Сводчатый и висячій настилъ. Примѣры (146). Расчетъ цилиндрическаго настила (147) 144
§ 25.	Настилъ изъ лотковаго желѣза (155). Размѣры лотковъ (155). Объемъ выпуклости лотка (157). Поверхность и вѣсъ лотка (157). Укладка и прикрѣпленіе лотковъ (159). Отводъ воды (159). Предохраненіе лотковъ отъ ржавчины (160). Уплотненіе швовъ между лотками. Примѣры. Расчетъ лотковаго желѣза (166) 155
§ 26.	Настилъ изъ плоскаго листового желѣза (174). Баварскій и Прусскій типы железнодорожныхъ мостовъ съ плоскимъ настиломъ. Расчетъ плоскаго настила (180). Сравненіе лотковаго, цилиндрическаго и плоскаго настила 174
§ 27.	Настилъ изъ волнистаго желѣза (183). Сѣченія и размѣры волнистаго желѣза. Расчетъ волнистаго желѣза (187). Примѣръ 183
§ 28.	Настилъ изъ желѣза Зоре и Вотерена (189). Общія соображенія. Сортаментъ желѣза Зоре и Вотерена. Укладка. Вѣсъ щебеночной мостовой на настилѣ изъ Зоре. Примѣры. Расчетъ желѣза Зоре и Вотерена въ мостахъ подь обыкновенную и желѣзную дорогу (197). Примѣры 189
§ 29.	Клепаный волнистый настилъ (201). Преимущества и недостатки. Сравненіе разныхъ сѣченій волнъ. Трапецеобразный настилъ. Треугольный настилъ. Полукруглый настилъ. Прямоугольный волнистый настилъ (205). Примѣры. Способъ прикрѣпленія. Укладка жел.-дор. пути на настилѣ (213). Деформація фермъ влѣдствіе прогиба настила. Расчетъ клепанаго волнистаго настила (217). Примѣръ 201
IV Глава. Сопряженіе проѣзжей части на устояхъ и на быкахъ.	
§ 30.	Уравнильные приборы для рельсовъ (225). 1) Приборы со вставкою. 2) Приборы съ накладкою-мостикомъ. 3) Приборы съ острикомъ 225
§ 31.	Сопряженія железнодорожныхъ мостовъ на устояхъ (232). А) Жел.-дор. мосты безъ балластнаго слоя (232). В) Жел.-дор. мосты съ балластнымъ слоємъ (234). С) Осадка пути на устояхъ, вызванная измѣненіемъ температуры (235) 232
§ 32.	Сопряженія мостовъ подь обыкновенную дорогу съ устоями (236). А) Сопряженія безъ перерыва одежды полотна (236). В) Сопряженія со сквознымъ прямымъ зазоромъ (238). С) Сопряженія при помощи уравнильныхъ приборовъ (238) 236
§ 33.	Сопряженія полотна двухъ смежныхъ пролетовъ на быкахъ 242
V Глава. Тротуары и перила.	
§ 34.	Общія соображенія о тротуарахъ. Тротуары мостовъ железнодорожныхъ и подь обыкновенную дорогу (246). Тротуары на кронштейнахъ (247). Ширина тротуаровъ (248). Количество тротуаровъ 246
§ 35.	Одежда тротуарнаго полотна (248). 1) Досчатый настилъ. 2) Желѣзный настилъ. 3) Асфальтовая одежда. 4) Каменные плиты 248
§ 36.	Тротуарный бордюръ и отводъ воды въ мостахъ подь обыкновенную дорогу (251). Бордюры со сквозною щелью (252). Бордюры съ лоткомъ (253). Водосточныя трубы и корбки (256) 251
§ 37.	Нижний настилъ тротуаровъ (257). 1) Настилъ изъ досокъ. 2) Настилъ изъ желѣза Зоре или Вотерена. 3) Настилъ изъ волнистаго желѣза. 4) Настилъ изъ лотковаго и цилиндрическаго желѣза. 5) Настилъ изъ плоскаго желѣза. 6) Настилъ изъ желѣзо-бетонныхъ плитъ. Вѣсъ тротуарнаго настила (259) 257
§ 38.	Тротуарныя балки (259). 1) Продольныя балочки. 2) Поперечныя балочки 259

§ 39.	Тротуарные кронштейны (261). Кронштейны со сплошной стѣжкой (262). Кронштейны безъ заполнения (263). Рѣшетчатые кронштейны (267). Примѣръ	261
§ 40.	Желѣзные перила (270). Перильные стойки, Перильные поручни. Перильное заполненіе. Вѣсъ периль (277). Образцы желѣзныхъ периль. Заборы путепроводовъ (287)	270

VI Глава. Конструкція продольныхъ балокъ.

§ 41.	Назначеніе продольныхъ балокъ, ихъ число и расположеніе относительно поперечныхъ балокъ (289). Число продольныхъ балокъ (290). Взаимное положеніе продольныхъ балокъ (290). Положеніе продольныхъ балокъ по отношенію къ поперечнымъ (291). Продольныя балки въ мостахъ на кривой (292)	289
§ 42.	Типы сѣченій продольныхъ балокъ (293). Прокатныя двутавровыя балки (293). Швеллерныя балки (295). Клепанныя продольныя балки (295). Клепанныя двутавровыя балки (295). Сваренныя продольныя балки (297). Сквозныя продольныя балки (297)	293
§ 43.	Вліяніе измѣненія длины поясовъ фермъ на балки проѣзжей части (298). Расчетъ напряженій въ поперечныхъ балкахъ однопутнаго желѣзнодорожнаго моста съ ѣздою по низу (298). Мѣры для устраненія горизонтальн. прогиба поперечныхъ балокъ (301)	298
§ 44.	Классификація продольныхъ балокъ	303
§ 45.	Прикрѣпленіе разнѣсныхъ продольныхъ балокъ (303). А. Шарнирно-подвижное прикрѣпленіе (303). В. Шарнирно-неподвижное прикрѣпленіе (308). С. Жесткое прикрѣпленіе (308). Прикрѣпленіе помощью однихъ уголковъ (309). Прикрѣпленіе помощью фасонной вставки (312). Прикрѣпленіе помощью кронштейна (314). Прикрѣпленіе помощью рыбки (314)	303
§ 46.	Неразрѣзныя продольныя балки (320). Ихъ прикрѣпленіе къ поперечнымъ (321). Укладка неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ на поперечныя (322). Прикрѣпленіе продольныхъ балокъ при ихъ частичномъ возвышеніи надъ поперечными балками (324). Прикрѣпленіе продольныхъ балокъ при расположеніи ихъ въ предѣлахъ высоты поперечныхъ балокъ (326)	320
§ 47.	Консольныя продольныя балки (328). Общее устройство (328). Шарниры консольныхъ продольныхъ балокъ (329)	328
§ 48.	Связи между продольными балками (332). Горизонтальныя связи (332). Вертикальныя связи (333). Прикрѣпленіе связей къ продольнымъ балкамъ (333)	332
§ 49.	Тормазныя связи желѣзнодорожныхъ мостовъ (337). Сила тормаженія (338). Передача силы тормаженія черезъ продольныя балки (339). Передача силы тормаженія черезъ пояса фермъ (340). Тормазныя поперечныя балки по серединѣ пролета (340). Тормазныя рамы по серединѣ пролета (341). Усиліе въ поясахъ фермъ отъ тормаженія (342). Мосты съ ѣздою по серединѣ (343). Примѣры тормазныхъ балокъ и рамъ, расположенныхъ у опоръ (343). Примѣры тормазныхъ балокъ и рамъ, расположенныхъ по серединѣ пролета (347). Расчетъ тормазныхъ связей (351)	337

VII Глава. Расчетъ продольныхъ балокъ.

§ 50.	Условія работы продольныхъ балокъ	354
§ 51.	Расчетъ M и Q для разнѣсныхъ продольныхъ балокъ (356). А. Мосты подъ желѣзную дорогу. Наибольшіе изгибающіе моменты M при укладкѣ пути на поперечинахъ и на балластномъ слоѣ (356). Наибольшая поперечная сила Q (358). В. Мосты подъ обыкновенную дорогу (359). Примѣръ расчета продольной балки шоссезнаго моста (360)	356
§ 52.	Расчетъ M и Q для неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ (362). Инфлюентныя линіи изгибающихъ моментовъ (362). Инфлюентныя линіи поперечныхъ силъ и опорныхъ реакцій (365). Дополнительные напряженія въ неразрѣзныхъ продольныхъ балкахъ (367)	362
§ 53.	Наивыгоднѣйшая высота продольныхъ балокъ	369
§ 54.	Вѣсъ продольныхъ балокъ	371
§ 55.	Подборъ сѣченія и повѣрка напряженій продольныхъ балокъ (374). Ослабленіе сѣченія заклепками (374). Повѣрка нормальныхъ и касательныхъ напряженій (375). Допускаемыя напряженія (376)	374
§ 56.	Повѣрка устойчивости двутавровыхъ балокъ (377). Примѣръ такой повѣрки (378)	377

- § 57. Расчетъ заклепокъ для прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ поперечнымъ (379). Расчетъ заклепокъ только по опорному давленію (379). Расчетъ на совмѣстное дѣйствіе опорнаго давленія и изгибающаго момента (380) 379
- VIII Глава. Конструкция поперечныхъ балокъ.**
- § 58. Назначеніе поперечныхъ балокъ и ихъ расположеніе (384). Правила для проектированія балокъ проѣзжей части (385) 384
- § 59. Типы поперечныхъ балокъ (385). Стѣнка поперечныхъ балокъ (385). Очертаніе ихъ поясовъ (386) 385
- § 60. Сквозныя поперечныя балки (388). Сквозныя балки мостовъ съ ѣздою по низу (388). Примѣры такихъ балокъ (389). Сквозныя балки мостовъ съ ѣздою по верху (395). Комбинаціи поперечныхъ балокъ со связями (396) 388
- § 61. Консольныя поперечныя балки 400
- § 62. Опорныя поперечныя балки (401). Кронштейны и сопрягающія балочки (403). Способы прикрѣпленія кронштейновъ (403). Примѣры сопрягающихъ балочекъ (406) . . . 401
- § 63. Жесткое прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ къ фермамъ (406). I. Непосредственное прикрѣпленіе помощью вертикальныхъ уголковъ (407). Примѣры (408). II. Прикрѣпленіе при помощи фасонныхъ листовъ (410). А. Мосты съ ѣздою по низу (411). 1) Прикрѣпленіе выше пояса (411). 2) Прикрѣпленіе въ предѣлахъ высоты пояса (412). 3) Жесткое подвѣшваніе (414). В. Мосты съ ѣздою по серединѣ (415). С. Мосты съ ѣздою по верху (416) 406
- Свободная проѣзжая часть.**
- § 64. Сравненіе жесткаго и шарнирнаго прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ фермамъ (418). Недостатки жесткаго прикрѣпленія (418). Общія соображенія о свободной проѣзжей части (422) 418
- § 65. Укладка поперечныхъ балокъ на верхнемъ поясѣ фермъ (422). Глухое прикрѣпленіе (423). Свободное прикрѣпленіе (424). Примѣры укладки поперечныхъ балокъ на верхнемъ поясѣ фермъ (425) 422
- § 66. Укладка поперечныхъ балокъ на нижнемъ поясѣ фермъ (428). Глухое прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ (429). Свободное прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ (430). Примѣры шарнирныхъ поперечныхъ балокъ (431) 428
- § 67. Подвѣшваніе поперечныхъ балокъ (439). Подвѣшваніе къ нижнему поясу фермъ (439). Подвѣшваніе къ подвѣскамъ (442). Мѣры для предохраненія проѣзжей части отъ измѣненія длины фермъ (443). Мѣры предохраненія пролетнаго строенія отъ скручиванія и фермъ отъ коробленія (444). Устройство связей между фермами (445). Типы подвѣсокъ (447). Глубкія подвѣски (447). Шарнирное прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ къ подвѣскамъ (451) 439
- § 68. Поперечныя балки на качающихся стойкахъ (460). Примѣры такихъ балокъ (461) 460
- IX Глава. Расчетъ поперечныхъ балокъ.**
- § 69. Условія работы поперечныхъ балокъ 466
- § 70. Расчетная нагрузка поперечныхъ балокъ желѣзнодорожныхъ мостовъ 468
- § 71. Расчетъ M и Q для свободно-лежащихъ поперечныхъ балокъ желѣзнодорожныхъ мостовъ 471
- § 72. Расчетъ M и Q для свободно-лежащихъ поперечныхъ балокъ мостовъ подъ обыкновенную дорогу (473). Продольная установка колесъ (474). Расчетъ M и Q при прямомъ дѣйствіи нагрузки (475). Расчетъ M и Q при узловомъ дѣйствіи нагрузки (475). Примѣръ (477). Расчетъ M и Q по двойнымъ инфлюэнтнымъ линіямъ (478) 473
- § 73. Расчетъ поперечныхъ балокъ съ упруго-задѣлан. концами (479). I. Случай двухъ продольныхъ балокъ (479). Примѣръ (483). II. Случай нѣсколькихъ продольныхъ балокъ (483) 479
- § 74. Вѣсъ поперечныхъ балокъ 484
- § 75. Подборъ сѣченія и повѣрка напряженій поперечн. балокъ (487). Высота балокъ (487). Ослабленія сѣченія (487). Обрывъ горизонтальныхъ листовъ (488). Повѣрка косыхъ напряженій (488). Повѣрка касательныхъ напряженій при наклонномъ положеніи поясовъ (489) 487
- § 76. Расчетъ заклепокъ поперечныхъ балокъ (490). Шагъ заклепокъ для прикрѣпленія поясныхъ уголковъ къ стѣнкѣ (491). Заклепки для прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ фермамъ (491). Заклепки въ стыкѣ стѣнки поперечной балки съ фасонною вставкою (491) 490
- X Глава. § 77. Продольныя и поперечныя балки косыхъ мостовъ** (492). Расчетный пролетъ фермъ (492). Раздѣленіе на панели (492). Расположеніе шпаль (493). I. Способы сопряженія подъ прямымъ угломъ (494). II. Способы косога сопряженія (495). Детали косога сопряженія (496). Вредныя деформациі косыхъ мостовъ (497) 492

ДОПОЛНЕНИЯ и ИСПРАВЛЕНИЯ*).

На стр. 3 послѣ второй строки добавить. Иногда собираютъ проѣзжую часть съ такимъ подъемомъ, чтобы при дѣйстви постояннаго нагрузки и половины временнаго нагрузки рельсы лежали горизонтально.

На стр. 9, на 17-ой строкѣ сверху вмѣсто 1701 должно быть 1791.

Бъ стр. 10. Вопросъ о расчетной нагрузкѣ отъ вѣтра изложенъ полнѣе въ § 6 IV тома.

На стр. 17 послѣ второго абзаца вставить. На двупутныхъ участкахъ ширина моста можетъ быть уменьшена до ширины однопутнаго моста, если на мосту устроить сплетеніе путей.

Согласно фиг. 627 путь I уложенъ на мосту по прямой, а путь II сплетается съ путемъ I и проходитъ по мосту безъ перерыва. Въ мѣстахъ пересѣченія рельсовъ уложены крестовины, по одной въ каждомъ концѣ моста. На мосту рельсы обоихъ путей уложены рядомъ и съ небольшимъ зазоромъ. Чтобы обезпечить безопасность движенія, на каждомъ концѣ моста устанавливають сигналы, блокировочные аппараты и проч.

Фиг. 627



На стр. 18 и 19 въ расчетъ разстоянія w между фермами моста, расположеннаго на кривой вкралась ошибка, и получается $w = b + 2g + \frac{5}{3}f$. Кромѣ того, $a = \frac{1}{6}f$.

На стр. 21 вставить послѣ таблицы.

Если проѣзжее полотно проектируется для движенія трехъ рядовъ экипажей съ тѣмъ, чтобы средняя часть полотна служила для обгона во время встрѣчнаго движенія, то слѣдуетъ располагать пути трамвая по краямъ, т. е. около тротуаровъ, оставляя между ними ширину, достаточную для проѣзда одного ряда экипажей. При этомъ достаточно назначать ширину проѣзжаго полотна въ 6,5 до 8,0 м. Если же уложить пути трамвая по серединѣ полотна, то указанная ширина будетъ недостаточна для движенія экипажей въ три ряда, такъ какъ въ случаѣ скрещенія на мосту двухъ вагоновъ трамвая, не остается мѣста для третьяго экипажа.

На стр. 21 вставить передъ послѣднимъ абзацемъ с).

Въ Австріи предписаны слѣдующія нормы относительно ширины шоссеиныхъ мостовъ, причемъ различаютъ три класса мостовъ.

Мосты I класса съ ѣздою по низу. При тротуарахъ снаружи фермъ (шириною по 1,5 м.) разстояніе въ свѣту между фермами = 5,8 м. При тротуарахъ между фермами (шириною по 1,2 м.) разстояніе въ свѣту между фермами = 7,0 м., такъ

*) Рекомендуется вырѣзать отдѣльныя дополненія и подклеить ихъ къ соотвѣтственной страницѣ книги.

что ширина проезжаго полотна = 4,60 м. Цифры послѣдняго случая относятся также къ мостамъ съ ѣздою по верху съ тротуарами на кронштейнахъ.

Мосты II класса съ ѣздою по низу. При тротуарахъ снаружи фермъ (шириною по 1,2 м.) разстояніе въ свѣту между фермами = 5,3 м. При тротуарахъ между фермами (шириною по 1,2 м.) разстояніе въ свѣту между фермами = 6,4 м., такъ что ширина проезжаго полотна = 4,0 м. Цифры послѣдняго случая относятся также къ мостамъ съ ѣздою по верху съ тротуарами на кронштейнахъ.

Мосты III класса отличаются тѣмъ, что не требуется устройства тротуаровъ, причѣмъ наименьшее разстояніе между фермами въ свѣту, или между перилами = 5,0 м.

Къ стр. 49. Циркуляръ М. П. С. отъ 20 февраля 1907 года за № 5263/28 рекомендуетъ (не больше) на мостахъ отверстіемъ до 3 саж. устраивать путь, по возможности, безъ стыковъ; во всякомъ же случаѣ не допускать стыка между концами фермъ и устоемъ, если промежутокъ этотъ не будетъ перекрытъ мостовою подкладкою.

Къ стр. 67. При устройствѣ рельсовыхъ стыковъ на мостахъ приходится руководствоваться слѣдующимъ циркуляромъ М. П. С. отъ 20 февраля 1907 г. за № 5263/28.

- а) „Если стыкъ придется на поперечинѣ, или по серединѣ между поперечинами, то скрѣпленіе его можетъ быть сдѣлано плоскими или фасонными накладками съ обрѣзанными частями.
- б) Если же стыкъ придется гдѣ-либо между серединою поперечинъ и серединою промежутка между ними, то—естъ ближе къ одной изъ поперечинъ, то стыкъ также можетъ быть скрѣпленъ плоскими или фасонными со срѣзанными частями накладками; но при этомъ должна быть подведена дополнительная поперечина, или же двѣ ближайшія къ стыку обыкновенныя подкладки замѣнены одною, общею, длинною (мостовою) двухъ-ребордчатою подкладкою, опирающеюся на двѣ смежныя поперечины и поддерживающей стыкъ по всей длинѣ между стыковыми шпалами.
- в) Каждая, по крайней мѣрѣ третья поперечина, должна быть прикрѣплена къ пояснымъ уголкамъ продольныхъ балокъ горизонтальными болтами; остальные могутъ быть прикрѣплены лапчатыми болтами, причѣмъ, для устраненія угона, всѣ поперечины должны быть связаны между собою вдоль оси моста.
- г) Противъ угона стыковъ рекомендовать укороченныя уголковыя накладки (со шпунтами, или отверстіями для костылей), прикрѣпленныя около середины рельса“.

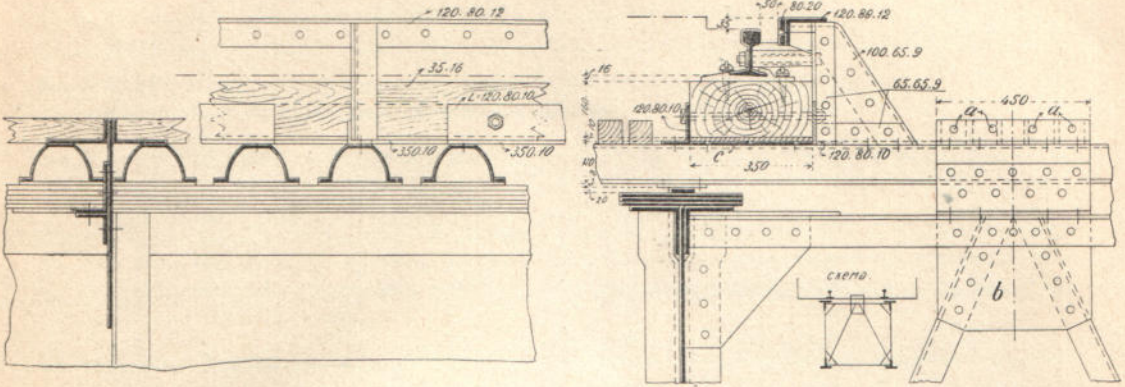
На стр. 72 фиг. 36 напечатана невѣрно, ее слѣдуетъ повернуть на 180°.

Къ стр. 78. Въ Америкѣ, гдѣ поперечины укладываютъ очень близко одна отъ другой, ихъ разсчетъ ведутъ въ томъ предположеніи, что давленіе колеса распредѣляется поровну на 3 поперечины и что допускаемое напряженіе на изгибъ = 70 к./см.²

Къ стр. 85. Для смягченія ѣзды по желѣзнымъ поперечинамъ (Зоре) въ послѣднее время въ Саксоніи прокладываютъ между Зоре и поддерживающими ихъ балками дубовыя прокладки изъ брусковъ 80 . 50 мм., которые прикрѣпляютъ къ балкѣ при помощи кусковъ углового желѣза, расположенныхъ то съ одной, то съ другой стороны бруска. Въ мѣстахъ, гдѣ опираются Зоре, къ ихъ подошвѣ приклепываютъ полосовое желѣзо, которое служитъ опорнымъ листомъ и приводитъ всѣ Зоре во взаимную связь.

Къ стр. 85. Другая новая конструкція, примѣняемая въ Саксоніи для смягченія ѣзды по желѣзнымъ поперечинамъ Зоре, заключается въ томъ, что между Зоре и каждымъ рельсомъ прокладываютъ деревянную подушку, въ видѣ продольнаго лежащаго прямоугольнаго сѣченія 35 . 16 см. (фиг. 628). Лежень укладываютъ на желѣзную полосу, приклепанную къ Зоре; отъ бокового сдвига, вслѣдствіе давленія колесъ, лежень удерживаютъ уголкомъ 120 . 80 . 10 мм., приклепаннымъ къ Зоре снаружи колеи. Для предупрежденія схода колесъ (см. стр. 61), каждый рельсъ снабженъ съ внутренней стороны колеи охраннымъ уголкомъ 120 . 80 . 12 мм., усиленнымъ полосою 80 . 20 мм., отстоящимъ отъ рельса на 50 мм. и прикрѣплен-

Фиг. 628.



Саксонский способ укладки рельсов на желѣзныхъ поперечинахъ.

нымъ помощью треугольныхъ кронштейновъ. Эти кронштейны приклепаны къ Зоре и соединены съ рельсами при помощи горизонтальныхъ болтовъ ($d = 20$ мм.), которые пропущены черезъ распорныя трубки, обезпечивающія постоянную ширину зазора между рельсомъ и охраннымъ уголкомъ.

Къ стр. 90. Новый способъ прикрѣпленія желѣза Зоре, примѣняемый въ Саксоніи на желѣзнодорожныхъ мостахъ (фиг. 625 на стр. 85). Для прикрѣпленія пользуются тѣми же фасонными накладками *б*, которыми полураскосы вертикальныхъ связей прикрѣпляются къ верхней распоркѣ связей. Накладка *б* пропущена вверхъ въ зазоръ между двумя Зоре и приклепана къ головкѣ двухъ Зоре двумя уголками, согнутыми изъ плоскаго желѣза. Заклепочныя дыры *а* въ накладкѣ *б* размѣчаютъ и сверлятъ только послѣ того, какъ уложены Зоре и крѣпко притянуты внизъ. Зоре опираются на фермы при помощи узкихъ полосокъ, обезпечивающихъ центральную передачу давленія. При такомъ прикрѣпленіи накладки *б* удерживаютъ каждую группу Зоре отъ бокового и продольнаго сдвига, а также отъ приподнятія, между тѣмъ какъ всѣ Зоре приводятся во взаимную связь при помощи 2 горизонтальныхъ листовъ *с* и 2-хъ уголковъ 120 . 80 . 10 мм., которые приклепаны къ Зоре и служатъ для прикрѣпленія деревянныхъ продольныхъ лежней подъ рельсами.

На стр. 114 въ формулу 12 вкралась ошибка. Должно быть

$$N = \frac{(2p + k) l}{16f} \sqrt{l^2 + 4f^2} \dots \dots \dots (12).$$

Къ стр. 126. Въ Америкѣ желѣзо-бетонныя плиты, согласно фиг. 99 и 100, дѣлаютъ толщиной 26 см. при разстояніи между поддерживающими ихъ балками въ 2,13 м. Арматуру дѣлаютъ изъ квадратнаго желѣза въ 13 мм., при разстояніи между прутьями въ 75 мм., считая вдоль пути. Чтобы предупредить образованіе трещинъ, полезно укладывать также проволоку вдоль пути.

Къ стр. 140. Асфальтовый бетонъ имѣетъ слѣдующій составъ: 3 части (по вѣсу) гудрона, 10 частей асфальтовой мастики, 14 частей щебня размѣромъ не болѣе 4 см. и 2 части песка.

На стр. 144 послѣ 4-ой строки прибавить.

Въ Америкѣ защитный слой устраиваютъ изъ слоя цементнаго раствора толщиной въ 5 см., въ которомъ помѣщаютъ густую сѣтку изъ проволоки, чтобы предупредить образованіе трещинъ.

На стр. 174 на 20-й строкѣ снизу слова „ихъ короткую сторону, т. е. ширину листа“ замѣнить словами „короткую сторону перекрываемаго прямоугольника“.

На стр. 180 строки 12 до 15 сверху замѣнить слѣдующимъ. „Въ виду того, что длина перекрываемыхъ прямоугольниковъ значительно больше ихъ ширины, можно пренебречь распредѣленіемъ нагрузки на всѣ 4 края листа и ограничиться разсмотрѣніемъ полоски пролетомъ l и шириною въ 1 см., вырѣзанной по ширинѣ перекрываемаго прямоугольника, причемъ листы

должны быть укладываемы такъ, чтобы эта ширина приходилась по направленію прокатки листа.

Къ стр. 249. Доски тротуара слѣдуетъ разсчитывать на сосредоточенный грузъ въ 170 к., соотвѣтствующій вѣсу человѣка съ тяжелою ношею.

Къ стр. 271. Согласно техническимъ условіямъ М. П. С. для сооруженія желѣзнодорожныхъ линій первостепеннаго значенія, перила должны быть устроены на всѣхъ мостахъ пролетомъ болѣе 2 саж.

Къ стр. 294. Многочисленными испытаніями установлено, что широкополочное двутавровое желѣзо отличается отсутствіемъ вредныхъ внутреннихъ напряженій, которыя часто являются послѣдствіемъ прокатки.

Къ стр. 296. Послѣ 3 й строки. Клепанія балки всегда полезно снабжать верхнимъ горизонтальнымъ листомъ для того, чтобы отъ дѣйствія поперечинъ или лоткова о желѣза, верхніе уголки не отрывались отъ стѣнки. Устройства горизонтальнаго листа въ нижнемъ поясѣ можно избѣгать, если примѣнить для нижняго пояса уголки большаго размѣра, чѣмъ наверху. При этомъ необходимо, чтобы центръ тяжести сѣченія находился возможно ближе къ серединѣ высоты балки, для того, чтобы лучше использовать сѣченіе.

Къ стр. 307. При устройствѣ продольно-подвижнаго прикрѣпленія продольной балки, слѣдуетъ принимать мѣры къ тому, чтобы этотъ конецъ продольной балки не могъ приподниматься, если продольная балка работаетъ въ условіяхъ неразрѣзной балки. Это достигается или удержаніемъ подвижнаго конца балки какимъ-нибудь скрѣпленіемъ, какъ въ фиг. 318 и 319, или шарнирнымъ прикрѣпленіемъ другаго конца продольной балки, превращая ее въ разрѣзную балку.

Къ стр. 333. Въ Пруссіи горизонтальныя связи между продольными балками желѣзнодорожныхъ мостовъ разсчитываютъ на боковую горизонтальную силу въ 4 тон., приложенную къ передней оси паровоза.

Къ стр. 342. Чтобы уменьшить вредный прогибъ поперечныхъ балокъ въ горизонтальной плоскости, можно для мостовъ средняго пролета рекомендовать устройство тормазныхъ связей только по серединѣ пролета. При большомъ пролетѣ фермъ слѣдуетъ прерывать продольныя балки въ одномъ или въ нѣсколькихъ мѣстахъ и снабжать каждый изъ этихъ участковъ тормазною связью.

На стр. 360 послѣ второй строки добавить. Поэтому невыгоднѣйшая установка колесъ зависитъ отъ вліянія толпы, которая помѣщается рядомъ съ фурую и обусловливается соотношеніемъ между вѣсомъ толпы и фуры. При обычной величинѣ этихъ нагрузокъ самая невыгодная установка фуры обыкновенно соотвѣтствуетъ положенію одного изъ колесъ надъ разсматриваемою продольною балкою.

Къ стр. 371. Опредѣленіе высоты h балки въ зависимости отъ ея прогиба Наибольшій прогибъ f по серединѣ балки отъ дѣйствія равномерно-распределенной временной нагрузки k^*).

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{k \cdot l^4}{E \cdot J}, \text{ гдѣ } l \text{ — пролетъ балки, } E \text{ — коэффициентъ упругости. Замѣняя моментъ инерціи моментомъ сопротивленія } W, \text{ т. е. подставляя } J = \frac{W \cdot h}{2}, \text{ получаемъ}$$

*) Вліяніемъ постоянной нагрузки p можно пренебречь потому, что при сборкѣ можно принять мѣры къ устраненію прогиба балки отъ постоянной нагрузки.

Если временная нагрузка состоитъ изъ сосредоточенныхъ грузовъ, то слѣдуетъ разсчитать $\max M'$, вызванный этою нагрузкою въ серединѣ пролета, и опредѣлить соотвѣтствующую найденному моменту эквивалентную равномерную нагрузку k' по формулѣ $\frac{k' \cdot l^3}{8} = \max M'$.

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{k \cdot l^4 \cdot 2^2}{E \cdot W \cdot h} \dots \dots \dots (A)$$

Моментъ сопротивленія опредѣляется по наибольшему изгибающему моменту M , вызванному полною нагрузкою $q = p + k$, гдѣ p — постоянная нагрузка.

Необходимый моментъ сопротивленія

$$W = \frac{\max M}{R} = \frac{q \cdot l^2}{8 R}, \text{ гдѣ } R, \text{ допускаемое напряженіе.}$$

Подставляя это значеніе W въ формулу A , получаемъ

$$f = \frac{5}{24} \cdot \frac{l^2}{h} \cdot \frac{k}{q} \cdot \frac{R}{E}, \text{ откуда искомая высота балки}$$

$$h = \frac{5}{24} \cdot \frac{l^2}{f} \cdot \frac{k}{q} \cdot \frac{R}{E} \dots \dots \dots (B)$$

Подставляя $f = \frac{1}{1500} \cdot l$, $R = 750 \text{ к./см.}^2$, $E = 2000000 \text{ к./см.}^2$, получаемъ

$$h = \frac{1}{8,5} \cdot \frac{k}{q} \cdot l.$$

Для балокъ желѣзнодорожныхъ мостовъ $\frac{k}{q}$ составляетъ отъ 0,9 до 0,95. Принимая

$$\frac{k}{q} = 0,93 \text{ получаемъ}$$

$$h = \frac{1}{8,5} \cdot 0,93 \cdot l = \frac{1}{9} l.$$

Къ стр. 376. Кромѣ повѣрки напряженій балки, слѣдуетъ также повѣрять ея прогибъ, особенно въ томъ случаѣ, когда высота балки мала, сравнительно съ ея пролетомъ. Слишкомъ гибкія балки вредны, а въ желѣзнодорожныхъ мостахъ небольшого пролета даже опасны, такъ какъ могутъ вызвать сходъ съ рельсовъ. Допускаемый прогибъ балки отъ временной нагрузки не долженъ превышать $\frac{1}{1000}$ до $\frac{1}{1500}$ ея пролета.

Къ стр. 379 внизу. Разсчитывая заклепки для прикрѣпленія продольной балки къ поперечной только по опорному давленію, въ Пруссіи увеличиваютъ на 40% полученное число заклепокъ. На Саксонскихъ казенныхъ желѣзныхъ дорогахъ предписано разсчитывать эти заклепки также по опорному изгибающему моменту, въ предположеніи жесткаго закрѣпленія концовъ продольной балки.



Свободная длина части $AB = 115$ см.

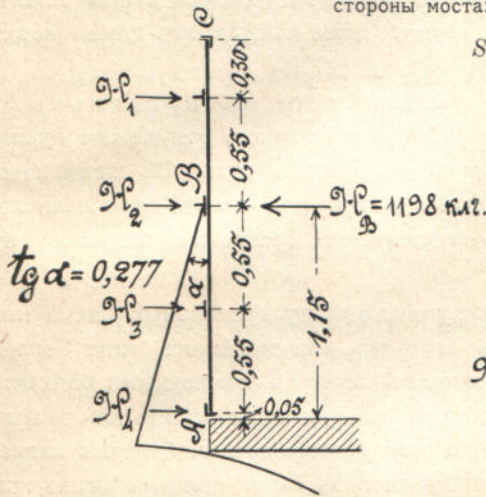
$$\frac{J}{\omega} = \frac{92,1}{11,45} = 8,0; \quad \varphi = \frac{1}{1 + 0,00008 \frac{115^2}{8}} = 0,882$$

Наибольшее напряжение въ стойкѣ отъ изгиба и сжатія

$$n = \frac{M}{W} + \frac{P}{\omega \cdot \varphi} = \frac{11605}{26,6} + \frac{4312}{20,34 \cdot 0,882} = 435 + 241 = 676 \text{ кг./см.}^2 < 1000.$$

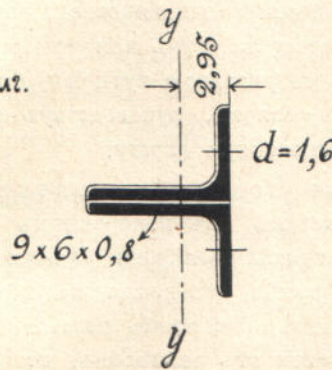
Подкосъ заборной стойки. Усиліе, сжимающее подкосъ стойки, въ случаѣ, когда вѣтеръ дуетъ съ внутренней стороны моста:

Фиг. 298.



$$S = H_B \cdot \frac{1}{\sin \alpha} = \frac{1198}{0,267} = -4487 \text{ кг.}$$

Фиг. 299.



Сѣченіе подкоса состоитъ изъ одного уголка 65 . 65 . 8 мм. Площадь сѣченія уголка netto

$$\begin{aligned} \omega_n &= 9,83 - \\ &- 1,6 \cdot 0,8 = \\ &= 8,55 \text{ см.}^2. \end{aligned}$$

Свободная длина $l = 135$ см. Наименьшій моментъ инерціи $15,63$ см.⁴

$$\frac{J}{\omega} = \frac{15,63}{9,83} = 1,6; \quad \varphi = \frac{1}{1 + 0,00008 \frac{135^2}{1,6}} = 0,523.$$

Напряжение подкоса $n = \frac{4487}{8,55} = 525 \text{ к./см.}^2$; допускается $1000 \cdot 0,523 = 523$.

Число односрѣзныхъ заклепокъ $d = 1,6$ см., необходимое для прикрѣпленія конца подкоса

$$m = \frac{4487}{\frac{\pi \cdot 1,6^2}{4} \cdot 800} = \frac{4487}{1608} = 2,8 \text{ штук} < 3.$$

Глава VI.

Конструкція продольныхъ балокъ.

§ 41. Назначеніе продольныхъ балокъ, ихъ число и расположеніе относительно поперечныхъ балокъ.

Продольными называются тѣ балки проѣзжей части, которыя расположены вдоль моста и, опираясь на поперечныя балки, передаютъ имъ собственный вѣсъ полотна проѣзжей части и временную нагрузку, расположенную въ предѣлахъ данной панели моста.

Число продольныхъ балокъ зависитъ отъ назначенія моста подъ желѣзную, или подъ обыкновенную дорогу и, кромѣ того, отъ устройства полотна проѣзжей части. Въ желѣзнодорожныхъ мостахъ, съ укладкою пути на поперечинахъ, продольныя балки служатъ для поддержанія этихъ поперечинъ и, въ

большинствѣ случаевъ, ставятся въ количествѣ двухъ балокъ на каждый путь¹⁾, причемъ разстояніе между балками принимается на 30 до 50 см. больше ширины колеи по слѣдующимъ соображеніямъ: 1) чтобы избѣжать совпаденія частей для прикрѣпленія рельсовъ къ шпаламъ съ частями для прикрѣпленія шпаль къ продольнымъ балкамъ; 2) чтобы увеличить мягкость ѣзды, вслѣдствіе увеличенія гибкости шпаль; 3) чтобы уменьшить изгибающій моментъ поперечныхъ балокъ (въ однопутныхъ мостахъ), такъ какъ точки, въ которыхъ балкѣ передается нагрузка, приближаются къ ея опорамъ и 4) чтобы затруднить приподнятіе шпаль подѣ дѣйствіемъ сошедшихъ колесъ, попавшихъ на свѣшивающіеся концы шпаль. На этотъ случай нѣкоторыя американскія дороги даже связываютъ концы всѣхъ поперечинъ продольными брусьями.

Въ желѣзнодорожныхъ мостахъ, съ укладкою пути на продольныхъ лежняхъ, продольныя балки непосредственно поддерживаютъ эти лежни и укладываются въ количествѣ двухъ или четырехъ на каждый путь. Въ желѣзнодорожныхъ мостахъ съ укладкою пути на балластномъ слоѣ, при расположеніи продольныхъ балокъ, руководствуются тѣми же соображеніями, какъ въ мостахъ подѣ обыкновенную дорогу.

Въ мостахъ подѣ обыкновенную дорогу продольныя балки или поддерживаютъ настилъ изъ поперечныхъ брусевъ или желѣзинъ типа Зоре и Вотерена, или же продольныя балки образуютъ, въ связи съ поперечными балками, прямоугольныя отверстія, перекрываемаыя лотковымъ, цилиндрическимъ или инымъ сплошнымъ настиломъ. При этомъ разстояніе между продольными балками назначается въ зависимости отъ размѣровъ, которые могутъ быть приданы поддерживаемому ими настилу. Сближая между собою продольныя балки, мы уменьшаемъ ихъ сѣченіе, а также размѣры настила надъ ними; но зато увеличиваемъ число балокъ. Наиболѣе выгодное разстояніе между балками будетъ, очевидно, то, при которомъ общая стоимость проѣзжей части получается наименьшею. Этотъ вопросъ можно рѣшить путемъ теоретическаго анализа²⁾; но слѣдуетъ имѣть въ виду, что выведенныя этимъ путемъ формулы не всегда даютъ практически примѣнимые результаты; поэтому лучше рѣшать этотъ вопросъ практически, дѣлая приблизительный подсчетъ вѣса для нѣсколькихъ вариантовъ.

Взаимное положеніе продольныхъ балокъ въ одной и той же панели. Чаще всего балки укладываютъ на одномъ уровнѣ; но бываютъ случаи, когда для упрощенія конструкціи, или для пониженія вѣса полотна, приходится располагать продольныя балки и на разныхъ уровняхъ. Къ этому средству прибѣгаютъ даже въ желѣзнодорожныхъ мостахъ съ укладкою пути на поперечинахъ въ томъ случаѣ, когда мостъ находится на кривой и необходимо уложить наружный рельсъ съ возвышеніемъ; тогда требуемый уклонъ поперечинъ можетъ быть достигнутъ приклепкою наружной балки выше, чѣмъ внутренняя. Если путь уложенъ на балластномъ слоѣ, то необходимый для стока воды поперечный уклонъ нижняго настила проще всего достигается расположеніемъ продольныхъ балокъ на разномъ уровнѣ (фиг. 136 и 139).

Въ мостахъ подѣ обыкновенную дорогу, съ мостовою или со ще-

¹⁾ Въ Америкѣ встрѣчаются примѣры укладки двухъ продольныхъ балокъ на каждый рельсъ (см. фиг. 309).

²⁾ Изслѣдованіе Винклера въ его сочиненіи „Querconstructionen d. eisernen Brücken“. 1884.

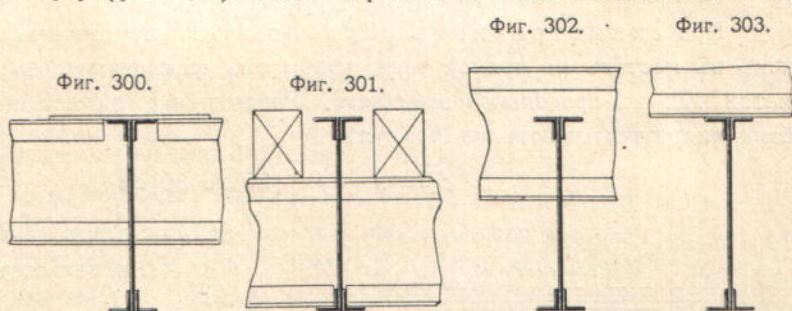
беночнымъ слоемъ, поперечный уклонъ полотна не слѣдуетъ достигать путемъ утолщенія слоя щебенки или мостовой къ серединѣ полотна, а лучше придавать поперечный уклонъ нижнему настилу проѣзжей части, помѣщая поддерживающія его продольныя балки на разныхъ уровняхъ. Выгоды такого устройства заключаются въ томъ, что понижается вѣсъ полотна, имѣющаго вездѣ одинаковую минимальную толщину, и достигается болѣе правильное распредѣленіе матеріала мостовой, такъ какъ по серединѣ полотна, гдѣ движеніе сравнительно мало, уже не имѣется бесполезно толстаго слоя мостовой.

Такое же расположеніе продольныхъ балокъ примѣняютъ при полотнѣ изъ поперечнаго деревяннаго настила (фиг. 5).

Во всѣхъ случаяхъ, когда продольныя балки располагаются на разныхъ уровняхъ и прикрѣпляются къ верхнему поясу поперечныхъ балокъ, полезно придавать послѣднему соответственное выпуклое очертаніе для того, чтобы сохранить для всѣхъ продольныхъ балокъ одинаковый способъ прикрѣпленія къ поперечнымъ балкамъ. Чтобы упростить это прикрѣпленіе, полезно располагать продольныя балки не въ вертикальной плоскости, а перпендикулярно къ полотну проѣзжей части (фиг. 132 и 139).

Положеніе продольныхъ балокъ по отношенію къ поперечнымъ. Продольная балка можетъ находиться или полностью въ предѣлахъ высоты поперечной балки (фиг. 300 и 301), или отчасти возвышаться надъ нею (фиг. 302), или опираться на нее сверху (фиг. 303). Если строительная высота достаточна, то

лучше всего расположеніе согласно фиг. 300, при которомъ верхніе пояса продольной и поперечной балки находятся на одномъ уровнѣ и можно соединить

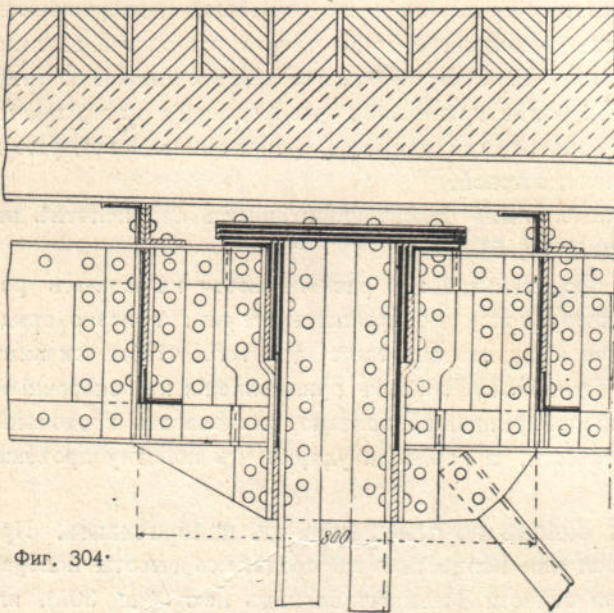


лѣвую и правую продольныя балки помощью горизонтальной накладки (рыбки). Если строительная высота ограничена и на продольныхъ балкахъ уложены поперечные или продольные брусья (фиг. 301), то можно опустить продольныя балки на высоту немного (3—5 см.) меньшую, чѣмъ высота этихъ брусьевъ.

Расположеніе, показанное въ фиг. 302, примѣняютъ въ тѣхъ случаяхъ, когда желательно, хотя бы немного, приподнять верхъ продольныхъ балокъ надъ поперечными, руководствуясь при этомъ или желаніемъ увеличить прочность соединенія, путемъ пропуска верхняго пояса продольной балки безъ перерыва, или при слѣдуя при этомъ конструктивныя цѣли, на примѣръ, желая избѣжать, чтобы въ мостѣ съ ѣздой по веру и съ нѣсколькими фермами бетонный или балластный слой полотна ложился непосредственно на верхній поясъ фермъ; изъ фиг. 304 усматривается, что, пропуская верхніе уголки продольныхъ балокъ надъ поперечными балками, удалось получить зазоръ между нижнею поверхностью настила и верхнимъ поясомъ фермъ и, такимъ образомъ, предохранить его отъ ржавчины.

Иногда не всѣ продольныя балки расположены относительно поперечныхъ на одинаковой высотѣ. Крайнія продольныя балки иногда располагаются гораздо

выше, чѣмъ среднія балки, служа боковыми стѣнками балластнаго корыта (ф. 127) и, кромѣ того, балками для поддержанія возвышенныхъ тротуаровъ (фиг. 132 и 139).



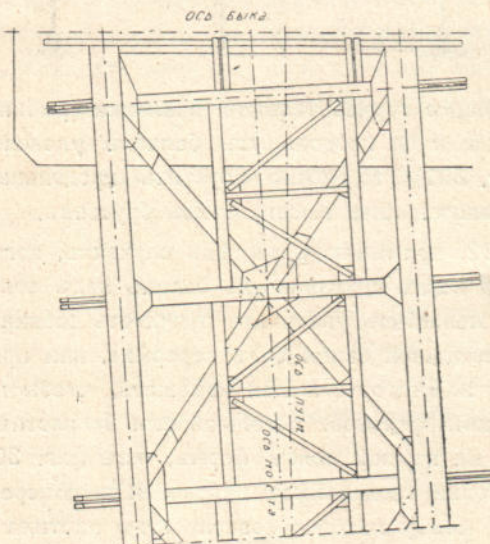
Фиг. 304.

Город. мостъ черезъ каналъ Тельто въ Берлинѣ.

При симметричномъ расположеніи продольная балки укладываютъ какъ въ мостахъ на прямой такъ, чтобы онѣ образовали двѣ прямыя линіи, симметричныя къ продольной оси моста. Разстояніе s въ мет. между продольными балками рассчитываютъ по формулѣ

$$c = s + f + 20 \text{ до } 30 \text{ см.},$$

Фиг. 304 bis.



Мостъ на кривой чер. Аару въ Бруггѣ (Швейцаріи).

Расположеніе, показанное въ фиг. 303, примѣняется только въ мостахъ съ ѣздой по верху при наличности значительной строительной высоты; оно отличается простотою устройства и допускаетъ удобное примѣненіе неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ, что вообще весьма желательно.

Въ желѣзнодорожныхъ мостахъ, расположенныхъ на кривой, продольная балки укладываютъ или симметрично по отношенію къ оси моста, или въ ступенчатомъ порядкѣ.

гдѣ s — въ мет. разстояніе между осями рельсовъ, а

$$f = \frac{l^2}{8 \cdot r} \text{ — стрѣлка кривой при хордѣ длиною } l \text{ мет. и радиусѣ кривой } r \text{ мет.}$$

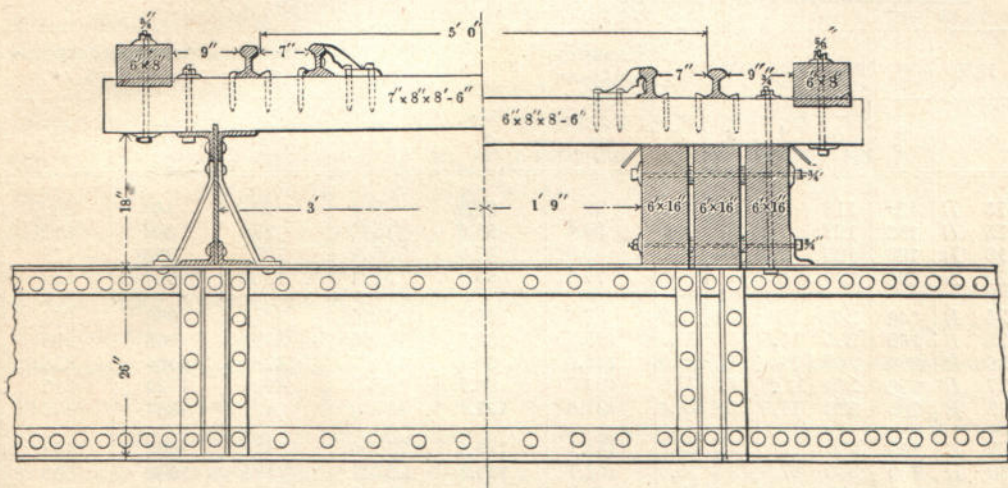
При ступенчатомъ расположеніи, продольная балки слѣдуютъ кривой пути, сохраняя нормальное къ поперечнымъ балкамъ положеніе, при чемъ балки одной панели сдвинуты относительно балокъ смежныхъ панелей на величину, зависящую отъ радиуса кривой и отъ длины панели (фиг. 304 bis и 336). Въ среднихъ панеляхъ моста, гдѣ кривая мало отклоняется отъ ея касательной, можно обходиться безъ сдвига продольныхъ балокъ.

§ 42. Типы сѣченій продольныхъ балокъ.

Въ мостахъ подъ обыкновенную дорогу продольныя балки устраиваются или изъ деревянныхъ брусевъ, или изъ желѣзныхъ балокъ, смотря по устройству полотна и по разстоянiю между поперечными балками. Въ желѣзнодорожныхъ мостахъ примѣняютъ преимущественно желѣзныя продольныя балки, а деревянныя балки встрѣчаются сравнительно рѣдко при небольшомъ разстоянiи между поперечными балками.

Примѣръ устройства американской проѣзжей части желѣзнодорожного моста съ деревянными продольными балками показанъ на фиг. 305. Деревянная

Фиг. 305.



Типы американской проѣзжей части желѣзнодорожного моста.

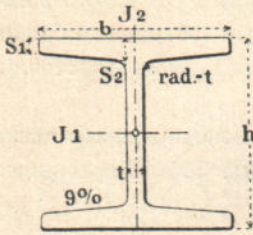
продольныя балки состоятъ каждая изъ трехъ брусевъ сѣченіемъ 16×6 дм., связанныхъ между собою двумя горизонтальными рядами болтовъ діам. $\frac{3}{4}$ дм., съ прокладкою между брусьями круглыхъ шайбъ. Брусья покрыты общею крышкою изъ оцинкованнаго желѣза. На продольныхъ балкахъ уложены деревянныя поперечины 6×8 дм. длиною $8\frac{1}{2}$ фут. и на взаимномъ разстоянiи $16\frac{1}{2}$ дм. между ихъ осями. Поперечины снабжены врубкою въ $\frac{3}{4}$ дм. и прикрѣплены къ наружному брусу продольной балки вертикальными болтами. Для взаимной связи поперечинъ, на ихъ концахъ уложены наружныя охранныя брусья, прикрѣпленные помощью врубки и вертикальныхъ болтовъ. На случай схода, уложены внутренніе контръ-рельсы.

Желѣзныя продольныя балки устраиваются преимущественно со сплошною стѣнкою изъ прокатныхъ или клепаныхъ балокъ; рѣже примѣняются балки со сквозною стѣнкою. Типъ сѣченія балки выбираютъ въ зависимости отъ имѣющейся въ распоряженiи высоты, отъ необходимаго момента сопротивленія, отъ рода нижняго настила проѣзжей части и отъ способа прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ поперечнымъ. Изъ прокатныхъ балокъ примѣняютъ двутавры и швеллера.

Прокатныя двутавровыя балки (фиг. 66, 126 и 139) прокатываются высотой h отъ 80 до 750 мм. (см. стр. 38 I тома). Наибольшая длина балокъ $l=10$ м. при $h < 150$ мм.; $l=15$ м. при $h=160-250$ мм. и $l=12$ м. при $h=260$ до 400 мм. Нормальная длина = 8 до 9 м. Вслѣдствіе затруднительности прокатки,

обыкновенныя двутаверовыя балки имѣютъ сравнительно небольшую ширину горизонтальныхъ полокъ; но въ 1902 г. инж. Грей удалось изобрѣсти новый способъ прокатки балокъ съ шириною полокъ до 300 мм., при высотѣ балки до 750 мм.

Фиг. 306.



Сортаментъ этихъ балокъ, прокатываемыхъ заводомъ въ Диффердингенѣ (Люксембургѣ), помещенъ въ слѣдующей таблицѣ.

Широкое двутаверовое желѣзо системы Grey, заводъ Differdingen (Luxemburg).

Наибольшая длина = 10 — 13 мет.

Уклонъ внутреннихъ граней полокъ 9⁰/о.

Вѣса даны для литого желѣза (7,85).

№№ профилей.	Размѣры въ миллиметрахъ.					Площадь профиля см. ² ω	Вѣсъ погон. метра кил. g	Моменты инерціи въ см. ⁴		Моменты сопротивленія въ см. ³	
	h	b	t	s_1	s_2			J_1	J_2	W_1	W_2
13 B	127	115	7	—	—	32	25,5	891	222	140	38,5
15 B	152	127	7,5	—	—	39,4	31,0	1579	326	208	51,5
18 B	180	180	8,5	—	—	59,9	47,0	3512	1073	390	119
20 B	200	200	8,5	—	—	70,4	55,3	5171	1568	517	157
24 B	240	240	10	10,5	20,9	96,8	76,0	10260	3043	855	254
25 B	250	250	10,5	10,9	21,7	105,1	82,5	12066	3575	965	286
26 B	260	260	11	11,7	22,9	115,6	90,7	14352	4261	1104	328
27 B	270	270	11,25	12,0	23,6	123,2	96,7	16529	4920	1224	365
28 B	280	280	11,5	12,4	24,4	131,8	103,4	19052	5671	1361	405
29 B	290	290	12	12,7	25,2	141,1	110,8	21866	6417	1508	443
30 B	300	300	12,5	13,3	26,3	152,1	119,4	25201	7494	1680	500
32 B	320	300	13	14,1	27,0	160,7	126,2	30119	7867	1882	524
34 B	340	300	13,4	14,6	27,5	167,4	131,4	35241	8097	2073	540
36 B	360	300	14,2	16,2	29,0	181,5	142,5	42479	8793	2360	586
38 B	380	300	14,8	17,0	29,8	191,2	150,1	49496	9175	2605	612
40 B	400	300	15,5	18,2	31,0	203,6	159,8	57834	9721	2892	648
42 ¹ / ₂ B	425	300	16,0	19,0	31,8	213,9	167,9	68249	10078	3212	672
45 B	450	300	17,0	20,3	33,0	229,3	180,0	80887	10668	3595	711
47 ¹ / ₂ B	475	300	17,6	21,4	34,0	242,0	190,0	94811	11142	3992	743
50 B	500	300	19,4	22,6	35,2	261,7	205,5	111283	11718	4451	781
55 B	550	300	20,6	24,5	37,0	288,0	226,1	145919	12582	5306	839
65 B	650	300	21,1	25,0	37,5	314,5	246,9	215272	12814	6623	854
75 B	750	300	21,1	25,0	37,5	335,6	263,4	282957	12823	7544	855

По сравненію съ обыкновенными двутаверовыми балками, новыя балки имѣютъ при одинаковой высотѣ значительно большіе моменты сопротивленія. Напримеръ, при высотѣ балки въ 200 и въ 550 мм. моментъ сопротивленія относительно горизонтальной главной оси составляетъ 517 и 5306 см.³, вмѣсто 201 и 3602 см.³ для обыкновенныхъ балокъ.

Общій недостатокъ прокатныхъ балокъ состоитъ въ томъ, что по мѣрѣ увеличенія калибра слѣдуетъ понижать допускаемое напряженіе, такъ какъ, чѣмъ крупнѣе калибръ, тѣмъ больше страдаетъ матеріалъ при прокаткѣ; кромѣ того, крупные калибры обжимаются вальцами въ меньшей степени, чѣмъ мелкіе. Гезелеръ рекомендуетъ слѣдующіе коэффициенты ψ уменьшенія основнаго допускаемаго напряженія

при высотѣ балки	300	350	400	500 мм.
коэффициентъ уменьшенія . $\psi =$	0,85	0,83	0,80	0,75.

На этомъ основаніи многіе инженеры примѣняютъ для мостовъ прокатныя балки не выше 300 мм., такъ какъ при большей высотѣ прокатныя балки обходятся дороже клепаныхъ.

Въ прокатныхъ балкахъ слѣдуетъ избѣгать ослабленія горизонтальныхъ полокъ заклепочными отверстіями, такъ какъ, вслѣдствіе большой толщины этихъ полокъ, дыры вызываютъ значительное уменьшеніе момента сопротивленія. Поэтому для удержанія прокатныхъ балокъ отъ опрокидыванія рекомендуется примѣнять подкосы изъ полосового желѣза (фиг. 305) или уголки (фиг. 12 и 153). Для прикрѣпленія къ балкамъ деревянныхъ брусевъ можно воспользоваться однимъ изъ способовъ, указанныхъ въ фиг. 6 до 9, 36 и 41.

Во избѣжаніе чрезмѣрнаго ослабленія, не рекомендуется наклепывать на пояса балокъ горизонтальные листы; въ этихъ случаяхъ всегда выгоднѣе перейти къ клепанымъ балкамъ изъ листовъ и уголковъ.

Швеллерныя балки (фиг. 130 и 246) представляютъ, по сравненію съ двутавровыми, большія удобства для конструкціи въ виду того, что стѣнка имѣетъ гладкую наружную поверхность; но зато швеллера имѣютъ меньшій моментъ сопротивленія и прокатываются высотой не болѣе 300 мм. (см. таблицу на стр. 40 I тома).

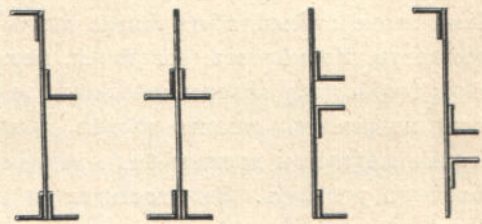
Клепаная продольная балка имѣютъ чаще всего двутавровое сѣченіе (см. § 43), рѣже швеллерное и зетовое сѣченіе, которое примѣняютъ въ тѣхъ случаяхъ, когда при небольшомъ моментѣ сопротивленія сѣченія желательнѣе имѣть возможно большую высоту балки, для удобства ея прикрѣпленія къ поперечной балкѣ. Продольнымъ балкамъ, расположеннымъ подъ тротуарнымъ бордюромъ, иногда придаютъ болѣе сложное сѣченіе изъ вертикальнаго листа и нѣсколькихъ уголковъ, согласно фиг. 307, причемъ промежуточные уголки служатъ для поддержанія настила проезжей части, а верхніе уголки для настила тротуаровъ (фиг. 132, 153 и 252).

Сравнивая клепаная балки съ прокатными, оказывается, что вѣсъ клепаныхъ балокъ получается вообще меньше, такъ какъ при подборѣ ихъ сѣченія можно допускать болѣе высокія напряженія матеріала и можно придавать стѣнкѣ меньшую толщину, чѣмъ въ прокатныхъ балкахъ; но слѣдуетъ имѣть въ виду, что, вслѣдствіе дополнительныхъ расходовъ на заклепочныя соединенія, пудъ клепаныхъ балокъ обходится на 25 до 35% дороже прокатныхъ балокъ въ обработанномъ видѣ. Поэтому, опредѣливъ предварительный вѣсъ балокъ того и другого типа, можно признать клепаная балки болѣе выгодными только въ тѣхъ случаяхъ, когда онѣ получаются легче прокатныхъ не менѣе, чѣмъ на 25 до 35%.

Клепаная двутавровая балка представляютъ наиболѣе употребительный типъ продольныхъ балокъ.

Пояса состоятъ въ большинствѣ случаевъ только изъ двухъ уголковъ; горизонтальные листы встрѣчаются въ балкахъ пролетомъ болѣе 5 м. Въ случаѣ примѣненія горизонтальныхъ листовъ, нерѣдко пропускаютъ ихъ во всю длину балки; можно, однако, сэкономить на матеріалѣ, если обрывать листы сообразно съ эпюрою моментовъ. Въ верхнемъ поясѣ непрерывные листы представляютъ,

Фиг. 307.



конечно, то удобство, что получается ровная поверхность для укладки поперечин; въ случаѣ примѣненія деревянныхъ поперечинъ, неудобства, происходящія отъ этихъ неровностей, могутъ быть устранены врубкою шпаль на разную глубину.

Слѣдуетъ обращать вниманіе на то, чтобы настиль, опирающійся на продольныя балки, передавалъ имъ свое давленіе по возможности центрально, чтобы устранить крученіе балокъ, а при отсутствіи горизонтальныхъ листовъ, также и отрываніе поясныхъ уголковъ отъ стѣнки. Мѣры, предупреждающія такое отрываніе, описаны на стр. 69. Что же касается мѣръ для обезпеченія центральной передачи давленія, то онѣ указаны на стр. 87 и 90.

Стѣнка. За наименьшую толщину можно считать 8 мм. для мостовъ подъ обыкновенную и 9—10 мм. для мостовъ подъ желѣзную дорогу. Высоту стѣнки принимаютъ обыкновенно отъ $\frac{1}{6}$ до $\frac{1}{8}$ пролета; но встрѣчается, какъ большая высота въ $\frac{1}{5,5} l$, такъ и меньшая въ $\frac{1}{11} l$. Ниже этого предѣла не слѣдуетъ

идти, такъ какъ такія низкія балки слишкомъ гибки, и это влечетъ за собою разстройство заклепокъ, прикрѣпляющихъ ихъ къ поперечнымъ балкамъ. Во многихъ старыхъ мостахъ наблюдалось ослабленіе и разстройство заклепочныхъ соединеній, вызванное чрезмѣрными деформациями продольныхъ балокъ, происходящими отъ ихъ недостаточной высоты. Поэтому полезно стремиться къ повышенію жесткости балокъ путемъ возможнаго увеличенія ихъ высоты. Высота балокъ также тѣсно связана съ вопросомъ объ ихъ вѣсѣ, о чемъ будетъ рѣчь въ § 53 и 54.

Уголки жесткости. Для предупрежденія выпучиванія стѣнки подъ дѣйствіемъ нагрузки, продольныя балки снабжаютъ вертикальными уголками жесткости въ тѣхъ случаяхъ, когда ихъ высота $>$ чѣмъ 40δ до 60δ , гдѣ δ — толщина стѣнки въ см. Уголки жесткости размѣщаютъ на взаимномъ разстояніи отъ 1 до 1,5 м. Чѣмъ выше стѣнка, тѣмъ ближе другъ къ другу должны быть поставлены стойки жесткости. Кромѣ того, разстояніе между стойками должно быть уменьшаемо по мѣрѣ возрастанія поперечной силы, такъ что въ простыхъ балкахъ стойки жесткости надлежитъ ставить тѣснѣе около опоръ, чѣмъ близъ середины пролета. Уголки жесткости должны быть непремѣнно продолжены на вертикальныя полки поясныхъ уголковъ. Это достигается или высадкою уголковъ, или прокладками. Послѣдній способъ вообще предпочтительнѣе, такъ какъ высадки страдаютъ слѣдующими недостатками: 1) трудно пригнать уголки съ высадками такъ, чтобы они плотно прилегали по всей своей длинѣ; обыкновенно они плотно прилегаютъ или только къ стѣнкѣ, или къ пояснымъ уголкамъ; вслѣдствіе этого уголки жесткости пружиняютъ во время клепки и обѣ заклепки, между которыми находится высадка, часто оказываются неплотными; 2) въ мѣстѣ высадки образуется зазоръ, недоступный для окраски и способствующій образованію ржавчины; 3) для исполненія высадки приходится нагрѣвать концы уголковъ, что вредно отзывается на литомъ желѣзѣ, вслѣдствіе наличности синей температуры (см. стр. 20 I тома).

Исходя изъ условія, что моментъ инерціи относительно оси стѣнки долженъ быть одинаковъ, какъ для уголка съ прокладкою, такъ и для одного уголка, снабженнаго высадкою, можно, въ случаѣ примѣненія прокладки, уменьшить калибръ уголка жесткости.

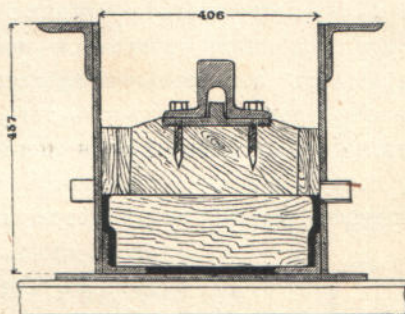
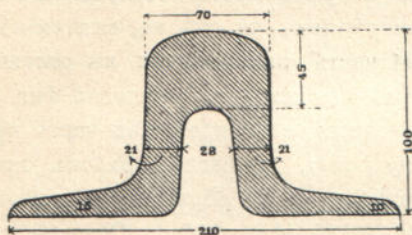
Что касается стоимости, то при высотѣ балки около 0,8 м. она получается одинаковою для обоихъ способовъ; при этомъ уголки предположены въ

обоихъ случаяхъ одинаковыми, такъ что конструкція съ прокладкою имѣетъ бѣльшую жесткость. Если же уменьшить калибръ уголковъ, въ случаѣ примѣненія прокладокъ, то стоимость сравняется при высотѣ балки около 1,0 м.

Имѣя въ виду, что высота продольныхъ балокъ обыкновенно не превышаетъ 1,0 м., слѣдуетъ ихъ уголки жесткости устраивать исключительно съ прокладками, а не съ высадками. Въ Америкѣ прокладки общепотребительны; нерѣдко ихъ дѣлаютъ даже шире уголковъ настолько, чтобы можно было приклепать ихъ дополнительнымъ вертикальнымъ рядомъ заклепокъ (фиг. 353). Что касается остальныхъ деталей конструкціи двутавровыхъ клепаныхъ балокъ, то онѣ даны на стр. 226 до 270 I тома.

Спаренная продольная балка примѣняются въ тѣхъ случаяхъ, 1) если строительная высота ограничена и одна балка обладаетъ недостаточнымъ моментомъ сопротивленія и 2) если желательно воспользоваться продольными балками въ качествѣ охраннаго приспособленія на случай схода колесъ подвижнаго состава съ рельсъ. Примѣръ такого устройства показанъ на фиг. 308. Балочки связаны между собою внизу горизонтальнымъ лис-

Фиг. 308.



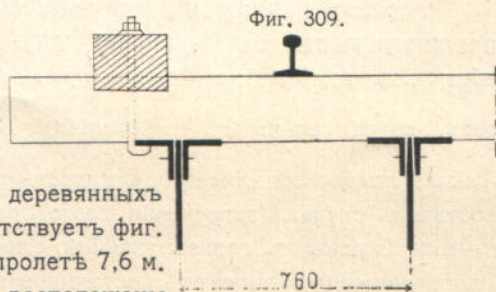
Фортскій мостъ въ Шотландіи.

томъ. Верхъ балочекъ превышаетъ головку рельса на 45 мм. Разстояніе между балочками = 406 мм. и назначено съ такимъ расчетомъ, чтобы бандажъ сошедшаго колеса могъ помѣститься справа или слѣва отъ рельса. Подобныя конструкціи встрѣчаются на многихъ итальянскихъ мостахъ, причемъ рельсы пришиты къ продольному лежню, вложенному между обѣими балочками (фиг. 367 I тома). При такомъ устройствѣ не требуется особыхъ приспособленій для удержанія продольныхъ лежней отъ бокового сдвига.

Другіе примѣры устройства спаренныхъ балокъ показаны въ фиг. 365 до 368 I тома.

Въ послѣднее время американцы примѣняютъ спаренныя продольныя балки также въ случаѣ укладки рельсовъ на деревянныхъ поперечинахъ. Въ мостѣ, которому соответствуетъ фиг. 309, балки имѣютъ высоту 960 мм. при пролетѣ 7,6 м. Всѣ 4 балки, поддерживающія одинъ путь, расположены на одинаковомъ между собою разстояніи въ 760 мм.

Фиг. 309.



Америк. мостъ прол. 61 мет.

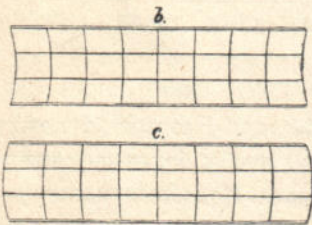
Сквозная продольная балка встрѣчаются рѣдко, такъ какъ продольныя балки имѣютъ обыкновенно слишкомъ малый пролетъ для рациональной конструкціи сквозной стѣнки, и онѣ обошлись бы дороже сплошныхъ балокъ. Были по-

пытки (проектъ моста черезъ Западную Двину на Бологое-Полоцкой желѣзной дороги), примѣнить для продольныхъ балокъ безраскосную систему Виренделя; но онѣ не увѣнчались успѣхомъ, такъ какъ оказалось, что такія балки не легче, чѣмъ обыкновенныя сплошныя балки. Тѣмъ же недостаткомъ страдаютъ фермы извѣстнаго моста прол. 31,5 м., построеннаго Виренделемъ для испытанія на Брюссельской выставкѣ 1897 г.³⁾

§ 43. Вліяніе измѣненія длины поясовъ фермъ на балки проѣзжей части.

Представимъ себѣ пролетное строеніе моста, проѣзжая часть котораго расположена вблизи верхняго или нижняго пояса фермъ, причемъ устроено неподвижное соединеніе продольныхъ балокъ съ поперечными и поперечныхъ балокъ съ фермами. Тогда при упругомъ измѣненіи длины ближайшихъ поясовъ фермъ, подѣ дѣйствіемъ временной нагрузки, или температуры, поперечныя балки выгибаются въ горизонтальной плоскости. Это явленіе происходитъ отъ того, что продольныя балки задерживаютъ среднюю часть поперечныхъ балокъ, между тѣмъ какъ концы послѣднихъ увлекаются поясами фермъ вдоль моста. Величина прогиба возрастаетъ отъ середины пролета къ опорамъ моста. Направленіе изгиба поперечныхъ балокъ зависитъ отъ того, прикрѣплены ли онѣ къ сжатому или къ растянутому поясу фермъ. Если проѣзжая часть прикрѣплена къ растянутому нижнему поясу, прогибъ поперечныхъ балокъ происходитъ согласно фиг. 310 б, съ обращеніемъ выпуклости къ серединѣ пролета; если проѣзжая часть прикрѣ-

Фиг. 310.



плена къ сжатому поясу, то изгибъ балокъ происходитъ въ обратную сторону, съ обращеніемъ выпуклости въ сторону опоръ моста (фиг. 310 с). Отъ такого прогиба поперечныя балки, особенно опорныя, испытываютъ значительныя дополнительныя напряженія; что же касается продольныхъ балокъ, то въ нихъ возникаетъ продольное растягивающее или сжимающее усиліе, которое имѣетъ наибольшую величину по серединѣ пролета фермъ. Это усиліе имѣетъ мало значенія для самихъ балокъ, но весьма вредно отзывается на заклепочныхъ соединеніяхъ между продольными и поперечными балками.

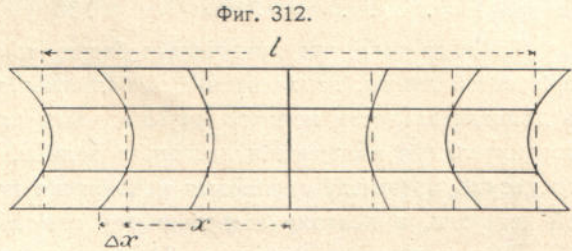
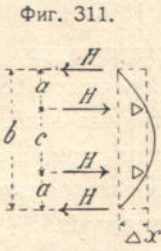
Расчетъ напряженій въ поперечныхъ балкахъ однопутнаго желѣзнодорожнаго моста съ ѣздою по низу. Сдѣлаемъ слѣдующія допущенія: 1) пренебрегаемъ измѣненіемъ длины продольныхъ балокъ, въ виду его незначительности, сравнительно съ измѣненіемъ длины поясовъ; 2) напряженіе $n = \frac{U}{\omega}$

нижняго пояса принимаемъ одинаковымъ на всемъ его протяженіи, что соответствуетъ случаю загрузенія всего пролета; 3) при разсмотрѣннн изгиба поперечныхъ балокъ къ горизонтальной плоскости, считаемъ ихъ концы свободными; 4) поперечныя балки имѣютъ постоянное поперечное сѣченіе и прямую нейтральную ось; 5) оси продольныхъ и поперечныхъ балокъ расположены на одинаковомъ уровнѣ.

Разсмотримъ вторую поперечную балку слѣва, отстоящую на x отъ середины

³⁾ См. замѣтку автора на стр. 318 журнала „Инженеръ“ за 1906 г.

пролета. Можно разсматривать эту балку какъ двухконсольную съ опорами въ мѣстахъ ея соединенія съ продольными балками. Свободные концы балки увлекаются влѣво подѣ дѣйствіемъ удлиненія поясовъ на величину



$$\Delta x = \frac{n \cdot x}{E} \dots \dots \dots (78)$$

гдѣ n — напряженіе пояса въ к./см.², одинаковое во всѣхъ панеляхъ;
 E — коэффициентъ упругости желѣза въ к./см.².

Чтобы опредѣлить моментъ и напряжения, соответствующія такому изгибу балки, разсчитаемъ величину фиктивныхъ силъ H , которыя, будучи приложены къ концамъ балки, вызываютъ ихъ прогибъ на ту же величину Δx . Прогибъ Δx концовъ балки, подѣ дѣйствіемъ силъ, показанныхъ въ фиг. 311, выражается извѣстною формулою

$$\Delta x = \frac{H \cdot a^2(3b - 4a)}{6 E J} \dots \dots \dots (79)$$

гдѣ J — въ см.⁴ моментъ инерціи поперечной балки относительно вертикальной оси, а обозначенія a и b усматриваются изъ фиг. 311.

Приравнивая значенія Δx , выраженные формулами (78) и (79), имѣемъ

$$\frac{n \cdot x}{E} = \frac{H \cdot a^2(3b - 4a)}{6 E J}$$

$$H = \frac{6 J \cdot n \cdot x}{a^2(3b - 4a)} \dots \dots \dots (80)$$

Наибольшій изгибающій моментъ $M = H \cdot a$.

Обозначая черезъ e ширину пояса поперечной балки, получимъ наибольшее ея напряженіе въ к./см.²:

$$\gamma = \frac{M \cdot e}{2 J} = \frac{H \cdot a \cdot e}{2 J} = \frac{3 n \cdot x \cdot e}{a(3b - 4a)}$$

Наиболѣе напряженной будетъ опорная балка, для которой x имѣетъ наибольшее значеніе $= \frac{l}{2}$ въ см.

$$\max \gamma = \frac{3 n \cdot l \cdot e}{2 a(3b - 4a)} \dots \dots \dots (81)$$

Подставляемъ слѣдующія значенія, соответствующія однопутнымъ желѣзнодорожнымъ мостамъ:

$$b = 560 \text{ см.}; \quad c = 200 \text{ см.}; \quad a = \frac{b - c}{2} = 180 \text{ см.};$$

$$n = 900 \text{ к./см.}^2; \quad e = 20 \text{ см.}; \quad l \text{ въ см.}$$

$$\gamma = \frac{3 \cdot 900 \cdot 20 \cdot l}{2 \cdot 180 (3 \cdot 560 - 4 \cdot 180)} = 0,156 \cdot l \text{ к./см.}^2.$$

При пролетѣ фермъ $l =$	20	50	100	150 мет.
Напряженіе $\gamma =$	312	780	1560	2340 к./см. ² .

Въ виду того, что продольныя балки также испытываютъ нѣкоторое измѣненіе своей длины, дополнительныя напряженія поперечныхъ балокъ получаются въ дѣйствительности немного меньше, чѣмъ рассчитанныя выше; но все-таки эти дополнительныя напряженія настолько велики, особенно при большихъ пролетахъ, что могутъ превышать основныя напряженія поперечныхъ балокъ отъ вертикальной нагрузки, и поэтому заслуживаютъ серьезнаго вниманія.

Продольныя усилія въ продольныхъ балкахъ зависятъ отъ жесткости поперечныхъ балокъ вдоль моста. Расчетъ, произведенный для однопутнаго желѣзнодорожнаго моста пролетомъ 54 м., съ 9 панелями по 6 м. и съ двумя продольными балками сѣченіемъ 170 см.², показываетъ, что напряженіе отъ продольной силы составляетъ 13 к./см.² въ продольныхъ балкахъ крайнихъ панелей и 45 к./см.² въ балкахъ средней панели.

По наблюденіемъ оказывается, что въ мостахъ съ ѣздою по низу напряженія въ нижнемъ поясѣ всегда меньше, чѣмъ въ верхнемъ, потому, что продольныя балки принимаютъ на себя часть усилія нижняго пояса. Результаты такихъ наблюденій, произведенныхъ французскимъ инженеромъ Lappa на мостахъ Орлеанской жел. дор., помѣщены въ слѣдующей таблицѣ.

НАЗВАНІЕ МОСТА.	Пролетъ фермъ мет.	Напряженія въ к./см. ² измѣренныя по серединѣ пролета въ поясѣ		Разница въ ‰ отъ большаго напряженія.
		нижнемъ.	верхнемъ.	
Pont sur le Lothan	14	+ 263	- 325	19
Pont de Sully sur la Loire	53,7	+ 313	- 437	28
	60	+ 369	- 400	8 †)
	53,7	+ 213	- 325	35
Pont du Cosquer	18	+ 275	- 388	29
Pont sur l'Arnon	16,5	+ 119	- 187	36
Pont de Lorient sur le Scorff	66,8	+ 300	- 325	8 †)

Если крайнія продольныя балки расположены близко отъ поясовъ фермъ, какъ въ мостахъ подъ обыкновенную дорогу, то поперечныя балки получаютъ, вслѣдствіе горизонтальнаго изгиба, громадныя дополнительныя напряженія въ мѣстахъ прикрѣпленія крайнихъ продольныхъ балокъ; кромѣ того, сильно напряжены заклепки, прикрѣпляющія поперечныя балки къ фермамъ. Если для уменьшенія этихъ напряженій не прибѣгаютъ къ одной изъ мѣръ, указанныхъ далѣе, то можно ограничиться подвижнымъ прикрѣпленіемъ къ поперечнымъ балкамъ только тѣхъ продольныхъ балокъ, которыя ближе къ фермамъ.

Въ мѣстахъ сопряженія поперечныхъ балокъ съ фермами получаютъ значительныя напряженія также и въ томъ случаѣ, когда проѣзжая часть снабжена

†) Небольшая разница въ 8‰ объясняется тѣмъ, что фермы неразрѣзныя и измѣренія произведены въ среднемъ пролетѣ, гдѣ нижній поясъ растянутъ только въ средней части пролета, а около опоръ онъ сжатъ.

сплошнымъ желѣзнымъ настиломъ, приклепаннымъ къ ея балкамъ. Въ этомъ случаѣ немалая часть усилія въ поясахъ фермъ передается настилу и продольнымъ балкамъ черезъ концы поперечныхъ балокъ. Давленіе, дѣйствующее на концы поперечныхъ балокъ въ горизонтальномъ направленіи, можетъ оказаться больше ихъ вертикальнаго давленія. Это обстоятельство слѣдуетъ имѣть въ виду при расчетѣ заклепокъ для прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ фермамъ.

Мѣры для устранения горизонтальнаго прогиба поперечныхъ балокъ.

Въ мостахъ малыхъ и среднихъ пролетовъ считаютъ возможнымъ обходиться безъ такихъ мѣръ, но такъ какъ размѣръ горизонтальнаго прогиба поперечныхъ балокъ увеличивается вмѣстѣ съ пролетомъ фермъ, и вызываетъ значительныя дополнительныя напряженія, то въ большихъ мостахъ, или при расположеніи продольныхъ балокъ очень близко отъ фермъ, необходимо принимать мѣры для устранения указанныхъ вредныхъ явленій. Нѣкоторые американскіе инженеры считаютъ 61 мет. за наибольшую длину моста, при которой можно еще приклепывать продольныя балки наглухо къ поперечнымъ. При бѣльшей длинѣ они прерываютъ продольныя балки устройствомъ подвижныхъ соединеній такъ, чтобы длина участковъ съ непрерывными, т. е. наглухо прикрѣпленными продольными балками, не превышала 61 мет.

1) Наиболе дѣйствительная и раціональная мѣра заключается въ устройствѣ проѣзжей части свободною, т. е. независимою отъ фермъ, такъ чтобы на нее не вліяли деформации фермъ. Лучше всего, если проѣзжая часть расположена выше или ниже фермъ. Если она расположена на уровнѣ одного изъ поясовъ фермъ, то желаемая независимость достигается шарнирнымъ прикрѣпленіемъ поперечныхъ балокъ къ фермамъ и притомъ такъ, чтобы при измѣненіи своей длины пояса фермъ не увлекали за собою концы поперечныхъ балокъ. Это достигается оставленіемъ въ опорныхъ частяхъ поперечныхъ балокъ такихъ зазоровъ, которые допускали бы ихъ перемѣщеніе вдоль моста ⁵⁾. (Подробности см. въ §§ 65 и 66).

2) При расположеніи проѣзжей части въ плоскости нейтральной оси фермъ, она также освобождается отъ вліянія, оказываемаго измѣненіями длины поясовъ фермъ, потому, что нейтральная ось фермъ не измѣняетъ своей длины.

3) Для уменьшенія дополнительныхъ напряженій въ поперечныхъ балкахъ, полезно уменьшать ширину поясовъ поперечныхъ балокъ до того предѣла, при которомъ балки будутъ обладать еще достаточною устойчивостью (см. § 56).

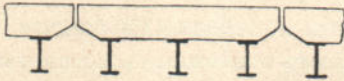
4) Чтобы освободить балки отъ той части дополнительныхъ напряженій, которая соотвѣтствуетъ дѣйствию постоянной нагрузки моста, принято приклепывать продольныя балки къ поперечнымъ только послѣ установки фермъ на опоры, когда фермы уже напряжены отъ собственнаго вѣса и отъ вѣса балокъ проѣзжей части. При этомъ достаточно оставлять неприклепаннымъ только одинъ конецъ каждой продольной балки, между тѣмъ какъ другой конецъ можетъ быть приклепанъ раньше.

5) Величина усилій, передаваемыхъ поперечнымъ балкамъ отъ поясовъ фермъ, уменьшится, если устранить непрерывность продольныхъ балокъ, раздѣляя ихъ на участки путемъ устройства подвижныхъ стыковъ, черезъ которые не могутъ

⁵⁾ Только одна изъ среднихъ поперечныхъ балокъ неподвижно прикрѣпляется къ фермамъ.

передаваться усилія, дѣйствующія вдоль моста, или вовсе прерывая продольныя балки въ этихъ мѣстахъ. Въ обоихъ случаяхъ получаютъ продольныя балки консольнаго типа, причемъ концы консолей или просто сближаются съ оставленіемъ зазора между ними (фиг. 313), или опираются одинъ

Фиг. 313.



на другой (фиг. 369), или сопрягаются между собою при помощи подвѣсной балочки.

Если подвижныя соединенія продольныхъ балокъ устроить въ каждой второй панели проезжей части, то изгибъ поперечныхъ балокъ и ихъ дополнительныя напряженія значительно уменьшатся, такъ какъ они будутъ соответствовать деформации поясовъ фермъ на протяженіи только одной панели. Соответственныя схемы деформации поперечныхъ балокъ показаны въ фиг. 314 и 315 и разнятся тѣмъ, что въ фиг. 314 каждая половина моста имѣетъ нечетное, а въ фиг. 315—четное число панелей.

Фиг. 314.



Фиг. 315.



При такомъ размѣщеніи подвижныхъ стыковъ надо слѣдить за тѣмъ, чтобы продольныя балки были наглухо приклепаны къ поперечнымъ въ послѣдней панели моста слѣва и справа, т. е. тамъ, гдѣ поперечныя балки наиболѣе напряжены какъ распорки связей и должны быть возможно жестче.

б) Наиболѣе употребительныя мѣры для пониженія дополнительныхъ напряженій поперечныхъ балокъ заключаются въ способѣ прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ поперечнымъ; при этомъ поступаютъ двояко.

а) Прикрѣпленіе продольныхъ балокъ къ поперечнымъ устраиваютъ съ продольною подвижностью. При этомъ продольныя балки могутъ быть разрывнаго или неразрывнаго типа. Въ первомъ случаѣ перемѣщенія продольныхъ балокъ относительно поперечныхъ получаютъ меньше. (Подробности въ § 45).

При неразрывныхъ продольныхъ балкахъ эти перемѣщенія могутъ быть значительны, такъ, на примѣръ, при испытаніи ж.-д. съ ѣздой по верху моста пролетомъ 80 мет. черезъ Рейнъ въ Тузисѣ наблюдалось, что свободныя неразрывныя балки перемѣщались по опорнымъ поперечнымъ балкамъ на 3,5 мм.

Въ мостахъ подѣ обыкновенную дорогу, съ большимъ числомъ продольныхъ балокъ, иногда ограничиваются подвижнымъ прикрѣпленіемъ только тѣхъ продольныхъ балокъ, которыя ближе къ фермамъ.

б) Прикрѣпленіе всѣхъ продольныхъ балокъ къ поперечнымъ устраиваютъ неподвижнымъ съ такимъ расчетомъ, чтобы продольныя балки участвовали въ измѣненіяхъ длины поясовъ фермъ, воспринимая часть ихъ усилій. Для устраненія горизонтальнаго изгиба поперечныхъ балокъ, примѣняютъ одну изъ слѣдующихъ мѣръ.

а) Концы моста снабжаютъ особыми поперечными балками со сплошною или сквозною стѣнкою, обладающими большою жесткостью въ горизонтальной плоскости и воспринимающими усилія отъ продольныхъ балокъ.

б) Продольныя балки прикрѣпляютъ непосредственно къ діагоналямъ продольныхъ связей между фермами, или соединяютъ продольныя балки съ узлами фермъ при помощи особыхъ діагоналей (тормазныя связи).

γ) Если проѣзжая часть имѣетъ сплошной желѣзный настилъ (листовой), то приклепываютъ его также къ поясамъ фермъ.

Иногда можно примѣнять сразу нѣсколько изъ вышеуказанныхъ мѣръ. Есть примѣры, когда продольныя балки среднихъ панелей снабжены продольною подвижностью, а остальные продольныя балки прикрѣплены къ діагоналямъ продольныхъ связей между фермами; кромѣ того, прикрѣпленіе продольныхъ балокъ къ поперечнымъ произведено только послѣ установки фермъ на опоры.

Примѣняя ту или другую мѣру, слѣдуетъ имѣть въ виду, чтобы она не находилась въ противорѣчїи съ другими требованїями. Такъ, на примѣръ, въ открытомъ мосту со свободнымъ сжатымъ поясомъ было бы нераціонально снабжать продольныя балки перерывами, такъ какъ неразрѣзныя продольныя балки весьма желательны для такихъ мостовъ, уменьшая выгибъ верхняго пояса фермъ во внутрь моста (см. § 46 и 60).

§ 44. Классификація продольныхъ балокъ.

Продольныя балки могутъ быть разрѣзной, неразрѣзной и консольной системы. Существенное значеніе имѣетъ способъ ихъ прикрѣпленія къ поперечнымъ балкамъ; прикрѣпленіе можетъ быть подвижное или неподвижное ⁶⁾, смотря по тому, допускаетъ ли оно перемѣщеніе (вдоль моста) продольныхъ балокъ относительно поперечныхъ. Подвижное прикрѣпленіе всегда бываетъ шарнирнымъ, а неподвижное можетъ быть или жесткимъ, или шарнирнымъ, смотря по тому, допускаетъ ли оно при прогибѣ продольныхъ балокъ вращеніе ихъ концовъ относительно поперечныхъ балокъ.

Комбинируя возможные способы прикрѣпленія, получаемъ три основныхъ типа прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ поперечнымъ, относящихся въ равной степени къ разрѣзнымъ, неразрѣзнымъ и консольнымъ продольнымъ балкамъ.

1) Шарнирно-подвижное прикрѣпленіе, при которомъ концы продольныхъ балокъ могутъ и вращаться и перемѣщаться вдоль моста.

2) Шарнирно-неподвижное прикрѣпленіе, при которомъ концы продольныхъ балокъ могутъ только вращаться.

3) Жесткое прикрѣпленіе (всегда неподвижное), при которомъ невозможно ни вращеніе, ни продольное перемѣщеніе концовъ продольныхъ балокъ.

Для ознакомленія съ конструкціею и съ расчетомъ продольныхъ балокъ, рассмотримъ отдѣльно разрѣзныя, неразрѣзныя и консольныя балки.

§ 45. Прикрѣпленіе разрѣзныхъ продольныхъ балокъ.

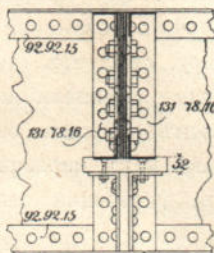
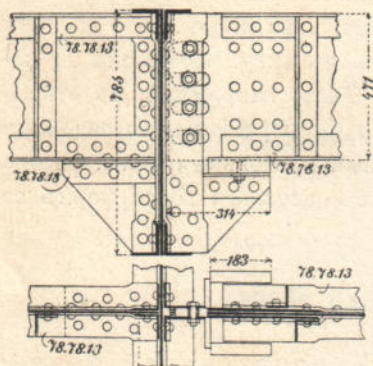
А) Шарнирно-подвижное прикрѣпленіе продольныхъ балокъ къ поперечнымъ. Для достиженія хотя бы небольшой шарнирности и подвижности, можно примѣнять слѣдующій простѣйшій способъ. Временно, т. е. до установки фермъ на опоры, прикрѣпляютъ одинъ конецъ продольной балки помощью болтовъ съ устройствомъ дыръ овальныхъ или большаго діаметра. Послѣ установки фермъ на опоры замѣняютъ болты заклепками, съ оставленіемъ тѣхъ же овальныхъ дыръ.

⁶⁾ Балки съ подвижнымъ прикрѣпленіемъ работаютъ только на изгибъ, между тѣмъ какъ при неподвижномъ прикрѣпленіи онѣ работаютъ одновременно на изгибъ и на продольное усиліе.

Что касается другого конца продольной балки, то его сразу наглухо приклепываютъ къ поперечной балкѣ.

Теперь рассмотримъ нѣсколько болѣе совершенныхъ способовъ шарнирно-подвижнаго прикрѣпленія.

I способъ. Конецъ продольной балки опирается на кронштейнъ, при-

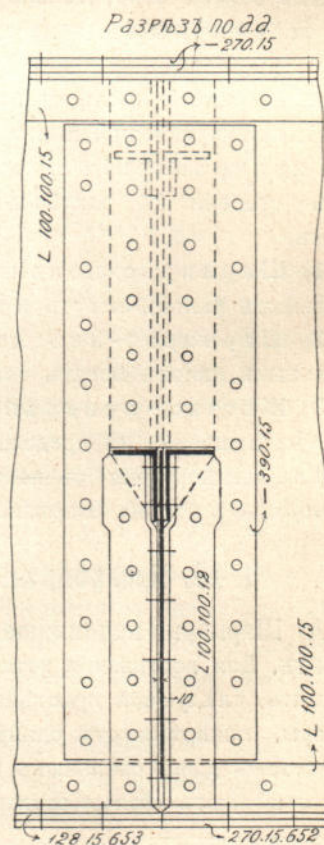
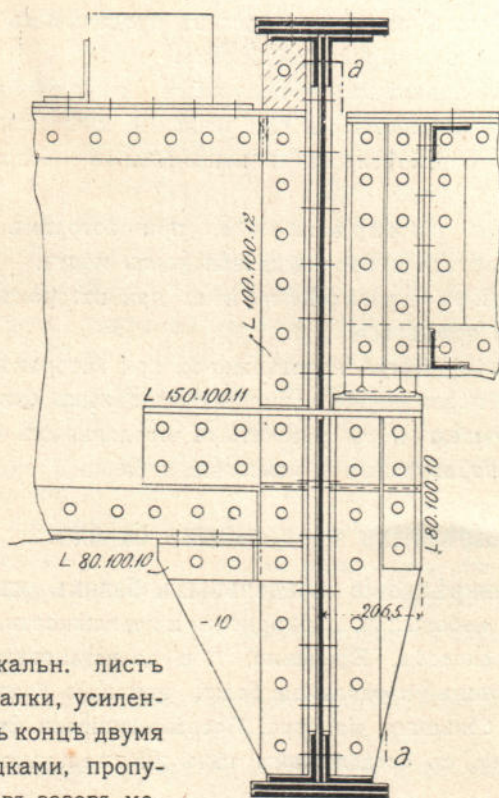


Фиг. 316.

Мостъ черезъ Руръ въ Кеттвигѣ.

заклепками и снабженъ двумя горизонтальными уголками, на которыхъ уложена чугунная подушка толщиною 52 мм., служащая опорой для продольной балки.

Фиг. 317



Вертикальн. листъ этой балки, усиленный въ концѣ двумя накладками, пропущенъ въ зазоръ между уголками поперечной балки и прикрѣпленъ къ нимъ 4-мя болтами съ устройствомъ овальныхъ дыръ въ стѣнкѣ продольной балки.

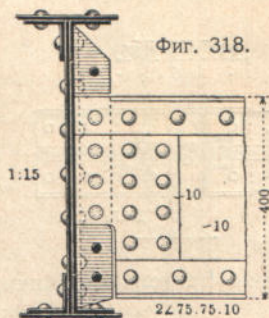
железнодорожный мостъ черезъ Рейнъ въ Вормсѣ.

железнодорожный мостъ черезъ Рейнъ въ Вормсѣ.

Другой примѣръ желѣзнаго кронштейна показанъ въ фиг. 317. Кронштейнъ состоитъ изъ трапециoidalнаго вертикальнаго листа, который зажатъ между двумя короткими вертикальными уголками 100 . 100 . 12 мм., приклепанными къ поперечной балкѣ. Верхній конецъ этого листа зажатъ между двумя горизонтальными уголками 150 . 100 . 11 мм., которые пропущены черезъ треугольное отверстіе въ стѣнкѣ поперечной балки, приклепаны къ стѣнкѣ продольной балки 8-ю заклепками и служатъ весьма дѣйствительною мѣрою противъ отрыванія кронштейна отъ поперечной балки.

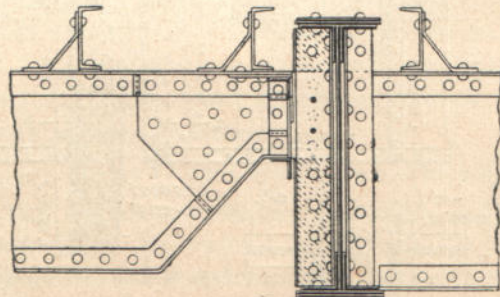
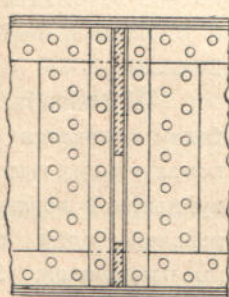
Большой недостатокъ прикрѣпленія продольныхъ балокъ помощью кронштейна заключается въ томъ, что нагрузка передается отъ продольной балки на поперечную съ большимъ эксцентрицитетомъ, вызывающимъ скручиваніе поперечной балки.

II способъ. Конецъ продольной балки опирается на прокладку между вертикальными уголками поперечной балки. Если продольныя балки устроены изъ двутавроваго желѣза, то ихъ горизонтальныя полки обрѣзаютъ при встрѣчѣ съ вертикальными уголками поперечной балки, а стѣнку пропускаютъ въ зазоръ между этими уголками и опираютъ на прокладку. Если продольныя балки склепаны изъ листа и уголковъ, то послѣдніе обрываютъ при встрѣчѣ съ вертикальными уголками поперечной балки, а стѣнку пропускаютъ въ зазоръ между ними и опираютъ на прокладку. При этомъ приходится усиливать стѣнку наклейкою на нее накладокъ. Если допускаетъ величина касательныхъ напряженій, то ограничиваются такими накладками, которыя помѣщаются между поясными уголками продольной балки и, вмѣстѣ со стѣнкою, пропускаютъ въ зазоръ также и вертикальныя полки верхнихъ уголковъ (фиг. 318). Въ противномъ случаѣ приходится пропускать накладки подъ поясные уголки продольной балки и высаживать таковыя (фиг. 319). Въ примѣрѣ, показанномъ на фиг. 319, конецъ вертикальнаго листа продольной балки скошенъ до высоты 280 мм. и усиленъ двумя наклепанными на него накладками толщиной по 8 мм., которыя пропущены подъ поясные уголки продольной балки, такъ что зазоръ между вертикальными уголками поперечной балки, въ который пропущенъ конецъ продольной балки, имѣетъ ширину въ 26 мм. Верхъ прокладки, на которую опирается конецъ продольной балки, снабженъ



Фиг. 318.

Фиг. 319.

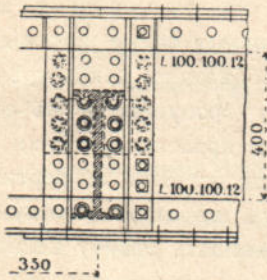


Жел.-дор. мостъ чер. Сѣверо-Германскій каналъ въ Грюнентальѣ.

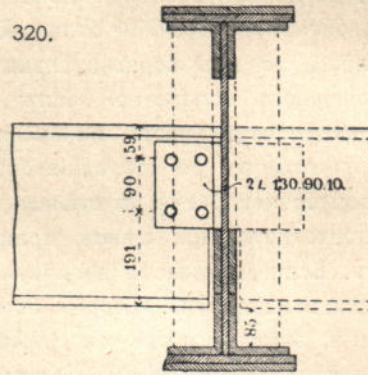
пропущено два болта, причемъ дыры въ стѣнкѣ продольной балки имѣютъ на-

столько бѣльшій діаметръ, что допускають ея вращеніе и продольное перемѣщеніе до требуемаго размѣра. Концы обѣихъ продольныхъ балокъ, примыкающихъ слѣва, связаны между собою распоркою изъ двухъ горизонтальныхъ уголковъ 70.70.10 мм.

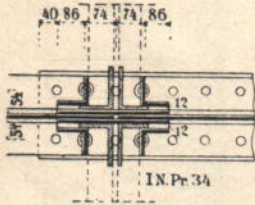
III способъ. Конецъ продольной балки, при помощи двухъ приклепанныхъ къ нему вертикальныхъ уголковъ, опирается на накладку, приклепанную къ стѣнкѣ поперечной балки (фиг. 320). При этомъ значительно уменьшается эксцентриситетъ, съ которымъ продольная балка дѣйствуетъ на поперечную, а потому и моментъ, скручивающій послѣднюю. Какъ видно изъ примѣра въ фиг. 320, къ концу каждой продольной балки изъ двутавроваго желѣза приклепано четыремя заклепками по два короткихъ уголка 130.90.10 мм., которые опираются на прямоугольную накладку, толщиною 12 мм., приклепанную восемью заклепками къ стѣнкѣ поперечной балки. Для того, чтобы продольная балки не соскочили съ



Фиг. 320.



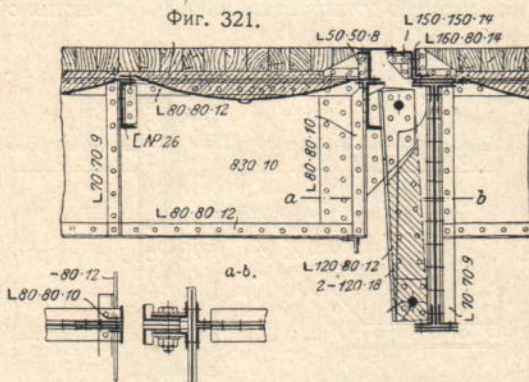
этихъ узкихъ опоръ, поперечная балка снабжена съ каждой стороны двумя вертикальными уголками, которые немного (16 мм.) захватываютъ края уголковъ



Мостъ чер. Зааръ въ Заарбургѣ съ ѣздою по низу. продольной балки ⁷⁾. Между тѣми и другими уголками, а также между торцомъ продольной балки и стѣнкою поперечной, оставленъ зазоръ въ 2 мм., чтобы допустить прогибъ и перемѣщеніе продольной балки. Въ рассматриваемомъ примѣрѣ длина панели $d = 4,25$ м.; продольное перемѣщеніе

продольной балки, или удлиненіе нижняго пояса фермъ въ предѣлахъ одной панели, $\frac{d \cdot n}{E} = \frac{425 \cdot 600}{2000000} = 0,13$ см.; при наибольшемъ прогибѣ продольной

Фиг. 321.



балки верхняя точка ея торца перемѣщается на 0,03 см. Слѣдовательно, полное перемѣщеніе $1,3 + 0,3 = 1,6$ мм., т. е. меньше имѣющагося зазора въ 2 мм.

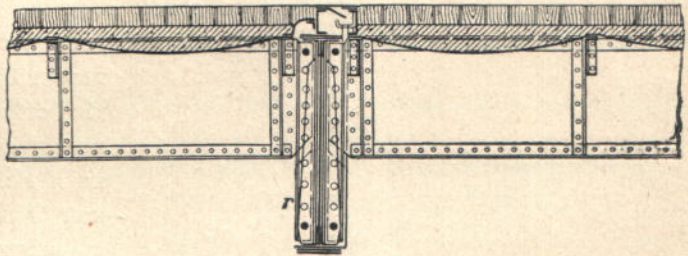
Конкурс. проектъ шосс. моста черезъ Рейнъ въ Рурортѣ.

IV способъ. Конецъ продольной балки опирается на поперечную при помощи качающейся стойки, прикрѣпленной верхнимъ концомъ къ продольной балкѣ, а нижнимъ концомъ къ поперечной. Этотъ сравнительно новый способъ уже неоднократно предлагался въ конкурсныхъ проектахъ и

⁷⁾ Для удобства сборки правый вертикальный уголокъ прикрѣпленъ къ поперечной балкѣ не заклепками, а болтами.

исполненъ между прочимъ въ новомъ (1901 г.) арочномъ шоссеиномъ мосту черезъ Эльбу въ Магдебургѣ. Въ примѣрѣ, показанномъ на фиг. 321, качающаяся стойка состоитъ изъ 2 уголковъ 120 . 80 . 12 мм. Наверху эти уголки обхватываютъ конецъ стѣнки продольной балки (10 мм.), усиленной двумя приклепанными къ ней накладками по 13 мм. и прикрѣплены къ ней горизонтальнымъ болтомъ діаметромъ 50 мм. Въ нижней части качающейся стойки ея уголки плотно обхватываются двумя вертикальными уголками 120 . 80 . 12 мм., приклепанными къ поперечной балкѣ и усиленными внизу двумя прямоугольными наружными накладками толщиной по 13 мм., черезъ которыя пропущенъ нижній шарнирный болтъ $d = 50$ мм. качающейся стойки (см. разрѣзъ по $a - b$). Въ нижней части качающейся стойки между ея уголками остается щель въ 36 мм., которая заполнена двумя прокладками 120 . 18 мм. Чтобы вертикальные уголки, приклепанные къ поперечной балкѣ, не мѣшали верхнему болту шарнира, въ ихъ выступающихъ полкахъ сдѣланъ вырѣзъ. Въ фиг. 322 показанъ другой примѣръ такой же конструкции, примененной для прикрѣпленія какъ лѣвой, такъ и правой продольной балки.

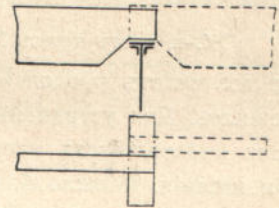
Фиг. 322.



Конкур. проектъ гор. моста чер. Неккаръ въ Маннгеймѣ.

V способъ. Концы продольныхъ балокъ опираются непосредственно на верхній поясъ поперечныхъ балокъ. Въ случаѣ примененія выпуклыхъ подушекъ, этотъ способъ позволяетъ всецѣло устранить внѣцентричное дѣйствіе продольныхъ балокъ на поперечныя, но онъ требуетъ большую строительную высоту. Для уменьшенія этой высоты, можно скашивать нижній конецъ продольныхъ балокъ (фиг. 323) до размѣра, допускаемого скальвающими напряжениями. Если продольныя балки разрѣзныя и нельзя устроить центральной опоры (см. стр. 167 II тома), то приходится располагать концы смежныхъ балокъ рядомъ (планъ фиг. 323), опирая ихъ на одну общую подушку.

Фиг. 323.

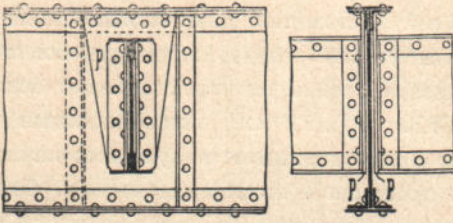


Для удержанія продольныхъ балокъ отъ опрокидыванія устраиваютъ 1) или поперечныя связи между ними, 2) или подкосы, прикрѣпленные къ балкамъ подвижнымъ образомъ. Кромѣ того, полезно соединять концы смежныхъ балокъ помощью болтовъ въ овальныхъ дырахъ. Вообще слѣдуетъ замѣтить, что разсматриваемый способъ даетъ при разрѣзныхъ балкахъ неудовлетворительныя конструкции. При неразрѣзныхъ балкахъ онъ гораздо умѣстнѣе.

VI способъ. Прикрѣпленіе помощью листового шарнира. Продольная балка подвѣшивается къ поперечной при помощи вертикальнаго листа, приклепаннаго верхнимъ краемъ къ поперечной балкѣ. Вслѣдствіе гибкости листа такое прикрѣпленіе допускаетъ не только вращеніе, но и небольшое продольное перемѣщеніе продольной балки относительно поперечной. Чтобы уменьшить моментъ, скручивающій поперечную балку, слѣдуетъ прикрѣплять листъ шарнира возможно ближе къ стѣнкѣ поперечной балки. Въ фиг. 324 съ каждой стороны поперечной

балки продольная балка повѣшена къ трапециoidalному вертикальному листу p ,

Фиг. 324.

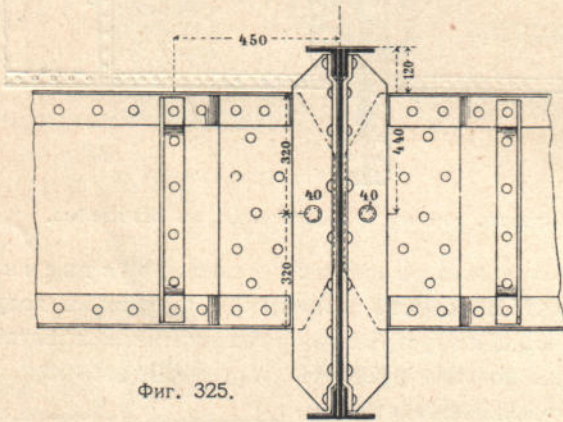


приклепанному къ верхнему поясному уголку поперечной балки, причѣмъ ея уголки жесткости вынесены за предѣлы шарнирнаго листа. Къ продольной балкѣ этотъ листъ приклепанъ по всей ея высотѣ при помощи пары концевыхъ уголковъ, причѣмъ заклепки имѣютъ потайныя головки со стороны, обращенной къ поперечной балкѣ.

В) Шарнирно-неподвижное прикрѣпление разрывныхъ продольныхъ балокъ.

Болтовой шарниръ представляетъ простѣйшій способъ шарнирнаго прикрѣпленія. Давленіе продольной балки передается на поперечную при помощи шарнирнаго болта, пропущеннаго съ одной стороны черезъ стѣнку продольной балки, а съ другой стороны—черезъ вертикальные уголки, приклепанные къ поперечной балкѣ.

Во избѣжаніе смятія стѣнки продольной балки, на нее наклепываютъ одну или двѣ накладки. Поясные уголки продольной балки обрываютъ при встрѣчѣ съ вертикальными уголками поперечной балки, а стѣнку пропускаютъ въ зазоръ между этими уголками (фиг. 325). Въ мостѣ, къ которому относится фиг. 325, шарнирные болты имѣютъ діаметръ 40 мм.



Фиг. 325.

Ж.-д. мостъ черезъ Майнъ въ Вертгеймѣ.

не допускаетъ продольнаго перемѣщенія продольныхъ балокъ относительно поперечныхъ. Для устраненія этого недостатка можно примѣнить овальныя дыры, если выдерживаетъ напряженіе на смятіе, которое при этомъ происходитъ по линіи касанія. Можно было бы придать стержню болта въ предѣлахъ стѣнки продольной балки квадратное сѣченіе, дѣлая дыру въ продольной балкѣ продолговатою. Другой недостатокъ этой конструкции заключается въ скручиваніи поперечной балки отъ внѣцентричнаго давленія продольной балки въ томъ случаѣ, когда временная нагрузка расположена неравномѣрно въ двухъ смежныхъ панеляхъ проѣзжей части.

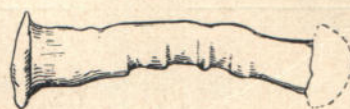
С) Жесткое прикрѣпление продольныхъ балокъ къ поперечнымъ. Жесткое прикрѣпление, отличающаеся простотою конструкции, представляетъ до настоящаго времени наиболѣе распространенный способъ, несмотря на серіозные его недостатки. Пока не повреждены заклепки, прикрѣпляющія продольныя балки къ поперечнымъ, продольныя балки находятся въ условіяхъ неразрывной балки, вслѣдствіе чего верхнимъ заклепкамъ, проходящимъ черезъ стѣнку поперечной балки, передаются растягивающія усилія, которыя расшатываютъ заклепки и могутъ даже привести къ отрыванію головокъ. вмѣстѣ съ тѣмъ расшатываются заклепки въ стѣнкѣ продольныхъ балокъ. По наблюденіямъ извѣстно, что прежде всего рас-

Недостатокъ болтового шарнира заключается въ томъ, что онъ

шатывается крайняя верхняя заклепка, затѣмъ крайняя нижняя, затѣмъ вторая сверху, вторая снизу и т. д. Это явленіе объясняется тѣмъ, что обыкновенно эти заклепки рассчитываютъ только по опорному давленію продольной балки, пренебрегая вліяніемъ опорнаго момента, а также растягивающей силы, вызываемой въ продольныхъ балкахъ мостовъ съ ѣздой по низу, вслѣдствіе удлиненія нижняго пояса фермъ. Кромѣ того, послѣднія заклепки сверху и снизу нерѣдко оказываются плохо заклепанными, вслѣдствіе затруднительности и неудобства ихъ клепки. Вотъ причины, по которымъ разстраиваются заклепочныя соединенія, причемъ нерѣдко происходитъ искривленіе и стираніе стержня заклепокъ, вслѣдствіе чего изгибающіе моменты уже не могутъ передаваться концами продольныхъ балокъ, и онѣ работаютъ въ условіяхъ разрывныхъ балокъ.

Насколько могутъ пострадать заклепки въ мѣстахъ прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ поперечнымъ, усматривается изъ фиг. 326. Послѣ 23-хъ лѣтней службы стержень этой заклепки замѣтно искривился и стерся по серединѣ.

Фиг. 326.



Итакъ, наиболѣе серіозные недостатки жесткаго прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ поперечнымъ заключаются: 1) въ расшатываніи заклепокъ, 2) въ искривленіи и дополнительномъ напряженіи поперечныхъ балокъ, вслѣдствіе измененія длины поясовъ фермъ и 3) въ скручиваніи поперечной балки при неодинаковомъ прогибѣ продольныхъ балокъ, прикрѣпленныхъ къ ней справа и слѣва. Для устраненія этихъ недостатковъ примѣняютъ разныя мѣры, которыя будутъ указаны при разсмотрѣніи способовъ жесткаго прикрѣпленія. Кромѣ того, имѣя въ виду невыгодныя условія работы заклепокъ, ихъ рассчитываютъ на основаніи пониженныхъ допускаемыхъ напряженій. По нормамъ Мин. Пут. Сооб. на срѣзываніе такихъ заклепокъ допускалось раньше 500 к./см.², а теперь 536 к./см.².

Переходя къ описанію способовъ жесткаго прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ поперечнымъ, слѣдуетъ указать, что жесткое прикрѣпленіе примѣняется почти исключительно въ тѣхъ случаяхъ, когда продольныя балки расположены въ предѣлахъ высоты поперечныхъ; но при этомъ можетъ быть три случая, смотря по тому, находится ли верхній поясъ продольной балки ниже, на одномъ уровнѣ, или выше верхняго пояса поперечной балки.

I способъ. Прикрѣпленіе помощью однихъ уголковъ. Смотря по величинѣ давленія продольной балки, примѣняютъ одинъ или два уголка. Одинъ уголокъ встрѣчается только въ легкихъ шоссейныхъ мостахъ (фиг. 5 на стр. 30). Чтобы распредѣлить скручивающій моментъ на все сѣченіе поперечной балки и чтобы увеличить жесткость ея стѣнки, имѣющей стремленіе коробиться то въ одну, то въ другую сторону, подѣ дѣйствіемъ прогиба продольныхъ балокъ, слѣдуетъ пропускать хотя бы одинъ уголокъ во всю высоту поперечной балки. При этомъ можно или нагибать его на поясные уголки поперечной балки, или подкладывать подъ него прокладку такой же толщины, какъ эти уголки. При выборѣ того или другого способа слѣдуетъ руководствоваться соображеніями, изложенными въ § 42. Въ Америкѣ высадку уголковъ принципіально избѣгаютъ, примѣняя уширенныя прокладки, выпущенныя изъ-подъ уголковъ на вертикальный рядъ заклепокъ (фиг. 353).

Въ уголкахъ для прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ поперечнымъ, заклепки размѣщаются въ обѣихъ полкахъ въ шахматномъ порядкѣ, за исключеніемъ

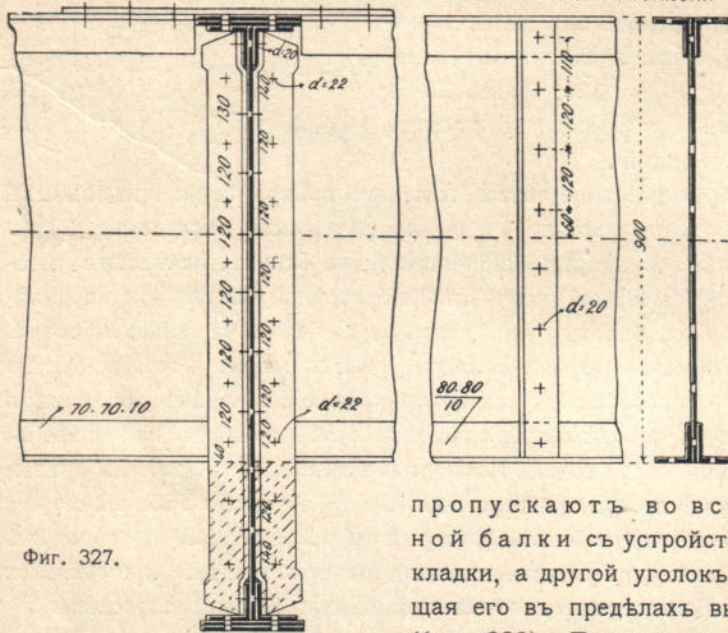
послѣдней заклепки сверху и снизу, которая нерѣдко приходится помѣщать въ одномъ сѣченіи (фиг. 339, 343).

Если каждый конецъ продольной балки прикрѣпляется двумя уголками, то можетъ быть три случая. 1) Оба уголка пропускаютъ во всю высоту поперечной балки, нагибая ихъ на ея поясные уголки, или устраивая прокладку. Если продольная балка изъ прокатнаго двутавроваго желѣза, то вырѣзываютъ его горизонтальныя полки съ обѣихъ сторонъ, а конецъ стѣнки пропускаютъ въ зазоръ между вертикальными уголками. Если продольная балка имѣетъ клепаное двутавровое сѣченіе, то ея поясные уголки или обрѣзаютъ при встрѣчѣ съ вертикальными уголками,

или нагибаютъ на нихъ. Если высота продольной балки меньше чѣмъ поперечной, то зазоръ между вертикальными уголками слѣдуетъ заполнять прокладками съ тѣмъ, чтобы на нижнюю изъ нихъ непосредственно опиралась стѣнка продольной балки (фиг. 327).

Поперечная балка въ мѣстѣ прикрѣпленія продольной балки.

Продольная балка въ мѣстѣ прикрѣпленія уголка жесткости.

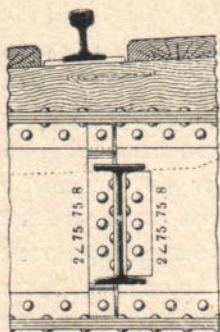


Фиг. 327.

2) Одинъ изъ обѣихъ уголковъ

пропускаютъ во всю высоту поперечной балки съ устройствомъ высадки, или прокладки, а другой уголокъ дѣлаютъ короче, помѣщая его въ предѣлахъ высоты продольной балки (фиг. 328). Преимущество этого способа заклю-

чается въ меньшемъ ослабленіи сѣченія въ концѣ продольной балки, такъ какъ приходится вырѣзать ея горизонтальныя полки только съ одной стороны. Этотъ способъ предписанъ на Прусскихъ казен. ж. д., согласно правиламъ, изданнымъ въ 1903 г. Для



Фиг. 328



Фиг. 329.

Фиг. 330.

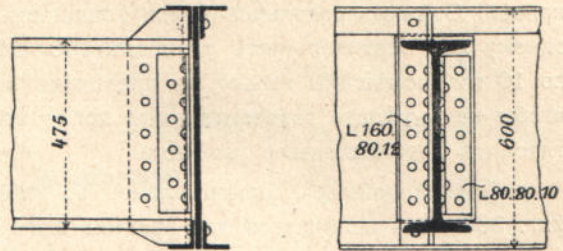
Фиг. 331.

Фиг. 332.

того, чтобы увеличить число заклепокъ, помѣщающихся въ стѣнкѣ поперечной или продольной балки, можно примѣнять неравнобокіе уголки, или дѣлать одинъ изъ уголковъ большаго размѣра, чѣмъ другой, согласно фиг. 329 до 332. При выборѣ одного изъ способовъ, указанныхъ въ фиг. 329 до 332, слѣдуетъ руководствоваться правиломъ, чтобы число заклепокъ, прикрѣпляющихъ уголки къ попе-

речной балкѣ, было больше числа заклепокъ, которыми продольная балка прикрѣпляется къ уголкамъ. Это нужно потому, что первая заклепки, работая на отрываніе ихъ головки, находятся въ худшихъ условіяхъ, чѣмъ послѣднія, которыя работаютъ только на срѣзываніе и на смятіе. Поэтому нельзя признать удачнымъ прикрѣпленіе, показанное въ фиг. 333, и исполненное согласно фиг. 331, причемъ длинный уголокъ имѣетъ размѣръ 160 . 80 . 12 мм., а короткій—80 . 80 . 10 мм. Такое прикрѣпленіе было бы умѣстно, если бы поперечная балка была настолько выше продольной, что помѣщающаеся въ первой число одно-

срѣзныхъ заклепокъ было больше числа заклепокъ въ продольной балкѣ.



Фиг. 333.

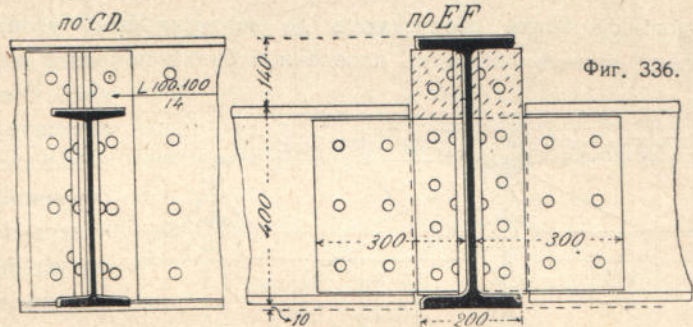
3) Оба уголка короткіе, т. е. помѣщаются въ предѣлахъ высоты продольной балки (фиг. 342 и 346). Стѣнка поперечной балки можетъ пострадать отъ выпучиванія то въ одну, то въ другую сторону, поэтому полезно усиливать ее наклепкою на нее накладки. Вообще этотъ способъ прикрѣпленія нельзя признать рациональнымъ, если, кромѣ уголковъ, не примѣнено другихъ частей для прикрѣпленія.

II способъ. Если заклепки, необходимыя для прикрѣпленія продольной балки, не помѣщаются въ вертикальныхъ уголкахъ, приклепанныхъ къ поперечной балкѣ, то прибѣгаютъ къ устройству накладокъ. Простѣйшія схемы такого прикрѣпленія показаны въ фиг. 334 и 335. Въ первой схемѣ (фиг. 334) стѣнка продольной балки зажата между уголками; къ ней приклепана прокладка, показанная пунктиромъ, а затѣмъ накладка, пропущенная на правый уголокъ. По другому способу (ф.335) располагаютъ стѣнку продольной балки въ притыкъ къ одному изъ уголковъ и прикрѣпляютъ ее двумя накладками, изъ которыхъ одна зажата между уголками, а другая положена на уголокъ. Этотъ способъ требуетъ меньше матеріала и заклепокъ и примѣняется чаще перваго способа. Накладки значительно повышаютъ сопротивленіе заклепокъ, проходящихъ черезъ уголки (фиг. 334 и 335), такъ какъ срѣзываніе происходитъ по тремъ плоско-

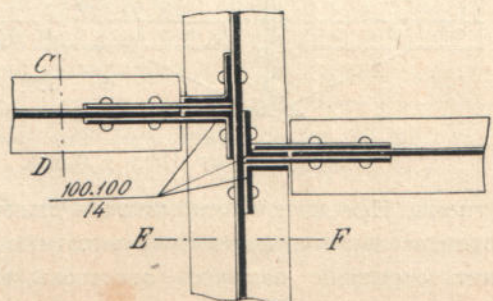


Фиг. 334.

Фиг. 335.



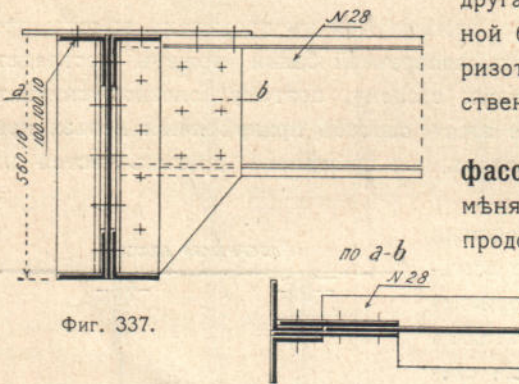
Фиг. 336.



Жел.-дор. мостъ черезъ Аару въ Бруггѣ.

стямъ, вмѣсто двухъ плоскостей, когда отсутствуютъ накладки; кромѣ того, на снятіе работаетъ не одинъ только листъ, какъ при отсутствіи накладокъ, а два листа, или двѣ полки уголковъ. Въ фиг. 336 показанъ примѣръ прикрѣпленія по второй схемѣ, согласно фиг. 335. Продольная балки изъ двутаврового прокатнаго желѣза сдвинуты одна относительно другой, вслѣдствіе расположенія моста на кривой. Стѣнки продольной балки толщиной 14 мм. расположены въ притыкъ къ одному изъ вертикальныхъ уголковъ 100 . 100 . 14 мм. Обѣ накладки толщиной по 10 мм. помѣщены только въ предѣлахъ высоты продольныхъ балокъ для того, чтобы не вырѣзать горизонтальныя полки этихъ балокъ раньше, чѣмъ онѣ встрѣтятся съ вертикальными уголками.

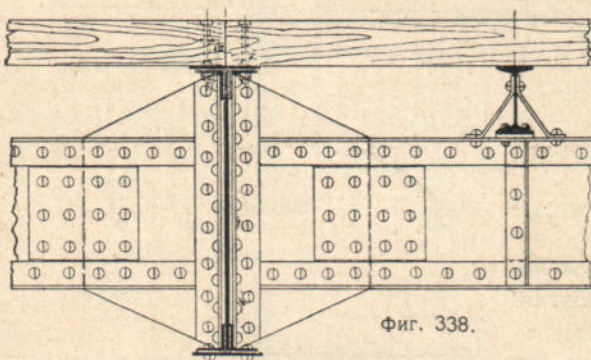
Другой примѣръ прикрѣпленія по той же схемѣ (фиг. 335) показанъ въ фиг. 337. Онъ отличается отъ предъидущаго примѣра тѣмъ, что только одна изъ накладокъ расположена въ предѣлахъ высоты продольной балки, между тѣмъ какъ другая накладка пропущена ниже продольной балки, для чего одна изъ нижнихъ горизонтальныхъ полокъ балки имѣетъ соответственный вырѣзь.



Фиг. 337.

Ж.-д. мос. у Глатбруга въ Швейцаріи.

вставкою и стѣнкою балки перекрываютъ парными накладками, а поясные уголки продольной балки пропускаютъ до вертикальныхъ уголковъ. Каждую фасонную вставку прикрѣпляютъ къ поперечной балкѣ помощью пары вертикальныхъ уголковъ.



Фиг. 338.

Шос. мос. чер. Иннь у Пруца.

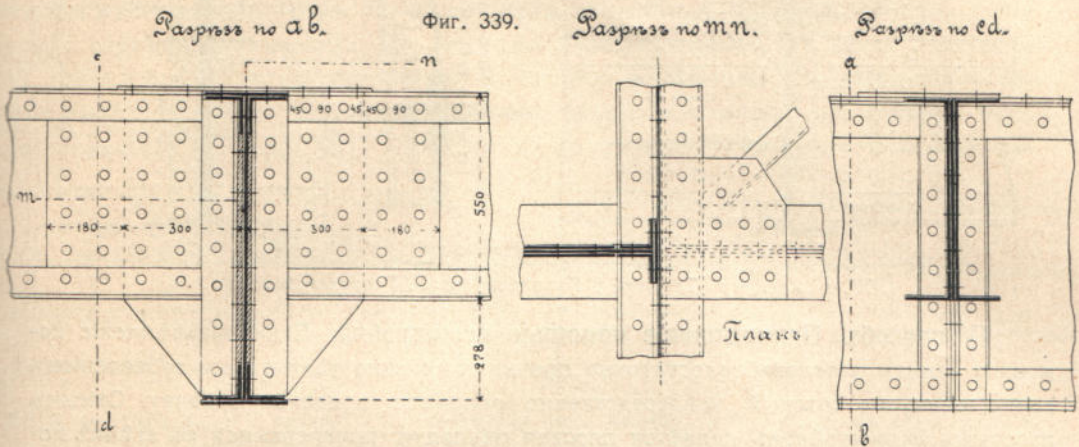
Очертаніе фасонной вставки зависитъ отъ положенія продольной балки по отношенію къ поперечной. Если оси продольной и поперечной балокъ расположены на одномъ уровнѣ, то вставка имѣетъ видъ симметричной трапеціи (фиг. 338). Примѣръ, когда верхніе пояса обѣихъ балокъ расположены на одномъ уровнѣ, показанъ въ фиг. 339. Каждая вставка имѣетъ видъ прямоугольника со скошеннымъ нижнимъ угломъ. Накладки, перекрывающія стыкъ вставки со стѣнкою продольной балки, — прямоугольныя и примыкаютъ вплотную къ вертикальнымъ уголкамъ. Чтобы устранить отрываніе верхнихъ заклепокъ, верхніе пояса лѣвой и правой продольной балки непосредственно соединены между собою горизонтальною накладкою, при-

III способъ. Прикрѣпленіе помощью фасонной вставки.

Это прикрѣпленіе примѣняютъ только въ тѣхъ случаяхъ, когда продольная балка склепана изъ вертикальнаго листа и уголковъ. Стѣнку продольной балки обрываютъ на нѣкоторомъ разстояніи отъ поперечной балки и въ ея плоскости помѣщаютъ фасонную вставку такой же толщины, какъ и стѣнка. Стыкъ между

вставкою и стѣнкою балки перекрываютъ парными накладками, а поясные уголки продольной балки пропускаютъ до вертикальныхъ уголковъ. Каждую фасонную вставку прикрѣпляютъ къ поперечной балкѣ помощью пары вертикальныхъ уголковъ. Очертаніе фасонной вставки зависитъ отъ положенія продольной балки по отношенію къ поперечной. Если оси продольной и поперечной балокъ расположены на одномъ уровнѣ, то вставка имѣетъ видъ симметричной трапеціи (фиг. 338). Примѣръ, когда верхніе пояса обѣихъ балокъ расположены на одномъ уровнѣ, показанъ въ фиг. 339. Каждая вставка имѣетъ видъ прямоугольника со скошеннымъ нижнимъ

клепанною къ верхнимъ уголкамъ продольныхъ балокъ и къ верхнему поясу поперечной балки. Эта накладка служитъ одновременно для прикрѣпленія раскосовъ горизонтальныхъ связей между продольными балками.



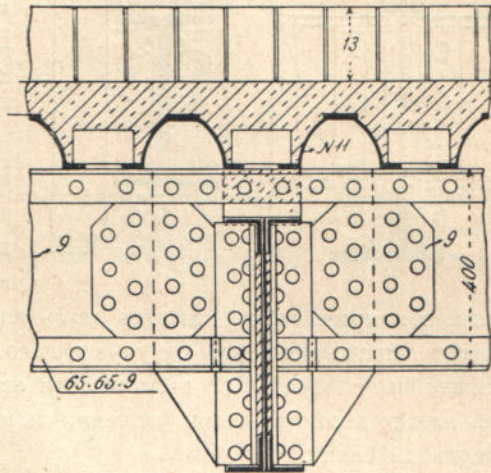
Фиг. 339.

Въ фиг. 340 показанъ примѣръ, когда верхній поясъ продольной балки расположенъ выше верха поперечной балки. По своему очертанію вставки разнятся отъ вставокъ предъидущаго примѣра только тѣмъ, что онѣ имѣютъ наверху прямоугольный вырѣзъ, соответствующе ширинѣ верхняго пояса поперечной балки.

Верхніе уголки продольныхъ балокъ пропущены безъ перерыва и въ предѣлахъ ширины верхняго пояса поперечной балки снабжены прокладкою толщиной 9 мм. Нижніе уголки продольныхъ балокъ нагнуты на вертикальные уголки. Такое прикрѣпленіе весьма солидно и устраняетъ возможность отрыванія верхнихъ заклепокъ.

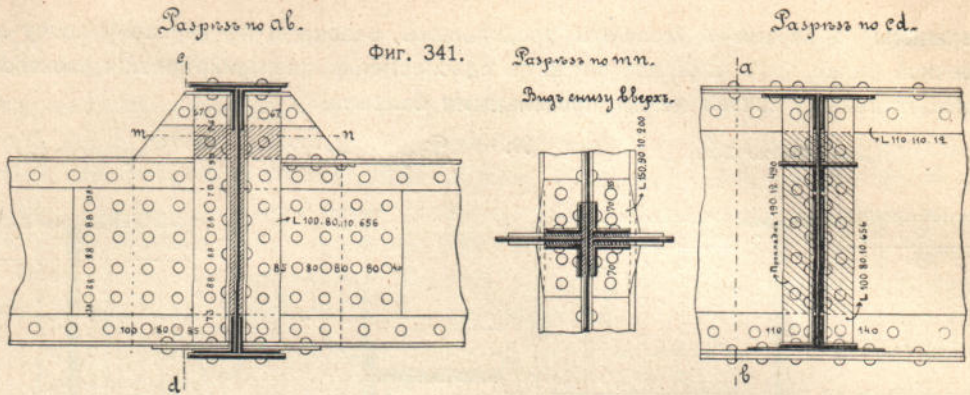
Въ фиг. 341 показанъ примѣръ, когда верхъ продольныхъ балокъ расположенъ ниже верха поперечной балки, причемъ своимъ нижнимъ концомъ продольныя балки опираются на уголки поперечной балки. Вставки имѣютъ очертаніе прямоугольника со скошеннымъ верхнимъ угломъ. Прямоугольная накладки, перекрывающія стыкъ вставокъ, пропущены подъ вертикальные уголки, которые имѣютъ между собою зазоръ въ 30 мм. Туда же пропущены вертикальныя полки поясныхъ уголковъ продольныхъ балокъ, между тѣмъ какъ горизонтальныя полки этихъ уголковъ обрѣзаны при встрѣчѣ съ вертикальными уголками.

Чтобы верхніе концы вставокъ не отрывались отъ поперечной балки при прогибѣ продольныхъ балокъ, они приклепаны къ верхнему поясу поперечной балки при помощи четырехъ уголковъ 150 . 90 . 10 мм. (см. разрѣзы по *a—b* и по *m—n*). Широкая полка этихъ уголковъ приклепана двумя заклепками къ верхнимъ уголкамъ поперечной балки, а узкая полка расположена вертикально, пропущена въ зазоръ шириною 30 мм. между вертикальными уголками и приклепана къ вставкѣ двумя заклепками.



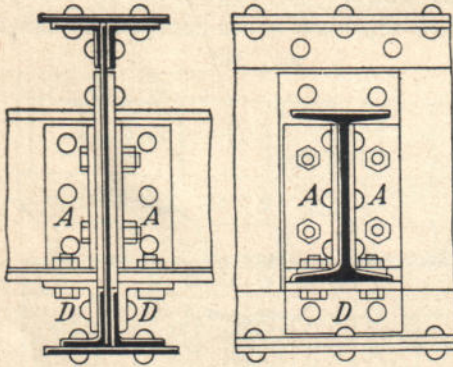
Фиг. 340.

Гор. мос. чер. каналъ Тельто въ Берлинѣ.



Ж.-д. мос. чер. Тессинъ у Каденащо на С. Готардской ж. д.

IV способъ. Прикрѣпленіе помощью кронштейна. Если прикрѣпленіе помощью однихъ уголковъ недостаточно прочно, то можно усилить его добавленіемъ кронштейна, на который непосредственно опирають продольную балку. Самымъ простымъ кронштейномъ является плоская накладка, приклепанная къ стѣнкѣ поперечной балки (фиг. 346). Для той же цѣли можетъ служить кусокъ уголка, приклепанный къ поперечной балкѣ⁸⁾, какъ въ фиг. 342. Въ обоихъ случаяхъ вертикальные уголки для прикрѣпленія могутъ быть доведены только до кронштейна. Если желательно пропустить эти уголки до низу поперечной балки, то устраиваютъ кронштейнъ изъ треугольнаго вертикальнаго листа, приклепаннаго къ уголкамъ прикрѣпленія, и изъ горизонтальныхъ уголковъ (одного или двухъ), на которые опирають конецъ продольной балки (см. фиг. 316, 317, 155). Кромѣ усложненія конструкции и увеличенія ея стоимости, эти кронштейны имѣють тотъ несомнѣнный недостатокъ, что они увеличиваютъ плечо момента, скручивающаго поперечную балку. Поэтому листовые кронштейны слѣдуетъ по возможности замѣнять прокладкою, помѣщенной въ зазорѣ между вертикальными уголками и непосредственно поддерживающею стѣнку продольной балки.



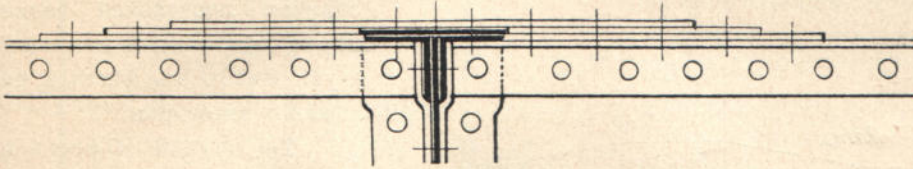
V способъ. Прикрѣпленіе помощью верхней горизонтальной накладки (рыбки). При описаніи недостатковъ жесткаго прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ поперечнымъ, мы видѣли, что главный недостатокъ заключается въ расшатываніи верхнихъ заклепокъ отъ дѣйствія на нихъ отрывающихъ усилій во время прогиба продольныхъ балокъ. Наиболѣе дѣйствительное средство для предохраненія заклепокъ отъ этого вреднаго явленія заключается въ примѣненіи горизонтальной накладки (рыбки), которая непосредственно соединяетъ между собою верхній поясъ лѣвой и правой продольной балки и воспринимаетъ растягивающія усилія, вызываемыя при прогибѣ продольныхъ балокъ. Конструкция этихъ рыбокъ зависитъ

⁸⁾ Въ Америкѣ иногда примѣняютъ такой уголокъ для того, чтобы облегчить сборку, укладывая продольную балку на этотъ уголокъ до клепки.

отъ того, расположенъ ли верхній поясъ продольныхъ балокъ выше, ниже, или на одномъ уровнѣ съ верхнимъ поясомъ поперечной балки.

1-й случай. Верхній поясъ всѣхъ балокъ находится на одномъ уровнѣ. Въ этомъ случаѣ слѣдуетъ располагать продольныя балки такъ, чтобы наружная поверхность ихъ верхняго пояса находилась въ одной плоскости съ той же поверхностью поперечной балки. Это желательно для того, чтобы можно было прикрепить верхнюю рыбку безъ примѣненія прокладокъ, которыя, какъ усматривается изъ фиг. 343, усложняютъ конструкцію и ухудшаютъ условия ра-

Фиг. 343.

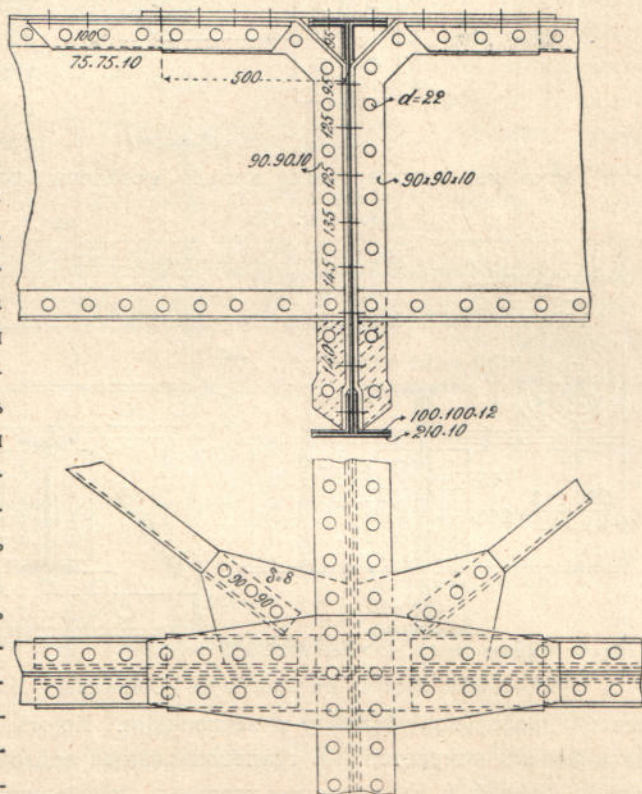


боты вертикальныхъ заклепокъ, подвергая ихъ изгибу. Эта неудачная конструкція вызвана желаніемъ продолжить поясные уголки продольныхъ балокъ настолько, чтобы приклепать ихъ къ вертикальнымъ и къ пояснымъ уголкамъ поперечной балки, рассчитывая такимъ

образомъ увеличить боковую жесткость прикрепленія продольной балки. Эта мѣра предосторожности совершенно излишня⁹⁾, такъ какъ требуемая боковая жесткость достигается болѣе простымъ и дѣйствительнымъ образомъ, если уширить рыбку въ предѣлахъ ея соприкосненія съ поперечною балкою. На этомъ основаніи рекомендуется прерывать поясные уголки продольныхъ балокъ въ мѣстѣ встрѣчи съ горизонтальными листами или уголками верхняго пояса поперечной балки и обходиться вовсе безъ подкладокъ (фиг. 327, 337, 339 и 345).

Если по какимъ-нибудь соображеніямъ желательно устроить непосредственное соединеніе поясныхъ уголковъ продольной балки съ вертикальными уголками, что вообще совсѣмъ излишне, то можно или изогнуть верхній конецъ вертикальныхъ уголковъ, согласно фиг. 344

Фиг. 344.

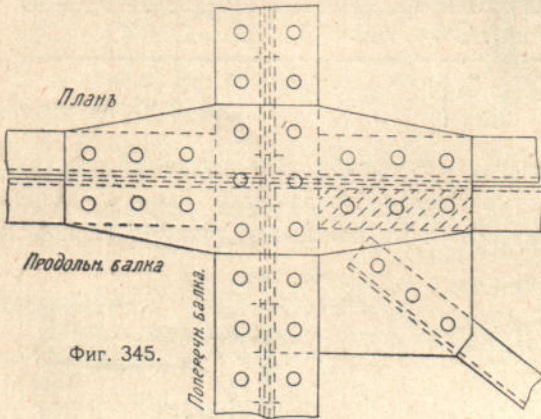
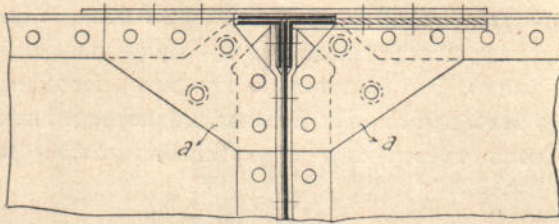


Мос. отвер. 20 саж. на Московско-Брестской ж. д.

⁹⁾ Не говоря о томъ, что она даже мало дѣйствительна, въ виду того, что конецъ уголковъ продольной балки прикрепляется только одною заклепкою.

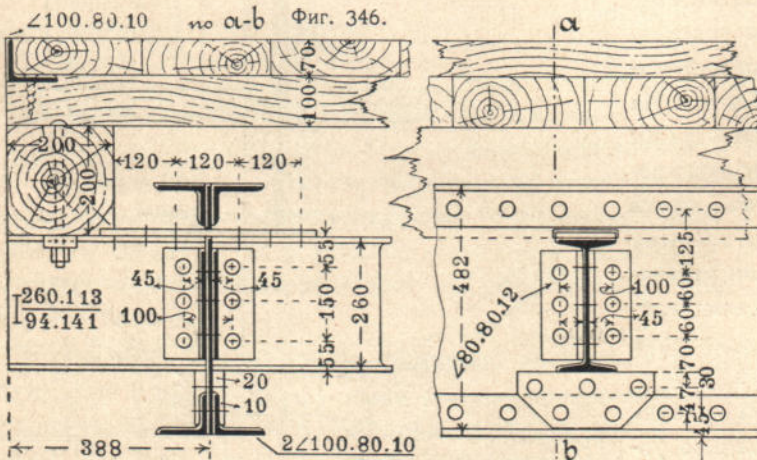
так, чтобы он пришелся в притык к поясному уголку продольной балки, и перекрыть стык этих уголков накладкой из уголка. Или же можно, согласно

фиг. 345, наклепать фасонную накладку на конец каждого поясного уголка продольной балки и вертикального уголка поперечной балки, причем нет необходимости заполнять прокладкой зазор между этой накладкой и стенкой продольной балки, а можно ограничиться помещением двух шайб в местах расположения заклепок.



2-й случай. Верх продольных балок расположен ниже верха поперечной балки. Горизонтальную рыбку пропускают через стенку поперечной балки, в которой делают для этой цели вырезъ. При этом вертикальные уголки прикрепления можно доводить только до этой рыбки. В

примере (фиг. 346) обе продольные балки из двутаврового железа доведены до стенки поперечной балки и



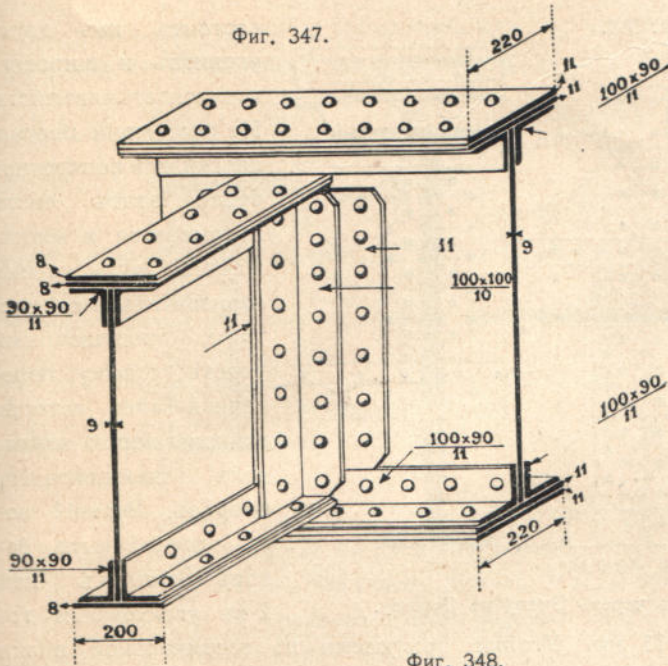
Виадукъ въ Сао Пауло (Бразилія).

приклепаны к ней помощью четырех вертикальных уголков 80 . 80 . 12 мм. Верхняя рыбка из полосового железа той же ширины, как пояса продольных балок, пропущена через стенку поперечной балки и приклепана к

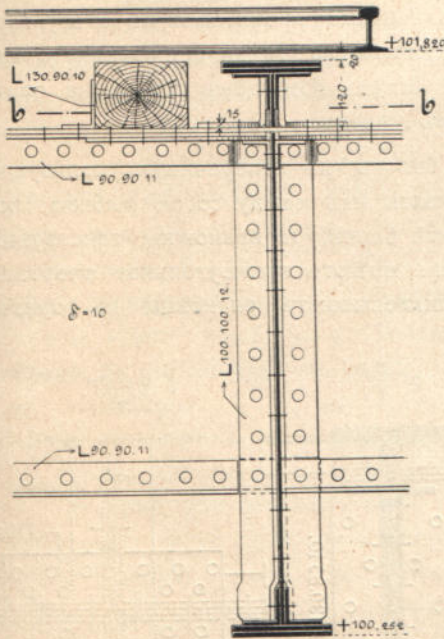
каждой продольной балке 6-ю заклепками. Кроме того, нижний конец продольных балок опирается на трапециевидные вертикальные накладки, приклепанные к стенке и к нижним уголкам поперечной балки.

Если пояса продольных балок снабжены горизонтальными листами, то можно пропускать их через стенку поперечной балки, устраняя таким образом необходимость устройства особых рыбок (фиг. 347). Для удобства сборки необходимо располагать стык этих горизонтальных листов возможно ближе к попер. балке.

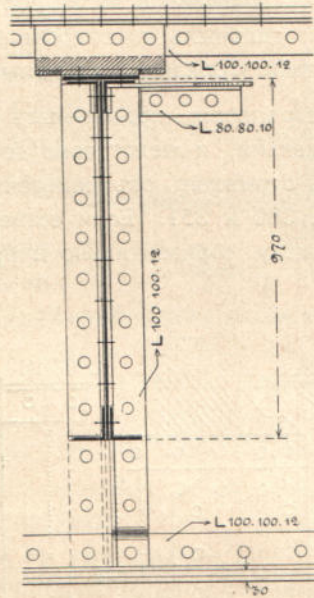
Фиг. 347.



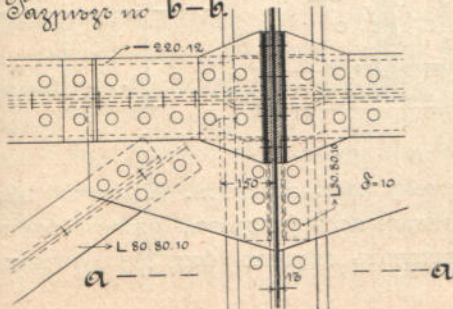
Фиг. 348.



Разрез по а-а.



Разрез по б-б.



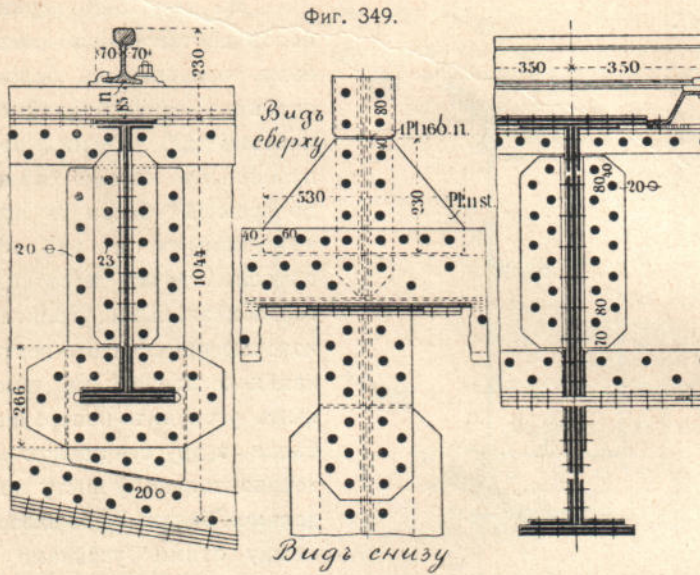
Железнодорожный мост через Рейн в Вормс.

Иногда через стѣнку поперечной балки

пропускают горизонтальную рыбку, приклепанную къ нижнему поясу продольныхъ балокъ. Такой случай показанъ въ фиг. 539 и 349, гдѣ нижній поясъ продольныхъ балокъ

Въ фиг. 348 верхній поясъ двутавровыхъ клепа-ныхъ продольныхъ балокъ снабженъ горизонтальнымъ листомъ 220 . 12 мм., пропу-щеннымъ черезъ стѣнку поперечной балки и при-крепленнымъ къ ней при помощи двухъ короткихъ горизонтальныхъ уголковъ, которые приклепаны верти-кальнойю полкою къ поя-снымъ уголкамъ поперечной балки, а другую полкою къ горизонтальному листу про-дольной балки. Узкіе зазоры между этими уголками и стѣнкою поперечной балки

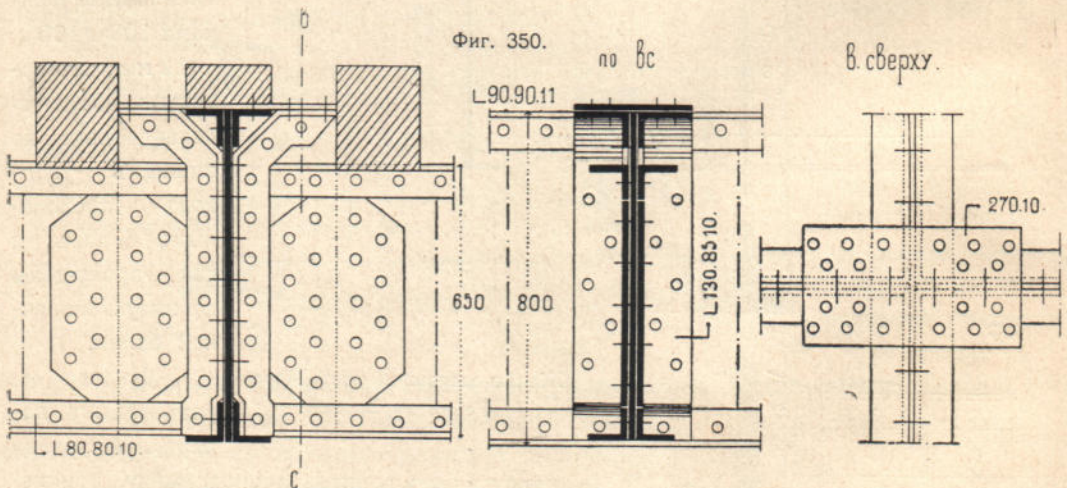
заполнены (заштрихован-ными) прокладками, приклепанн-ными къ стѣнкѣ поперечной балки по-тайными заклеп-ками. Стѣнки поперечной и про-дольныхъ балокъ соединены между собою 4-мя вер-тикальными угол-ками 100 . 100 . 12 мм., изъ ко-торыхъ два дове-дены только до нижнихъ угол-ковъ про-дольныхъ балокъ, а два пропу-щены до низу попереч-ной балки.



Железнодорожный мост через Вислу в Диршау.

горизонтального листа 160 . 11 мм. Уголки пропущены до вертикальной полки поясных уголков поперечной балки и прикреплены к ней при помощи горизонтальной фасонной накладки, которая 8-ю заклепками приклепана к свѣсу горизонтальных листов поперечной балки. Вертикальные уголки для взаимнаго прикрѣпленія стѣнки продольныхъ и поперечной балокъ помѣщены только на протяжении между поясными уголками продольныхъ балокъ.

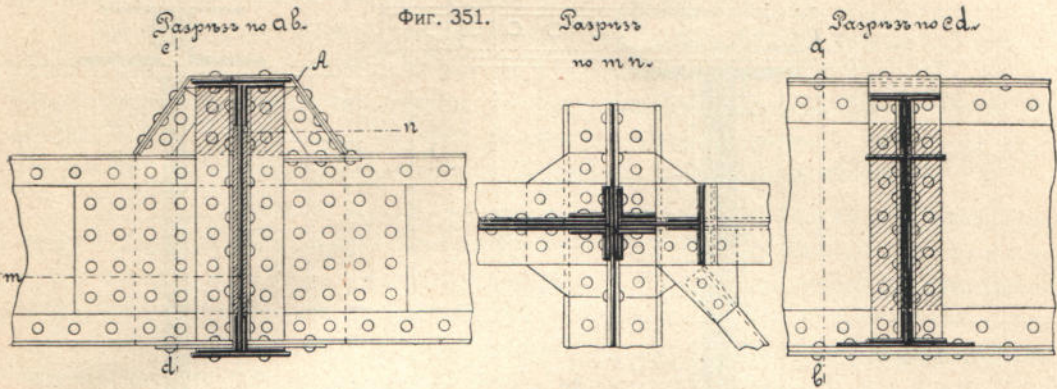
Если для прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ поперечнымъ пользуются вертикальными вставками, и желательно связать ихъ между собою рыбкою, предупреждающе ихъ отрываніе отъ поперечной балки, то возможны конструкции, показанныя въ фиг. 350 и 351. Если вставки имѣютъ прямоугольное очертаніе, то располагаютъ рыбку горизонтально и приклепываютъ ея концы къ горизон-



тальнымъ уголкамъ, приклепаннымъ къ верхнему краю вставокъ. Для этой цѣли можно также воспользоваться концами вертикальныхъ уголковъ, изогнутыми горизонтально (фиг. 350). Если верхній уголъ вставокъ скошенъ (фиг. 351), то можно

состоить изъ двухъ уголковъ и широкаго горизонтальнаго листа. На разстояніи полнакладки отъ поперечной балки этотъ листъ прерывается и возмѣщается двумя узкими горизонтальными листами, пропущенными черезъ стѣнку поперечной балки, которая усилена парю накладокъ, окаймляющихъ прорѣзь. Верхній поясъ продольныхъ балокъ состоитъ изъ 2-хъ уголковъ и го-

изогнуть концы рыбки и приклепать ихъ къ наклоннымъ уголкамъ, которые приклепаны къ скошенному краю вставокъ.



Фиг. 351.

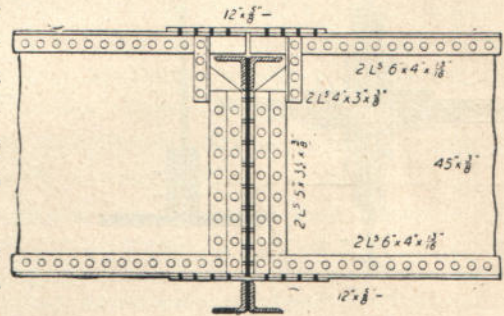
3-й случай. Верхъ продольныхъ балокъ расположенъ выше верха поперечной балки настолько, чтобы можно было пропустить надъ нею верхніе уголки продольныхъ балокъ. Концы этихъ уголковъ можно соединить между собою или горизонтальною рыбкою, какъ въ фиг. 352, или уголковыми накладками, какъ въ фиг. 353.

Въ фиг. 352 продольныя и поперечная балки имѣютъ клепаное двутавровое сѣченіе одинаковой высоты. Стѣнка продольныхъ балокъ снабжена въ верхнемъ углу вырѣзомъ и сопрягается со стѣнкою поперечной балки помощью 4-хъ вертикальныхъ уголковъ и 4-хъ прокладокъ, которыя приклепаны къ стѣнкѣ продольныхъ балокъ и выпущены за уголки на вертикальный рядъ заклепокъ.

Верхніе уголки продольныхъ балокъ доведены до оси поперечной балки и соединены между собою плоскою горизонтальною накладкою $12 \cdot \frac{5}{8}$ дм. Нижніе уголки продольныхъ балокъ доведены до стѣнки поперечной балки и связаны между собою горизонтальною накладкою $12 \cdot \frac{3}{8}$ дм., пропущенною черезъ стѣнку поперечной балки.

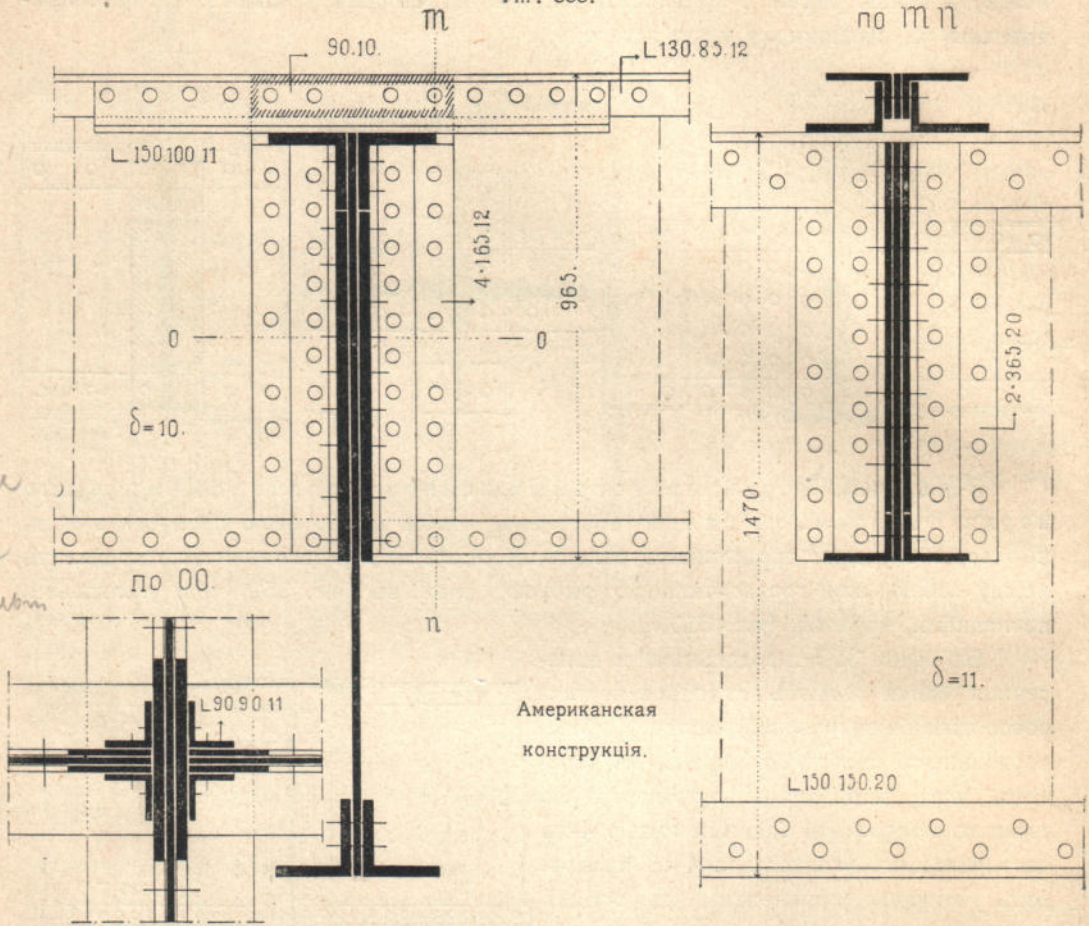
Въ фиг. 353 верхніе уголки $130 \cdot 85 \cdot 12$ мм. продольныхъ балокъ расположены выше верха поперечной балки и доведены до оси поперечной балки; стыкъ этихъ уголковъ перекрытъ двумя накладками изъ уголковъ $150 \cdot 100 \cdot 11$ мм., повернутыхъ широкою полкою внизъ съ тѣмъ, чтобы они этою полкою опирались на поперечную балку, къ которой они приклепаны 4-мя заклепками каждый. Стѣнка продольныхъ балокъ снабжена въ верхнемъ углу прямоугольнымъ вырѣзомъ, на протяженіи котораго зазоръ между уголками продольныхъ балокъ заполненъ прокладкою $90 \cdot 10$ мм. Стѣнки поперечной и продольныхъ балокъ соединены между собою 4-мя вертикальными уголками $90 \cdot 90 \cdot 11$ мм. съ приклепкою 4-хъ прокладокъ $165 \cdot 12$ мм. къ стѣнкѣ продольныхъ балокъ и 2-хъ прокладокъ $365 \cdot 20$ мм. къ стѣнкѣ поперечной балки. Какъ тѣ, такъ и другія прокладки выпущены за предѣлы уголковъ на вертикальный рядъ заклепокъ.

Фиг. 352.



Американская конструкция.

Фиг. 353.



§ 46. Неразрѣзныя продольныя балки.

Неразрѣзныя балки имѣютъ передъ разрѣзными слѣдующія преимуще-ства. 1) Вслѣдствіе непрерывной жесткости продольныхъ балокъ происходитъ весьма полезное распределеіе сосредоточенной нагрузки между смежными поперечными балками, отчего уменьшается ихъ нагрузка, прогибъ и вызываемое послѣднимъ коробленіе фермъ. Это особенно важно для открытых мостовъ съ ѣздою по низу (безъ верхнихъ связей), такъ какъ при уменьшеніи прогиба поперечныхъ балокъ уменьшается также искривленіе сжатого верхняго пояса фермъ во внутрь моста. 2) Вслѣдствіе меньшаго прогиба неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ и уменьшенія угла поворота ихъ сѣченій въ мѣстахъ прикрѣпленія къ поперечнымъ балкамъ, уменьшаются крученіе поперечныхъ балокъ и дополнительныя напряжения, наблюдаемая при неодинаковомъ нагруженіи двухъ смежныхъ панелей проѣзжей части, а съ другой стороны увеличивается жесткость пути, что способствуетъ болѣе покойной ѣздѣ по мосту. При укладкѣ продольныхъ балокъ на поперечныя нетрудно достигнуть вполнѣ центральной передачи давленія на поперечныя балки и вовсе освободить ихъ отъ разныхъ дополнительныхъ напряженій. 3) Устраняется источникъ обычнаго раз-

стройства заклепочныхъ соединеній въ мѣстахъ прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ поперечнымъ, такъ какъ заклепки освобождены отъ вредныхъ растягивающихъ усилій, способныхъ быстро расшатать ихъ.

Къ недостаткамъ неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ слѣдуетъ отнести 1) усложненіе конструкции и сборки въ тѣхъ случаяхъ, когда продольныя балки расположены въ предѣлахъ высоты поперечныхъ балокъ, и 2) возникновеніе въ неразрѣзныхъ продольныхъ балкахъ дополнительныхъ напряженій, вслѣдствіе вертикальнаго перемѣщенія ихъ опоръ, т. е. прогиба поперечныхъ балокъ.

Прикрѣпленіе продольныхъ балокъ къ поперечнымъ можетъ быть 1) шарнирно-подвижное, или 2) шарнирно-неподвижное, или 3) жесткое. Наиболѣе совершеннымъ является шарнирно-подвижное прикрѣпленіе, такъ какъ оно освобождаетъ продольныя и поперечныя балки отъ дополнительныхъ напряженій, вызванныхъ упругимъ измѣненіемъ длины поясовъ фермъ, которое получается тѣмъ больше, чѣмъ длиннѣе пролетъ (см. § 43). При подвижномъ прикрѣпленіи продольныхъ балокъ необходимо устроить прикрѣпленіе къ одной изъ поперечныхъ балокъ (въ концѣ или серединѣ пролета) неподвижнымъ для того, чтобы передать фермамъ моста продольныя усилія, вызванныя сцѣпленіемъ колесъ поѣзда и тормаженіемъ (см. тормазныя связи въ § 49).

Если устроить прикрѣпленіе поперечныхъ и продольныхъ балокъ неподвижнымъ, то послѣднія должны участвовать въ измѣненіяхъ длины поясовъ фермъ и во всѣхъ вертикальныхъ и горизонтальныхъ прогибахъ моста, испытывая дополнительные напряженія. Если при этомъ закрѣпить концы продольныхъ балокъ, придавая опорнымъ поперечнымъ балкамъ большую жесткость въ горизонтальномъ направленіи, то можно передать продольнымъ балкамъ часть усилія въ поясахъ фермъ, и соотвѣтственно уменьшить сѣченіе этихъ поясовъ.

Такое устройство имѣетъ мостъ съ ѣздою по низу черезъ Эльбу въ Риза, гдѣ концы 4-хъ продольныхъ балокъ приклепаны къ особой балкѣ, составленной въ каждомъ концѣ моста изъ послѣдней и предпоследней поперечныхъ балокъ, соединенныхъ между собою сплошною горизонтальною стѣнкою (фиг. 354). При этомъ часть усилія, растягивающаго нижній поясъ фермъ, передается продольнымъ балкамъ, вызывая въ нихъ при полной нагрузкѣ моста, кромѣ напряженія отъ изгиба, еще дополнительное растягивающее напряженіе

Фиг. 354.

$$\nu = + \frac{2 \cdot U}{2 \cdot \omega + n \cdot f} \dots (82)$$

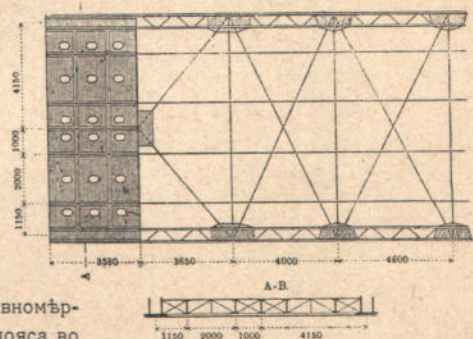
гдѣ U и ω — усиліе и площадь сѣченія нижняго пояса одной фермы;

f — средняя площадь сѣченія одной продольной балки;

n — число продольныхъ балокъ.

Такъ какъ фермы разсматриваемаго моста имѣютъ параболической верхній поясъ и при полномъ равномерномъ загрузеніи пролета усилія прямого нижняго пояса во всѣхъ панеляхъ одинаковы, то продольныя балки удлиняются во всѣхъ панеляхъ на одинаковую величину, равную удлинению одного элемента нижняго пояса фермъ, и поэтому поперечныя балки не получаютъ изгиба въ горизонтальной плоскости.

Способъ прикрѣпленія неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ къ поперечнымъ въ сильной степени зависитъ отъ положенія, которое продольная балка занимаетъ относительно поперечной, причемъ можетъ быть три

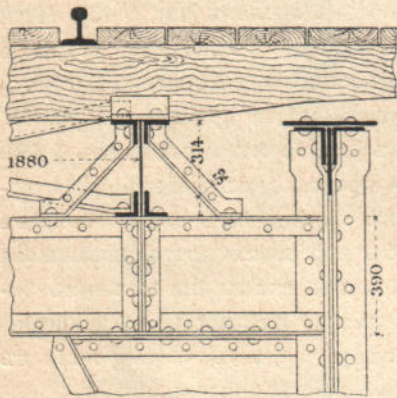


Мостъ черезъ Эльбу въ Риза.

случая, смотря по тому, расположена ли продольная балка выше поперечной балки (цѣликомъ или отчасти) или же она помещается въ предѣлахъ высоты поперечной балки. При описаніи относящихся сюда конструкций будемъ придерживаться этой классификаціи и разсматривать только тѣ конструкции, въ которыхъ продольная балка проходитъ полнымъ сѣченіемъ черезъ мѣсто прикрѣпленія къ поперечной балкѣ.

1-й случай. Укладка продольной балки цѣликомъ на поперечной. Если только позволяетъ строительная высота, то этотъ способъ прикрѣпленія заслуживаетъ несомнѣнное предпочтеніе передъ остальными, какъ по простотѣ конструкции, такъ и по ея дѣйствию. При укладкѣ продольной балки цѣликомъ на поперечную, проще и лучше всего достигается центральность передачи давленія и подвижность соединенія. Простѣйшее неподвижное прикрѣпленіе продольной балки, уложенной на поперечной, достигается приклепкою ее къ верхнему поясу поперечной балки. Если прикрѣпленіе должно обладать продольною подвижностью, то между

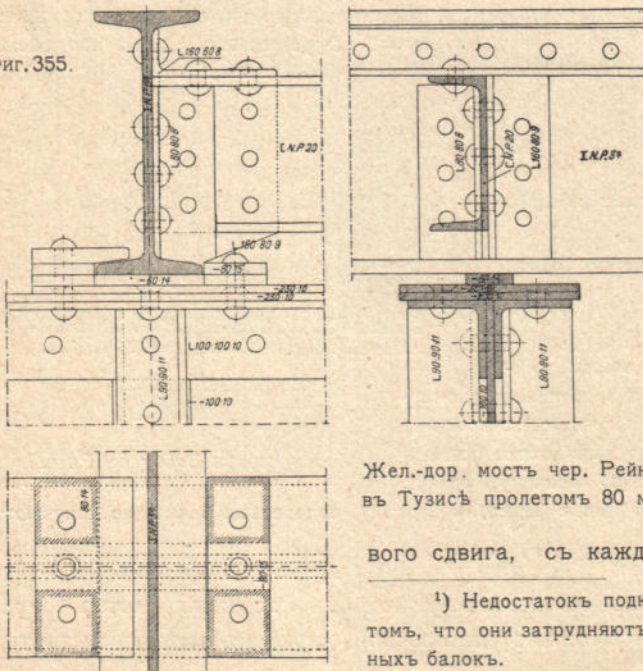
Фиг. 354 bis.



Мостъ чер. Зале въ Бернбургѣ.

той и другою балкою прокладываютъ желѣзную или чугунную подушку съ выпуклою поверхностью. Подушку снабжаютъ ребрами для предупрежденія поперечнаго сдвига продольной балки. Чтобы удержать продольную балку отъ опрокидыванія, примѣняютъ или подкосы изъ уголковъ (фиг. 354 bis), или треугольную листовую консоль ¹⁾ (фиг. 258 на стр. 266), которые приклепаны къ поперечной балкѣ, или же продольныя балки соединяютъ между собою распорками (фиг. 355 и 356). Въ мостахъ подѣ обыкновенную дорогу можно, при небольшой высотѣ продольныхъ балокъ, обходиться вовсе безъ боковыхъ укрѣпленій.

Фиг. 355.



Жел.-дор. мостъ чер. Рейнь въ Тузисѣ пролетомъ 80 м.

примѣръ рациональной шарнирно-подвижной конструкции показанъ въ фиг. 355. Къ верхнему горизонтальному листу 230.10 мм. поперечной балки приклепана помощью потайныхъ заклепокъ подкладка 60.14 мм., черезъ которую давленіе продольной балки передается на поперечную центрально. Для удержанія продольной балки отъ бокового сдвига, съ каждой стороны ея подошвы къ

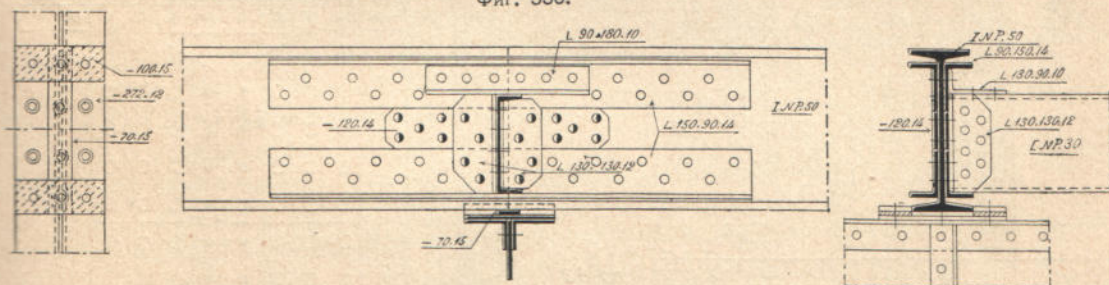
¹⁾ Недостатокъ подкосовъ и консолей заключается въ томъ, что они затрудняютъ продольную подвижность продольныхъ балокъ.

поперечной балкѣ приклепано по накладкѣ 80 . 15 мм. съ прокладкою подъ нее двухъ прямоугольныхъ шайбъ толщиною 14 мм. Для удержанія продольной балки отъ приподнятія, ея подошва съ наружной стороны прижата накладкою. Для удержанія отъ опрокидыванія, продольная балка соединена со смежною балкою посредствомъ распорки изъ швеллера № 20, приклепаннаго къ каждой балкѣ двумя вертикальными уголками, изъ которыхъ одинъ размѣромъ 80 . 80 . 8 мм., а другой 160 . 80 . 9 мм. Выше распорки къ продольной балкѣ приклепанъ горизонтальный уголокъ 160 . 60 . 8 мм., служащій для прикрѣпленія горизонтальныхъ связей между продольными балками.

Устраивая такое шарнирно-подвижное прикрѣпленіе на всѣхъ поперечныхъ балкахъ, кромѣ средней, имѣлось въ виду предупредить изгибъ поперечныхъ балокъ въ горизонтальной плоскости, вызванный измѣненіемъ длины поясовъ фермъ. При испытаніи моста ясно наблюдалось скольженіе продольныхъ балокъ по поперечнымъ; оно увеличивалось по мѣрѣ приближенія паровозовъ къ серединѣ пролета, т. е. по мѣрѣ увеличенія усилий въ поясахъ фермъ, и уменьшалось при обратномъ движеніи паровозовъ. Наибольшее перемѣщеніе наблюдалось на концевыхъ поперечныхъ балкахъ и составляло 3,5 мм., что совпадаетъ съ укороченіемъ половины длины верхняго пояса фермы. Средняя поперечная балка соединена съ продольными неподвижно для того, чтобы тормазныя и другія горизонтальныя усилія передать отъ продольныхъ балокъ черезъ тормазныя связи на фермы.

Другой примѣръ шарнирно-подвижнаго прикрѣпленія продольной балки въ мѣстѣ ея стыка изображаетъ фиг. 356. Стыкъ прокатной двутавровой продольной балки высотой 500 мм. перекрытъ 4-мя уголками 150 . 90 . 14 мм., расположенными попарно сверху и снизу, а по серединѣ двумя плоскими накладками 120 . 14 мм. Къ верхнему поясу поперечной балки, состоящему изъ двухъ уголковъ 130 . 90 . 12 мм., приклепанъ прямоугольный опорный листъ толщиною 12 мм. При помощи 4-хъ заклепокъ съ потайными головками сверху и снизу къ нему приклепана подкладка 70 . 15 мм., воспринимающая давленіе продольной балки. Для удержанія балки отъ бокового сдвига, съ каждой стороны ея подошвы

Фиг. 356.



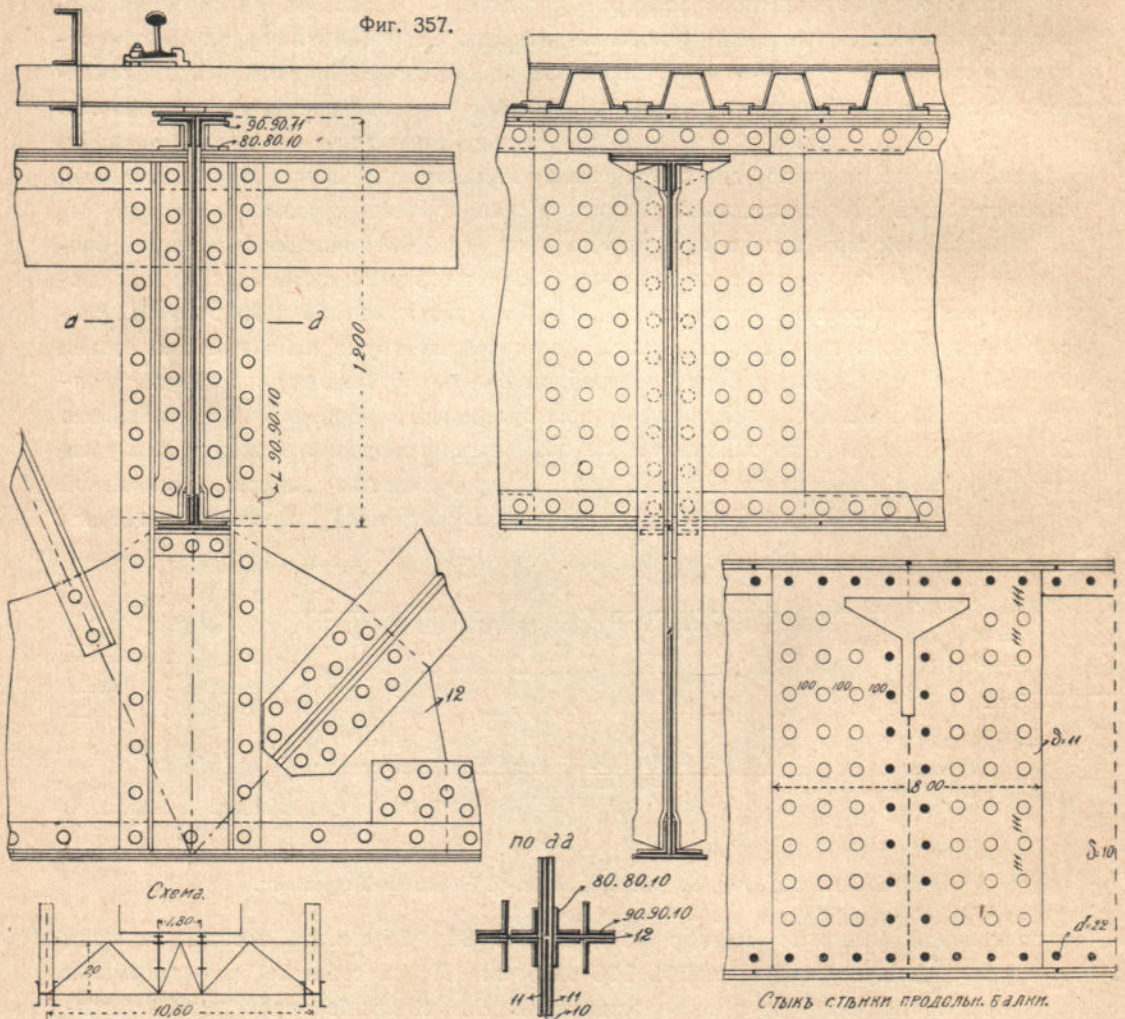
Ж.-д. мостъ черезъ Зиттеръ на ж. д. Bodensee-Teggenburg.

къ поперечной балкѣ приклепано по накладкѣ 80 . 15 мм. съ прокладкою подъ нее двухъ прямоугольныхъ шайбъ 100 . 15 мм. Приспособленіе для удержанія балки отъ приподнятія признано излишнимъ. Во избѣжаніе опрокидыванія, продольныя балки соединены между собою распорками изъ швеллера № 30, каждый конецъ котораго приклепанъ къ балкамъ двумя уголками 130 . 130 . 12 мм. Выше распорки, къ продольной балкѣ приклепанъ горизонтальный уголокъ 180 . 90 . 10 мм., служащій для прикрѣпленія горизонтальныхъ связей между продольными балками.

2-й случай. Частичное возвышение продольной балки надъ поперечною.

Полезно располагать продольную балку на такой высотѣ, чтобы она своимъ верхнимъ поясомъ опиралась на верхній поясъ поперечной балки. Разсмотримъ двѣ относящіяся сюда конструкции, изъ которыхъ одна соотвѣтствуетъ продольнымъ балкамъ со сплошною, а другая—со сквозною стѣнкою.

Въ фиг. 357 показано жесткое сопряжение сплошной неразрѣзной продольной балки со сквозною поперечною балкою пролетомъ 10,6 м. Поперечная балка, схема которой показана въ фиг. 357, имѣетъ тавровые пояса, треугольную рѣшетку и въ мѣстахъ прикрѣпленія продольныхъ балокъ—стойки, состоящія каждая изъ 4 уголковъ 90 . 90 . 10 мм., раздвинутыхъ настолько, чтобы пропустить между ними продольную балку, стѣнка которой закрѣплена съ этими уголками помощью двухъ вертикальныхъ прокладокъ и четырехъ уголковъ, приклепанныхъ къ продольной балкѣ. Ея нижній поясъ опирается непосредственно на фасонную



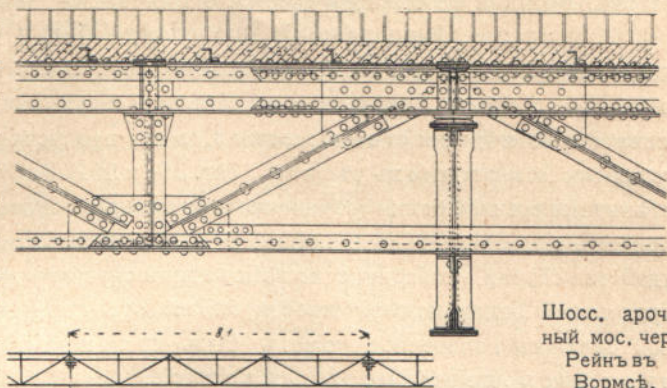
Прикрѣпленіе неразрѣзной продольной балки къ сквозной поперечной балкѣ (проект).

вставку нижняго узла поперечной балки. Верхній поясъ продольной балки пропущенъ надъ верхомъ поперечной балки, опираясь на нее при помощи двухъ уголковъ 80 . 80 . 10 мм., обращенныхъ горизонтальною полкою внизъ. Верхній тавровый поясъ поперечной балки пропущенъ черезъ стѣнку продольной балки, для

чего послѣдняя снабжена прорѣзомъ тавроваго вида. Для удобства сборки, стыкъ стѣнки продольной балки помѣщенъ какъ разъ по оси поперечной балки и перекрытъ двумя накладками, которыя снабжены вырѣзомъ тавроваго очертанія и должны быть надѣты на верх-

Фиг. 358.

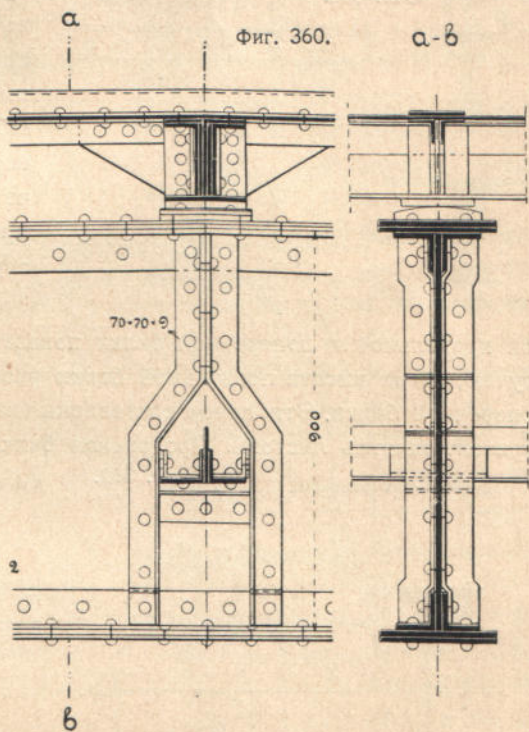
ней поясъ поперечной балки до сборки. Поясные уголки продольной балки обрваны при встрѣчѣ со стыковыми накладками ея стѣнки и перекрыты уголковыми накладками. Наружные уголки стойки поперечной балки приклепываются послѣ сборки продольной балки. Описанное сопряженіе относится къ разряду жесткихъ и неподвижныхъ, страдая всѣми недостатками этого типа.



Шосс. арочный мост. чер. Рейнъ въ Вормсѣ.

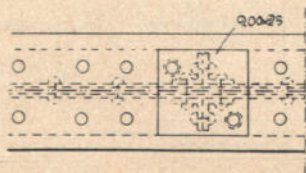
Фиг. 359. Схема.

Образцовое шарнирно-подвижное сопряженіе неразрѣзной сквозной продольной балки со сплошною поперечною балкою показано въ фиг. 358 до 360. Неразрѣзная продольная балка съ пролетами по 8,1 м. имѣетъ параллельные пояса и треугольную рѣшетку съ дополнительными стойками. Верхній поясъ продольной балки, работающій, кромѣ сжатія отъ продольной силы, еще на мѣстный изгибъ отъ нагрузки, приложенной между его узлами, имѣетъ двутавровое сѣченіе изъ вертикальнаго листа и 4-хъ уголковъ и пропущенъ надъ поперечною балкою, опираясь на нее при помощи выпуклой подушки (фиг. 360), такъ что получается шарнирно-подвижная опора. Нижній поясъ продольной балки, состоящій изъ вертикальнаго листа и двухъ уголковъ, пропущенъ черезъ отверстіе въ стѣнкѣ поперечной балки и закрѣпленъ отъ боковыхъ качаній при помощи двухъ короткихъ уголковъ, приклепанныхъ къ уголкамъ продольной балки. Уголки жесткости (70 . 70 . 9 мм.), приклепанные къ стѣнкѣ поперечной балки, снабжены



Шосс. арочный мостъ чер. Рейнъ въ Вормсѣ.

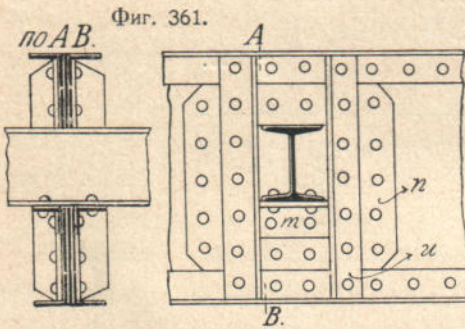
Детали сопряженія продольной и поперечной балки.



двойнымъ выгибомъ для того, чтобы пропустить между ними нижній поясъ продольной балки (фиг. 360). Какъ видно изъ фиг. 358, на верхнемъ поясѣ продольныхъ балокъ уложенъ плоскій желѣзный настилъ съ ребрами для жесткости изъ зетовъ, залитый бетоннымъ слоемъ, на которомъ положена деревянная мостовая.

3-й случай. Расположеніе продольной балки въ предѣлахъ высоты поперечной. Продольную балку приходится пропускать цѣликомъ черезъ стѣнку поперечной, а потому, если стѣнка послѣдней сплошная, то она должна быть снабжена вырѣзомъ; если стѣнка сквозная, то для пропуска продольной балки пользуются готовыми отверстиями въ рѣшеткѣ (фиг. 364 и 561). Наконецъ, бываютъ случаи, когда стѣнку поперечной балки устраиваютъ по концамъ сплошною, а по серединѣ сквозною, причемъ продольныя балки помѣщаютъ на границѣ этихъ участковъ (фиг. 363). Для удобства сборки, необходимо во всѣхъ этихъ случаяхъ устраивать стыки всѣхъ частей продольной балки по возможности близко отъ поперечной. Прикрѣпленіе продольной балки къ поперечной можетъ быть шарнирно-подвижное или шарнирно-неподвижное или жесткое.

Простѣйшій примѣръ пропуска прокатной продольной балки черезъ сплошную стѣнку поперечной балки показанъ въ фиг. 361.

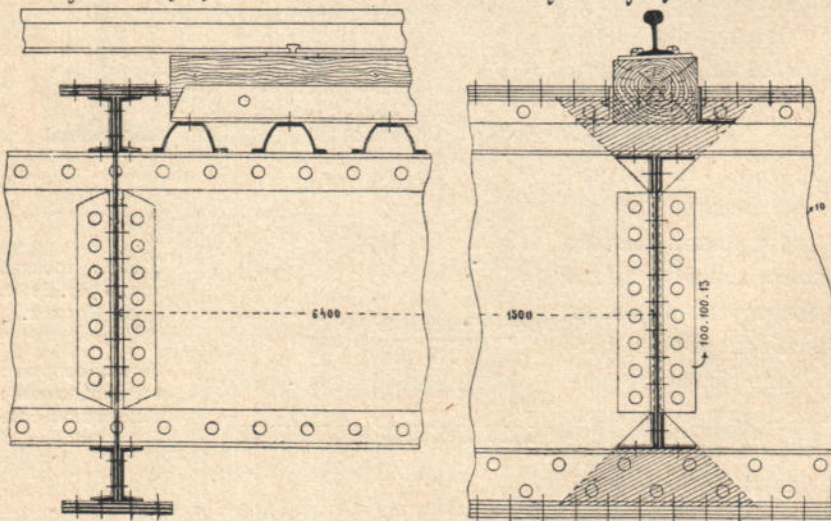


Въ этой стѣнкѣ сдѣлано прямоугольное отверстіе, соотвѣтственно высотѣ и наибольшей ширинѣ продольной балки. Чтобы восполнить ослабленіе, отверстіе окаймлено двумя накладками и четырьмя вертикальными уголками, а подъ продольною балкою устроено два уголка, служащіе ей опорю.

Другой примѣръ сопряженія сплошной продольной и поперечной балки показанъ въ фиг. 362 и соотвѣтствуетъ тому случаю, когда высота продольной балки равна разстоянію въ свѣту между поясами поперечной балки. Эти пояса составлены каждый изъ двухъ швеллеровъ и трехъ горизонтальных листовъ. Продольная балка непосредственно опирается на швеллера нижняго пояса.

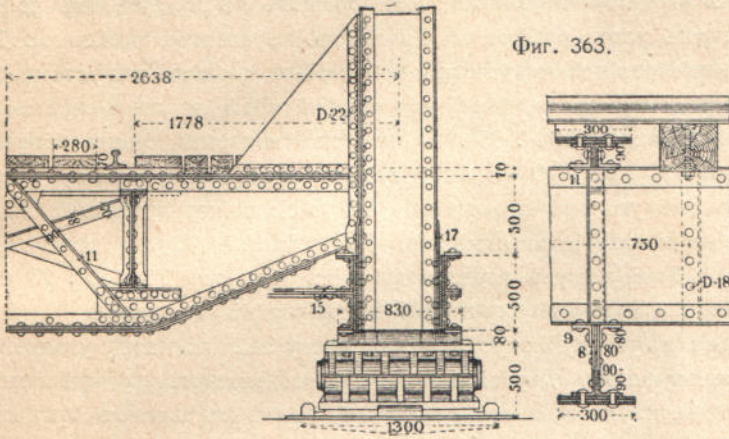
Продольный разрывъ. Фиг. 362.

Поперечный разрывъ.



лера нижняго пояса. Такъ какъ для пропуска продольной балки потребовался бы вырѣзъ стѣнки поперечной балки болѣе, чѣмъ на $\frac{2}{3}$ ея высоты, то предпочли прервать всю стѣнку, обрѣзывая верхній и нижній уголь каждого ея

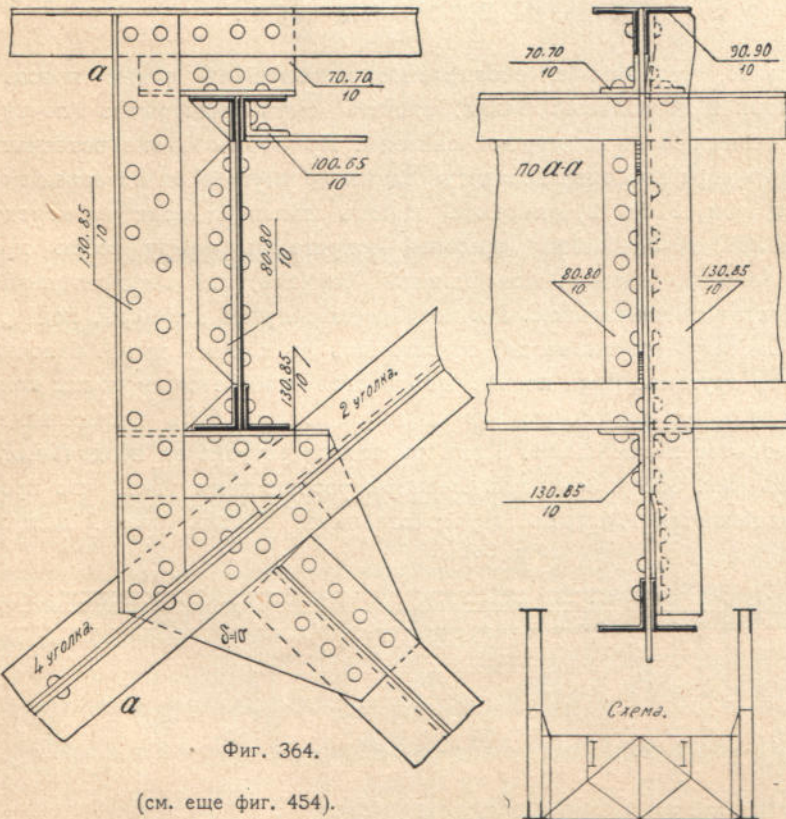
конца подь угломъ 45° для того, чтобы пропустить поясные уголки продольной балки. Между швеллерами верхняго и нижняго пояса помѣщаются двѣ заштрихованныя въ ф. 362 прокладки; такъ какъ онѣ не возмѣщаютъ ослабленія стѣнки, то при расчетѣ момента инерціи поперечной балки слѣдуетъ считать ея стѣнку вовсе отсутствующею. Стѣнки продольной и поперечной балки непосредственно связаны между собою помощью 4-хъ вертикальныхъ уголковъ 100 . 100 . 13 мм., вслѣдствіе чего сопряженіе относится къ разряду неподвижныхъ и жесткихъ, страдая ихъ недостатками.



Фиг. 363.

Въ фиг. 363 показанъ примѣръ сопряженія въ томъ случаѣ, когда поперечная балка имѣетъ по концамъ сплошную, а по серединѣ сквозную стѣнку. Неразрѣзная продольная балка опирается своимъ нижнимъ поясомъ на выступъ стѣнки поперечной балки, окаймленный двумя горизонтальными уголками и служащій, вмѣстѣ съ тѣмъ, для прикрѣпленія восходящаго раскоса поперечной балки. Для удержанія продольной балки отъ опрокидыванія, ея верхній поясъ помощью двухъ короткихъ уголковъ прикрѣпленъ къ верхнимъ уголкамъ поперечной балки. Стѣнка продольной балки снабжена парю уголковъ жесткости и ничѣмъ не связана со стѣнкою поперечной балки; но въ виду

Ж.-д. мос. чер. Дунай въ Сигмарингенѣ.



Фиг. 364.

(см. еще фиг. 454).

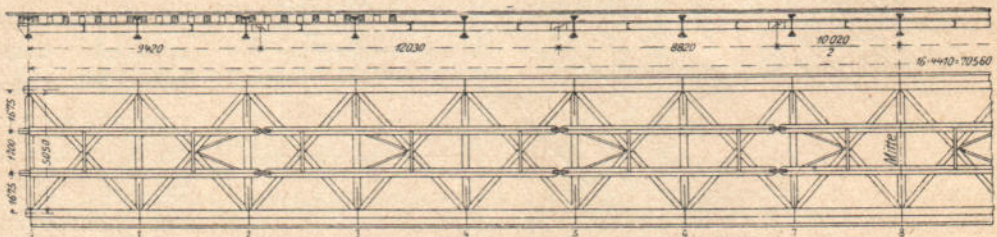
Прикрѣпленіе неразрѣз. продольной балки къ сквозной попер. балкѣ (проектъ).

закрѣпленія верхняго и нижняго пояса продольной балки, это сопряженіе относится къ разряду неподвижныхъ и жесткихъ. Другой примѣръ такого же сопряженія имѣется дальше въ фиг. 463, а также на стр. 421 I тома (фиг. 530).

Въ фиг. 364 показанъ примѣръ неподвижнаго прикрѣпленія неразрѣзной продольной балки къ сквозной поперечной балкѣ, стѣнка которой, согласно схемѣ на фиг. 364 и дальше на фиг. 454, состоитъ изъ двухъ главныхъ и двухъ полураскосовъ, изъ средней стойки и двухъ полустоекъ. Главные раскосы имѣютъ крестовое сѣченіе изъ 2 уголковъ въ верхней и 4 уголковъ въ нижней ихъ половинѣ и въ промежуточномъ узлѣ снабжены фасонною прокладкою толщиною 10 мм., служащею для прикрѣпленія полураскоса и полустойки, а также для установки на нее неразрѣзной продольной балки, для чего верхній край вставки снабженъ двумя горизонтальными уголками 130 . 85 . 10 мм., изъ которыхъ одинъ короче, доходя только до уголка 130 . 85 . 10 мм., образующаго полустойку, между тѣмъ какъ другой горизонтальный уголокъ продолженъ влѣво до конца прокладки. Для удержанія продольной балки отъ опрокидыванія, она помощью двухъ вертикальныхъ уголковъ 80 . 80 . 10 мм. и двухъ горизонтальныхъ уголковъ 70 . 70 . 10 мм. (наверху) прикрѣплена къ фасонной вертикальной накладкѣ толщиною 10 мм., которая сбоку приклепана къ уголку полустойки, а сверху зажата между уголками верхняго пояса поперечной балки. Другой примѣръ неподвижнаго прикрѣпленія неразрѣзной продольной балки къ сквозной поперечной балкѣ съ двойною стѣнкою имѣется дальше въ фиг. 462 и 561.

§ 47. Консольныя продольныя балки.

Въ § 43 указано, что вліяніе, оказываемое измѣненіемъ длины поясовъ фермъ на поперечныя и продольныя балки, можетъ быть уничтожено (почти), если устроить продольныя балки консольной системы. При этомъ можно различать три конструкціи: 1) концы консолей доводятъ одинъ до другого съ оставленіемъ зазора между ними (фиг. 313), 2) опираютъ конецъ одной консоли на конецъ другой (фиг. 365 и 369) и 3) концы консолей сопрягаютъ между собою при помощи подвѣсной балочки, какъ въ консольныхъ фермахъ, гдѣ соединительная часть всегда чередуется съ консольною. Въ послѣднемъ случаѣ шарниры, поддерживающіе каждую балочку, устраиваются подвижнымъ въ одномъ концѣ балочки и неподвижнымъ—въ другомъ. Если подвѣсныхъ частей не имѣется, и концы консолей опираются одинъ на другой, то всѣ шарниры должны быть подвижными, допускающими продольное перемѣщеніе. Примѣръ такого устройства продольныхъ балокъ показанъ въ фиг. 365 и 369, гдѣ шарниры расположены такъ, что продольныя балки раздѣляются на рядъ двухконсольныхъ балокъ разной длины. Фиг. 365.



Железнодорожный мостъ черезъ Неккаръ у Гейдельберга.

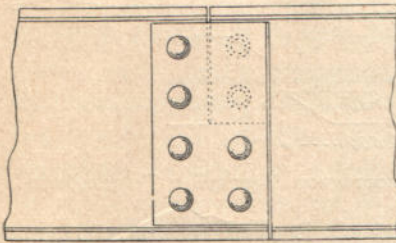
Вслѣдствіе отсутствія подвѣсных частей, расчетъ изгибающихъ моментовъ и поперечныхъ силъ представляетъ статически неопредѣлимую задачу, но, въ виду расположенія шарнировъ близко отъ поперечныхъ балокъ, можно пренебречь вліяніемъ консолей и разсматривать отдѣльные участки продольныхъ балокъ какъ двухпролетныя неразрѣзныя балки. Что касается вертикальнаго давленія Q въ шарнирѣ, то можно рассчитать его изъ условія, что короткая и длинная консоль, поддерживающія этотъ шарниръ, прогибаются на одинаковую величину. При расчетѣ прогиба этихъ консолей можно допустить, что каждая консоль принадлежитъ одноконсольной балкѣ на двухъ опорахъ.

Прикрѣпленіе консольныхъ продольныхъ балокъ къ поперечнымъ можетъ быть устроено по тѣмъ же способамъ, которые были описаны при разсмотрѣніи неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ (§ 46); поэтому можно ограничиться разсмотрѣніемъ конструкціи шарнировъ.

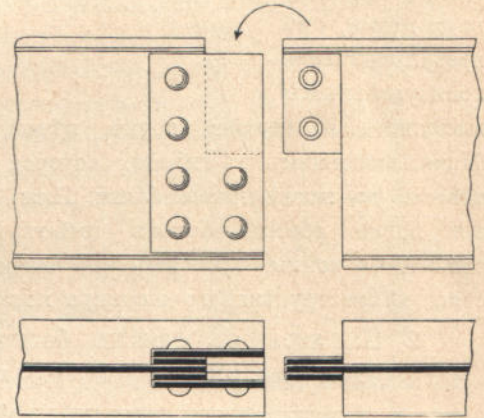
Конструкція шарнировъ. Придерживаясь той же классификаціи, которую мы установили для шарнировъ консольныхъ фермъ на стр. 174 II тома, будемъ различать четыре основныхъ типа шарнировъ: 1) шарниры въ видѣ накладного замка, 2) шарниры съ однимъ болтомъ, 3) шарниры съ подвѣскою и 4) шарниры въ видѣ упругаго соединенія. Шарниры 1-го и 2-го типа могутъ быть устроены подвижными или неподвижными, между тѣмъ какъ шарниры 3-го типа относятся къ разряду подвижныхъ, а шарниры 4-го типа—къ разряду неподвижныхъ.

1) Шарниры въ видѣ накладного замка характеризуются тѣмъ, что конецъ

Фиг. 366.

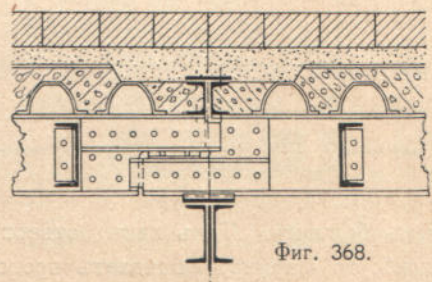


Фиг. 367.



каждой балки вырѣзывается на половину ея высоты такъ, чтобы одна балка своимъ верхнимъ выступомъ опиралась на нижній выступъ другой балки. Простѣйшій примѣръ показанъ въ фиг. 367. Въ концѣ правой балки вырѣзана нижняя половина, а верхняя половина усилена двумя накладками и опирается на нижній выступъ лѣвой балки, причемъ на стѣнку послѣдней наклепаны двѣ прокладки (съ вырѣзомъ) и двѣ прямоугольныя накладки, удерживающія конецъ правой балки отъ бокового сдвига. Фиг. 366 изображаетъ тѣ-же балки въ собранномъ видѣ.

Другой примѣръ подвижнаго шарнира показанъ въ фиг. 368. Въ концѣ лѣвой балки вырѣзана нижняя половина; верхній ея выступъ усиленъ двумя накладками и при помощи стальной подушки опирается на ниж-



Фиг. 368.

Burghorbrücke черезъ каналъ Эльбе-Траве въ Любекѣ.

ний выступъ правой балки, усиленный двумя накладками. Чтобы предупредить боковой сдвигъ балокъ, къ выступу той и другой балки приклепано по парѣ горизонтальныхъ уголковъ, конецъ которыхъ немного захватываетъ стѣнку другой балки.

Другой примѣръ подвижнаго шарнира показанъ въ фиг. 369. Продольныя балки устроены изъ широкополочнаго двутавроваго желѣза (сист. Грей). Въ шарнирѣ стѣнка обоихъ концовъ обрѣзана вертикально безъ выступовъ съ оставленіемъ между торцами стѣнокъ зазора въ 10 мм. Къ стѣнкѣ правой балки приклепано двѣ накладки толщиной по 35 мм. съ верхнимъ выступомъ, который захватываетъ стѣнку лѣвой балки на 45 мм. и опирается на выступъ накладокъ, приклепанныхъ къ лѣвой балкѣ, и зажимающихъ между собою край стѣнки правой балки. Итакъ, вертикальное давленіе передается съ правой балки на лѣвую только черезъ накладки толщиной 35 мм., приклепанныя къ стѣнки балокъ и снаб-

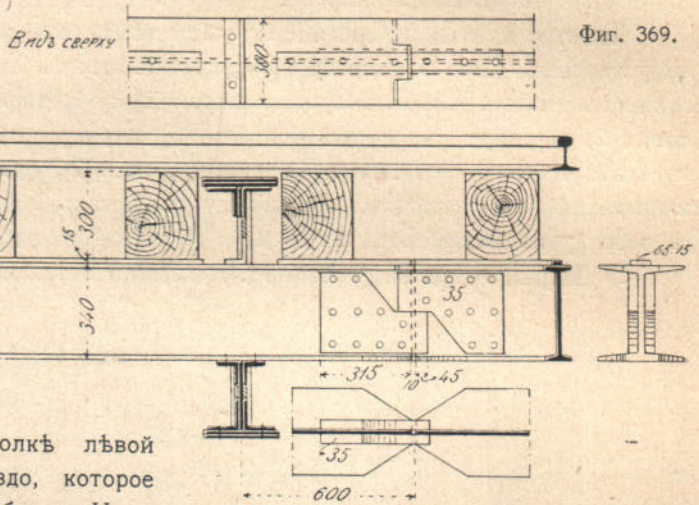
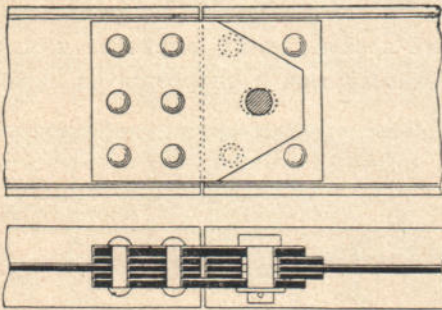
женныя въ мѣстѣ взаимнаго соприкасания выпуклостью. Что касается бокового сдвига, то, кромѣ вышеуказаннаго зажатія концовъ стѣнки между накладками, онъ предупреждается прямоугольнымъ

выступомъ въ верхней полкѣ лѣвой балки, входящимъ въ гнѣздо, которое сдѣлано въ полкѣ правой балки. Нижнія полки обѣихъ балокъ имѣютъ скошенные концы и ничѣмъ не связаны между собою.

Еще одинъ примѣръ простого и конструктивнаго шарнира показанъ въ фиг. 156 и 157 на стр. 167 II т.

2) Шарниры съ однимъ болтомъ очень просты по конструкціи, но для передачи большаго давленія они мало пригодны. Сопряженіе получается неподвижнымъ или подвижнымъ, смотря по тому, устроено ли отверстіе для болта точно по его размѣру, или же овальнымъ. Въ фиг. 370 стѣнка правой балки утолщена наклепкою двухъ накладокъ для того, чтобы увеличить сопротивленіе болта на смятіе. Къ стѣнкѣ лѣвой балки приклепаны двѣ прокладки и двѣ накладки, причѣмъ послѣднія обхватываютъ конецъ правой балки и снабжены шарнирнымъ болтомъ. Такъ какъ отверстіе для него сдѣлано овальнымъ въ правой балкѣ, то шарниръ обладаетъ продольною подвижностью.

Фиг. 370.



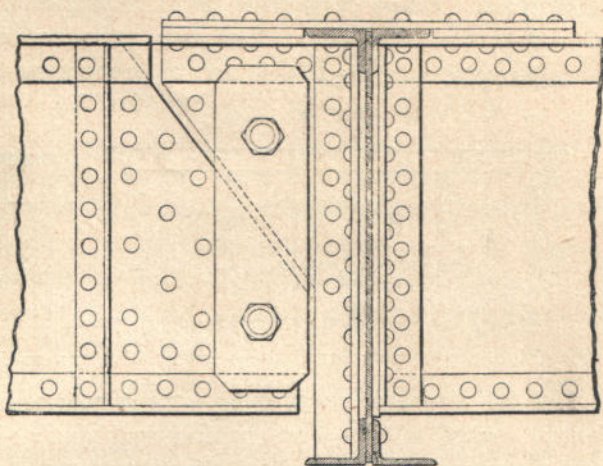
Фиг. 369.

Жел.-дор. мостъ чер. Неккаръ у Гейдельберга.

3) Шарниры съ подвѣскою характеризуются тѣмъ, что нижній конецъ одной балки подвѣшивается къ верхнему концу другой балки при помощи под-

вѣски, которая прикрѣпляется къ каждой изъ этихъ балокъ помощью болта. Качаясь около этихъ болтовъ, подвѣска допускаетъ продольное перемѣщеніе и вращеніе концовъ продольной балки. Проще всего устраивать подвѣску изъ двухъ полосъ, обхватывающихъ стѣнку балокъ, которая, для увеличенія сопротивленія болтовъ на смятіе, усиливается наклепкою накладокъ. Въ фиг. 371 показанъ примѣръ, соответствующій тому случаю, когда шарниръ продольной балки расположенъ непосредственно у самой поперечной балки; конецъ продольной балки подвѣшенъ къ треугольному кронштейну, приклепанному къ поперечной балкѣ, сѣченіе которой заштриховано въ фиг. 371.

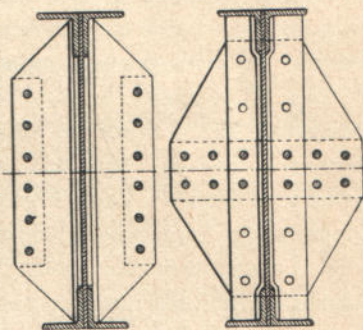
Фиг. 371.



4) Шарниры въ видѣ упругаго соединенія въ большинствѣ случаевъ не обладаютъ продольною подвижностью и могутъ быть устроены разными способами. Простѣйшее упругое сопряженіе состоитъ, согласно ф. 372, изъ 4-хъ вертикальныхъ уголковъ, приклепанныхъ по парѣ къ концу каждой балки съ помѣщеніемъ между ними двухъ вертикальныхъ прокладокъ изъ полосового желѣза, каждая изъ которыхъ приклепана 6-ю заклепками. Другіе примѣры такой конструкции находятся на стр. 194 и 195 II тома. Гибкость сопряженія въ вертикальной плоскости можно значительно увеличить, если помѣстить прокладку горизонтально, лучше всего по серединѣ высоты балки, примѣняя для ея прикрѣпленія фасонныя накладки. Примѣръ такого сопряженія показанъ въ фиг. 373, гдѣ къ торцу каждой балки приклепана помощью двухъ вертикальныхъ уголковъ восьмиугольная накладка, причемъ заклепки имѣютъ съ внутренней стороны потайныя головки. По серединѣ высоты балки между этими накладками помѣщена горизонтальная прокладка, черезъ которую проходятъ всѣ 12 заклепокъ, служащія для взаимнаго соединенія накладокъ.

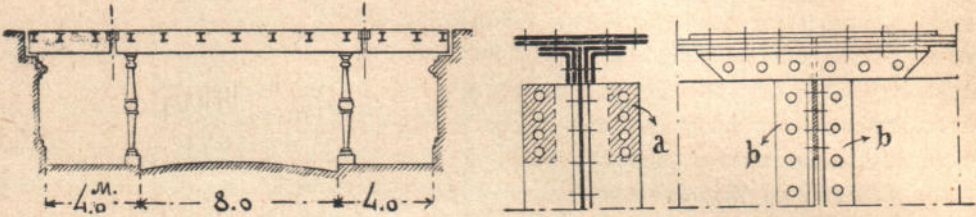
Фиг. 372.

Фиг. 373.



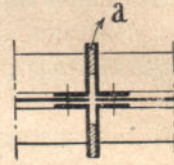
Гибкое сопряженіе получается также, если склепывать между собою только верхніе концы соприкасающихся балокъ, не закрѣпляя остальной части балокъ. Примѣръ такого соединенія имѣется въ фиг. 374. Вертикальные листы фермъ прерываются въ шарнирѣ съ оставленіемъ между ихъ концами зазора въ 3 мм. Къ концамъ вертикальныхъ листовъ приклепано по парѣ неравнобокихъ вертикальныхъ уголковъ *b*, обращенныхъ другъ къ другу широкими полками. Наверху уголки соединены между собою 8-ю заклепками, причемъ зазоръ въ 3 мм. заполненъ узкими прокладками *a*, заштрихованными въ поперечномъ разрѣзѣ фиг. 374. Горизонтальные листы и поясные уголки также прерываются въ шарнирѣ. Въ

верхнемъ поясѣ стыки этихъ частей перекрыты накладкою и уголками, а въ нижнемъ поясѣ стыки оставлены безъ перекрытія, дабы при прогибѣ фермъ шовъ могъ раскрываться внизу. Проѣзжая часть состоитъ изъ поперечныхъ и продольныхъ балокъ, покрытыхъ лотковымъ желѣзомъ, не прерывающимся въ шарнирѣ. Фиг. 374.



Жел.-дор. путепроводъ черезъ улицу Майбахъ въ Кельнѣ.

Для упругаго сопряженія между собою продольныхъ балокъ, могутъ быть еще примѣнены листовые шарниры, которыя имѣютъ большія преимущества передъ вышеуказанными упругими сопряженіями. Конструкція и расчетъ листовыхъ шарнировъ подробно изложены на стр. 196 до 212 II тома и поэтому здѣсь не разсматриваются.

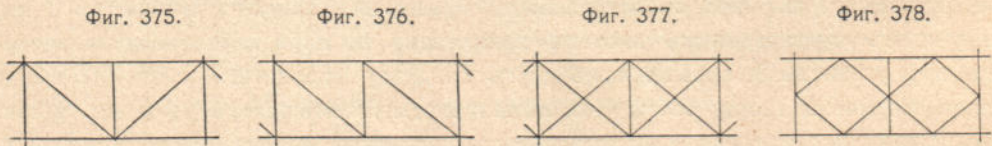


§ 48. Связи между продольными балками.

Для соединенія продольныхъ балокъ между собою, примѣняютъ горизонтальныя (продольныя) и вертикальныя (поперечныя) связи. Продольныя связи устраиваютъ въ томъ случаѣ, если длина балокъ больше $12b$, гдѣ b —ширина пояса балокъ. При длинѣ балокъ до 3 мет. и прочномъ закрѣпленіи ихъ концовъ, поперечныхъ связей вовсе не устраиваютъ и ограничиваются одною системою горизонтальныхъ связей. При болѣе длинѣ панели добавляютъ одну или двѣ вертикальныя связи въ каждой панели. Иногда въ мостахъ подъ обыкновенную дорогу соединяютъ продольныя балки между собою только поперечными связями.

Горизонтальныя связи слѣдуетъ располагать по возможности близко отъ поверхности полотна для того, чтобы уменьшить внѣцентричность между плоскостью связей и точкою приложенія горизонтальной нагрузки, и чтобы боковые удары колесъ встрѣчали противодѣйствіе по возможности близко отъ мѣста ихъ дѣйствія. За расположеніе горизонтальныхъ связей наверху, въ плоскости сжатого пояса, говоритъ еще то, что увеличивается боковая жесткость этихъ поясовъ. На этомъ основаніи слѣдуетъ всегда стремиться къ расположенію горизонтальныхъ связей въ плоскости верхняго пояса продольныхъ балокъ, несмотря на то, что въ конструктивномъ отношеніи было бы удобнѣе помѣщать эти связи въ плоскости нижняго пояса.

Горизонтальныя связи принято устраивать или треугольной (фиг. 375), или простой раскосной (фиг. 376), или сложной раскосной системы (фиг. 377). Пред-

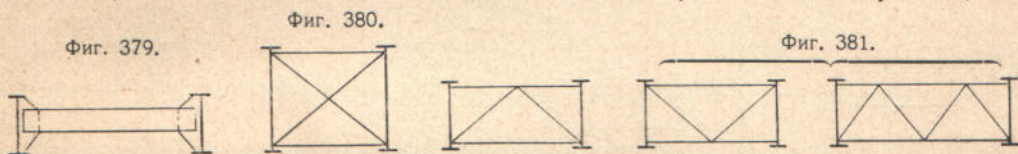


почтеніе слѣдуетъ отдавать первымъ двумъ системамъ, какъ болѣе простымъ. Въ

желѣзнодорожныхъ мостахъ горизонтальныя связи между продольными балками имѣютъ обыкновенно только двѣ панели (какъ въ фиг. 375 до 377) съ устройствомъ одной вертикальной связи по серединѣ пролета продольныхъ балокъ. Въ случаѣ большой длины этихъ балокъ (6 до 8 м.), примѣняютъ трехпанельныя горизонтальныя связи съ рѣшеткою такой же системы, какъ въ фиг. 375 до 377, и устраиваютъ двѣ вертикальныя связи (въ третяхъ). Если желательно раздѣлить продольныя балки на 4 панели и устроить между ними только одну вертикальную связь, можно примѣнить ромбическую систему горизонтальныхъ связей (фиг. 378), при которой длина діагоналей, а также свободная длина сжатого верхняго пояса получаютъ сравнительно малыми.

Горизонтальныя связи испытываютъ усилія отъ давленія вѣтра на подвижной составъ и на проѣзжую часть, отъ боковыхъ ударовъ колесъ подвижного состава и отъ тормажения; но такъ какъ при небольшомъ пролетѣ продольныхъ балокъ эти усилія незначительны, то обыкновенно горизонтальныя связи не рассчитываются. Всѣ діагонали и распорки исполняютъ обыкновенно изъ одного уголка.

Вертикальныя связи. При наличности только двухъ продольныхъ балокъ, вертикальныя связи между ними устраиваютъ или въ видѣ жесткой распорки (фиг. 379) при небольшой высотѣ балокъ, или въ видѣ Андреевскаго креста (фиг. 380), если высота балокъ мало отличается отъ разстоянія между ними, или

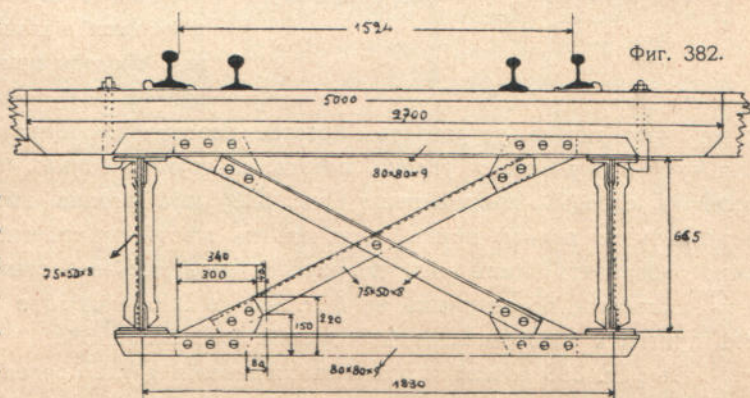


треугольной системы, согласно фиг. 381, если разстояніе между балками больше ихъ высоты. При наличности большого числа продольныхъ балокъ, не слѣдуетъ соединять ихъ между собою непрерывными вертикальными связями, а достаточно связывать балки попарно такъ, чтобы чередовалась панель со связями и безъ нихъ, руководствуясь при этомъ соображеніями, изложенными въ § 16 и 33 IV тома (о связяхъ).

Въ случаѣ примѣненія одной распорки (фиг. 379), она устраивается или изъ одного уголка, или изъ двухъ уголковъ, расположенныхъ въ видѣ креста, или изъ швеллера. Если связи устраиваются сквозной системы (фиг. 380 и 381), то ихъ діагонали и распорки обыкновенно принимаютъ изъ одного уголка.

Прикрѣпленіе связей къ балкамъ. Непосредственное прикрѣпленіе діагоналей и распорокъ связей къ балкамъ встрѣчается рѣдко, такъ какъ не удается помѣстить достаточное число заклепокъ.

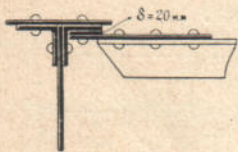
Въ фиг. 382 показанъ примѣръ непосредственнаго прикрѣпленія вертикальныхъ связей къ продольнымъ балкамъ. Верхняя и нижняя распорки, состоящія каждая изъ уголка 80 . 80 . 9 мм., приклепаны къ поя-



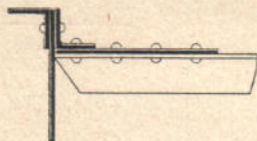
Жел.-дор. мостъ черезъ Москву на Моск. Окруж. ж. дор.

самъ балокъ снаружи, помощью двухъ заклепокъ въ концѣ каждого уголка. Діагонали изъ уголка 75 . 50 . 8 мм. приклепаны не къ поясамъ балокъ, а къ распоркамъ связей при помощи вертикальныхъ фасонныхъ накладокъ.

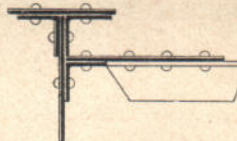
Обыкновенно для прикрѣпленія связей пользуются горизонтальными и вертикальными накладками, приклепываемыми къ продольнымъ балкамъ. Въ желѣзнодорожныхъ мостахъ съ проѣзжей частью изъ деревянныхъ подрельсовыхъ поперечинъ, уложенныхъ на продольныхъ балкахъ, слѣдуетъ обращать особое вниманіе на прикрѣпленіе верхнихъ горизонтальныхъ связей такъ, чтобы поперечины, прогибаясь подъ давленіемъ колесъ поѣзда, не надавливали на діагонали верхнихъ связей, такъ какъ это влечетъ за собою быстрое разстройство заклепокъ, прикрѣпляющихъ діагонали связей (см. конецъ § 25 въ IV томѣ). Вслѣдствіе этого, накладки для прикрѣпленія связей нельзя наклепывать на верхній поясъ балокъ сверху. Равнымъ образомъ нельзя рекомендовать перенесеніе горизонтальныхъ связей сверху на уровень нижняго пояса балокъ, а слѣдуетъ прикрѣплять верхнія связи къ балкамъ по одному изъ слѣдующихъ способовъ такъ, чтобы между поперечинами и связями оставался достаточный зазоръ. 1) Согласно фиг. 383, между горизонтальною накладкою и пояснымъ уголкомъ балки помѣщаютъ прокладку, толщиной около 20 мм. 2) Согласно фиг. 384, поворачиваютъ внутренній поясной уголокъ балки такъ, чтобы его горизонтальная полка была обращена



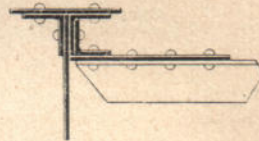
Фиг. 383.



Фиг. 384.

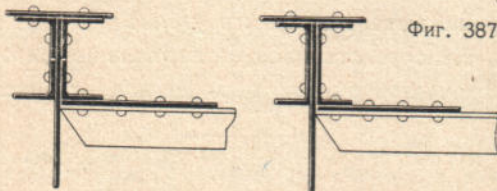


Фиг. 385.



Фиг. 386.

внизъ, и приклепываютъ къ ней накладку снизу. 3) Согласно фиг. 385, ниже поясного уголка балки приклепываютъ къ ея стѣнкѣ короткій горизонтальный уголокъ и приклепываютъ къ нему накладку сверху. 4) Согласно фиг. 386, къ внутреннему поясному уголку приклепываютъ кусокъ уголка, обращеннаго горизонтальною полкою внизъ, и приклепываютъ къ нему накладку снизу. 5) Если поясъ балки имѣетъ двутавровое сѣченіе изъ 4 уголковъ или двухъ швеллеровъ,

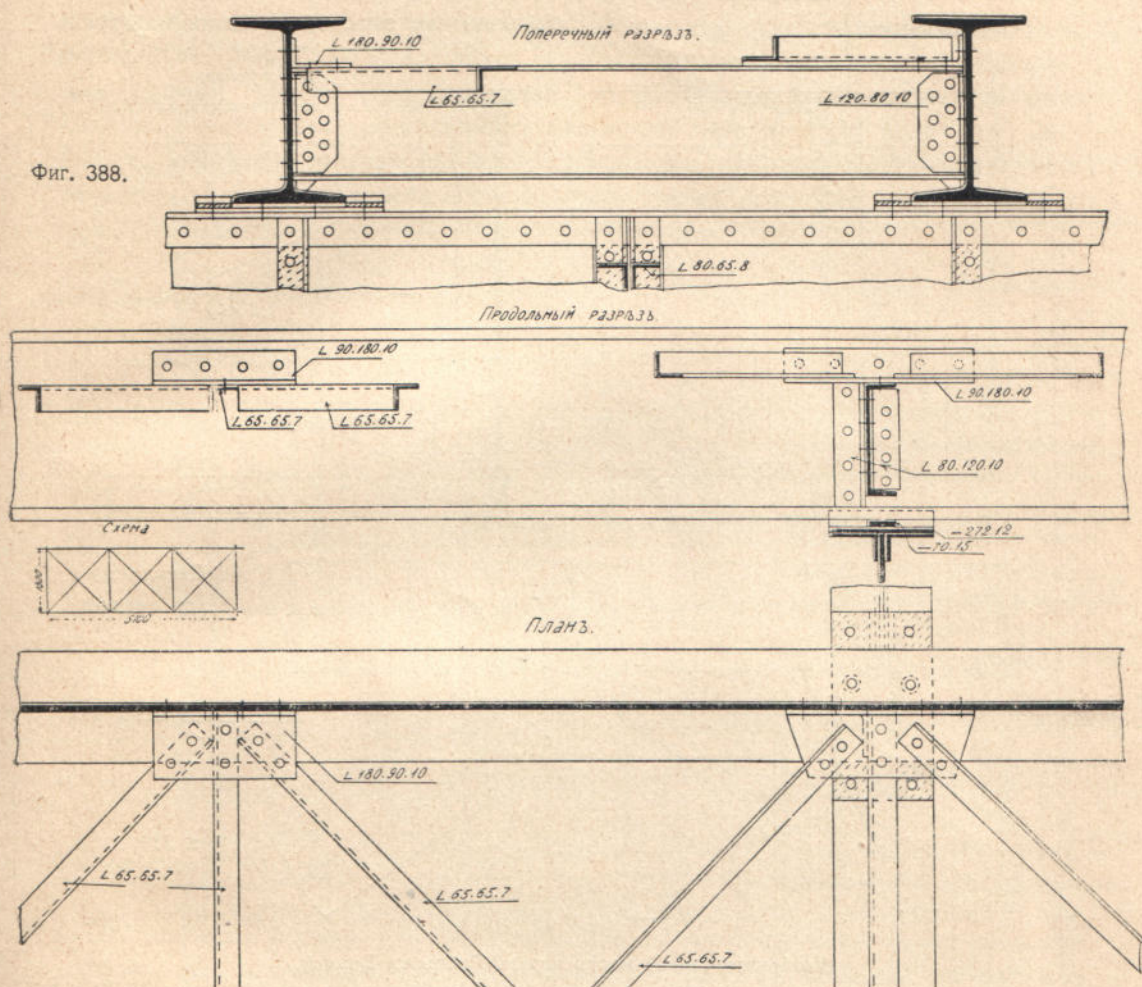


Фиг. 387.

согласно фиг. 387, то приклепываютъ накладку къ нижней горизонтальной полкѣ уголка или швеллера. Если верхнія связи состоятъ изъ перекрещивающихся діагоналей, то всѣ описанные способы прикрѣпленія, кромѣ перваго (ф. 383), имѣютъ еще то преимущество, что можно устраивать простое пересѣченіе діагоналей, обращая вертикальную полку одного уголка вверхъ, а другого внизъ; между тѣмъ какъ при первомъ способѣ прикрѣпленія (фиг. 383) оба уголка должны быть обращены вертикальною полкою внизъ, для чего въ мѣстѣ пересѣченія діагоналей необходимо перерѣзать одинъ изъ уголковъ и перекрыть его стыкъ фасонною рыбкою. Изъ способовъ, показанныхъ на фиг. 383 до 386, наиболѣе рациональными слѣдуетъ признать способы, соответствующіе фиг. 385 и 386.

Въ фиг. 388 показанъ примѣръ соединенія двухъ продольныхъ балокъ 1) верх-

ними пониженными горизонтальными связями и 2) вертикальными связями, въ видѣ жесткихъ распорокъ изъ швеллера. Неразрѣзныя продольныя балки изъ широко-

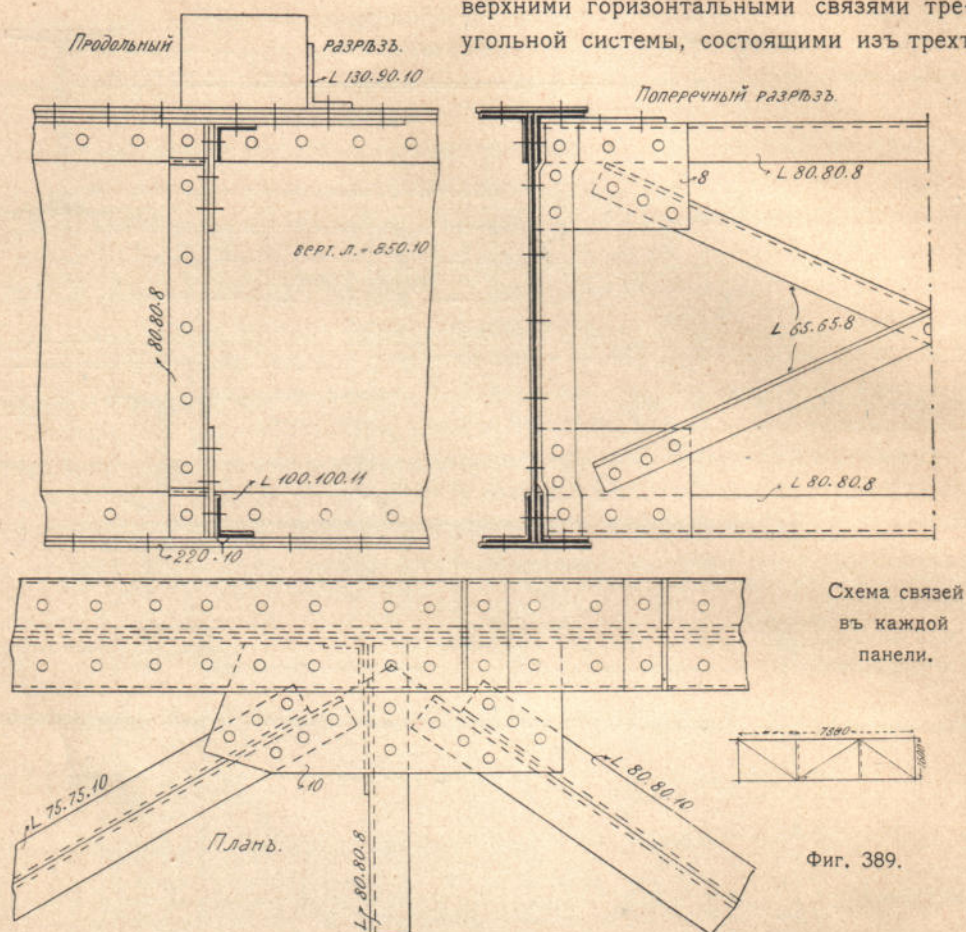


Жельзнодорожный виадукъ черезъ Зиттеръ на жел. дор. Bodensee-Teggenburg.

полочнаго двутавроваго желѣза (сист. Грей) уложены на верхнемъ поясѣ поперечныхъ балокъ и въ каждой панели проѣзжей части длиною 5,1 м., связаны между собою тремя горизонтальными крестами изъ уголковъ 65 . 65 . 7 мм., обращенныхъ своею вертикальною полкою въ разныя стороны, двумя промежуточными распорками изъ одного уголка 65 . 65 . 7 мм., и надъ поперечными балками жесткими распорками изъ швеллера высотой 300 мм. (см. схему въ фиг. 388). Горизонтальныя связи прикрѣплены къ балкамъ при помощи короткихъ горизонтальныхъ уголковъ 180 . 90 . 10 мм., приклепанныхъ своею узкою полкою къ стѣнкѣ балокъ, между тѣмъ какъ къ ихъ широкой полкѣ приклепаны снизу концы распорокъ и концы діагоналей, причемъ эти діагонали подходятъ къ уголкамъ то сверху, то снизу. Жесткія распорки изъ швеллера прикрѣплены къ стѣнкѣ продольныхъ балокъ помощью двухъ вертикальныхъ уголковъ 120 . 80 . 10 мм. и верхняго горизонтальнаго уголка 180 . 90 . 10 мм.

Въ фиг. 389 показанъ примѣръ соединенія двухъ продольныхъ балокъ верхними горизонтальными связями треугольной системы и вертикальными связями въ

видѣ Андреевскаго креста. Въ каждой панели проѣзжей части, длиною 7,3 м., раз-
рѣзныя продольныя балки клепаного двутавроваго сѣченія соединены между собою
верхними горизонтальными связями тре-
угольной системы, состоящими изъ трехъ



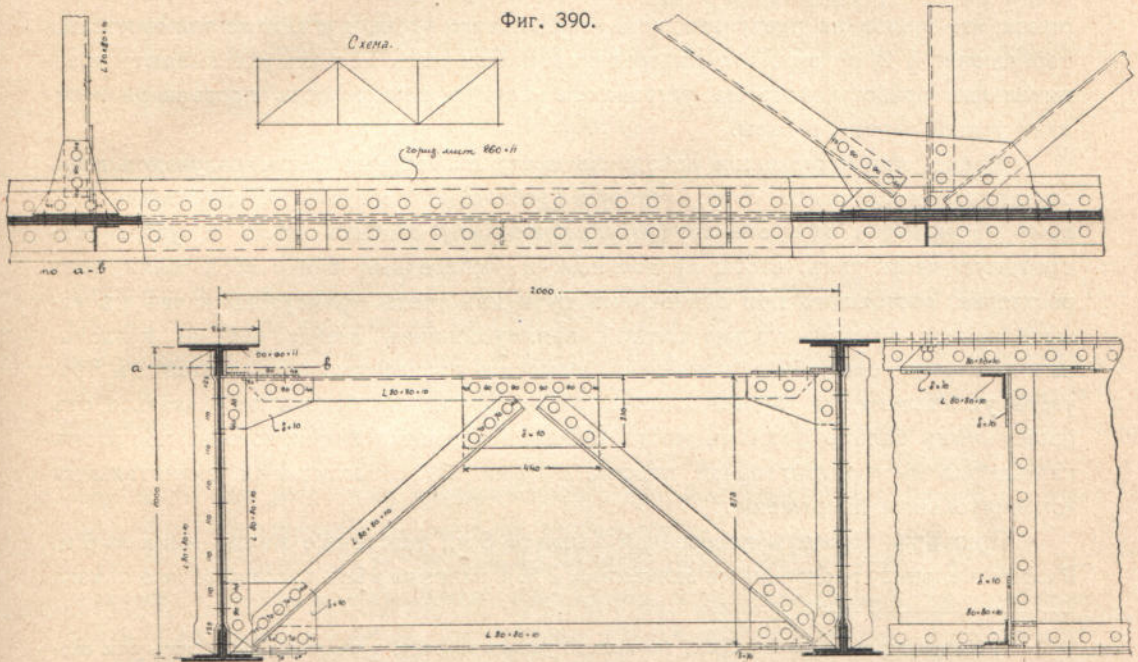
Железнодорожный мостъ черезъ Рейнъ въ Вормсѣ.

диагоналей (см. схему фиг. 389) и двухъ распорокъ, которыя служатъ одновременно верхними распорками обѣихъ имѣющихся въ каждой панели вертикальныхъ связей. Диагонали горизонтальныхъ связей состоятъ каждая изъ двухъ уголковъ, обращенныхъ вертикальною полкою внизъ и приклепанныхъ къ продольнымъ балкамъ помощью горизонтальныхъ накладокъ. Такъ какъ верхній поясъ продольной балки снабженъ горизонтальнымъ листомъ, а диагонали приклепаны къ накладкѣ снизу, то между верхомъ балки и диагоналей остается зазоръ въ 31 мм., достаточный какъ для врубки деревянной поперечины, такъ и для предохраненія диагоналей отъ нажатія на нихъ поперечинъ.

Вертикальныя связи, которыхъ въ каждой панели устроено двѣ, состоятъ изъ верхней и нижней распорки, каждая изъ одного уголка 80 . 80 . 8 мм. и изъ двухъ перекрещивающихся диагоналей, изъ уголка 65 . 65 . 8 мм. Диагонали приклепаны къ балкамъ при помощи прямоугольныхъ вертикальныхъ накладокъ, для прикрѣпленія которыхъ каждая балка снабжена однимъ вертикальнымъ уголкомъ 80.80.8 мм., расположеннымъ такъ, чтобы онъ не встрѣчался съ уголкомъ распорокъ. Эти

же накладки служатъ для прикрѣпленія распорокъ къ балкамъ, причемъ уголокъ верхней распорки, кромѣ того, приклепанъ къ горизонтальной накладкѣ, служащей для прикрѣпленія діагоналей горизонтальныхъ связей.

Въ фиг. 390 показанъ примѣръ соединенія двухъ продольныхъ балокъ пониженными верхними горизонтальными связями треугольной системы и вертикальными связями треугольной системы. Въ каждой панели проѣзжей части длиною 7,6 м. горизонтальная связь состоитъ изъ трехъ діагоналей (см. схему фиг. 390) и двухъ распорокъ, которыя служатъ одновременно верхними распорками обѣихъ имѣющихся въ каждой панели вертикальныхъ связей. Діагонали горизонтальныхъ



связей состоятъ каждая изъ уголка 80 . 80 . 10 мм., обращеннаго вертикальною полкою внизъ и приклепаннаго къ продольнымъ балкамъ помощью горизонтальныхъ накладокъ, которыя приклепаны къ пояснымъ уголкамъ балокъ при помощи короткихъ уголковъ.

Въ каждой панели устроено двѣ вертикальныя связи, которыя состоятъ изъ верхней и нижней распорки, каждая изъ одного уголка 80 . 80 . 10 мм. и изъ двухъ полураскосовъ, изъ уголка 80 . 80 . 10 мм. Распорки и полураскосы приклепаны къ балкамъ при помощи фасонныхъ вертикальныхъ накладокъ.

§ 49. Тормазныя связи железнодорожныхъ мостовъ.

Въ настоящее время, когда на нашихъ дорогахъ автоматическіе тормазы со снабженіемъ всѣхъ вагонныхъ осей тормазными колодками являются принадлежностью почти всѣхъ пассажирскихъ поѣздовъ, и предвидится введеніе автоматическаго тормаженія также и для товарныхъ поѣздовъ, вопросъ о вліяніи тормаженія на прочность мостовъ, и особенно ихъ проѣзжей части, имѣетъ серьезное значеніе. Если на мостахъ, расположенныхъ на перегонахъ между станціями, тормаженіе

происходить въ видѣ исключенія, то на мостахъ, расположенныхъ на уклонахъ, или около станцій, тормаженіе представляетъ вполнѣ нормальное явленіе.

Извѣстно, что при тормаженіи колеса рельсу передается горизонтальная сила ²⁾, равная нагрузкѣ колеса, помноженной на коэффициентъ тренія ³⁾ бандажа по рельсу и стремящаяся увлечь рельсъ по направленію движенія поѣзда. Эта сила передается проѣзжей части моста отчасти треніемъ рельса по шпаламъ, и отчасти черезъ шпунты въ накладкахъ или другія приспособленія, устраиваемыя для удержанія рельсъ отъ продольнаго угона. Передачею силъ тормаженія съ одного рельса на послѣдующіе, вслѣдствіе тренія между рельсами и прижатыми къ нимъ стыковыми накладками, можно пренебречь, потому, 1) что по указаніямъ опыта это треніе не предупреждаетъ продольнаго угона пути, даже при отсутствіи тормаженія и 2) потому, что на среднихъ и большихъ мостахъ укладываютъ уравнительные приборы, которые устраняютъ всякую возможность продольной передачи усилій черезъ рельсы.

Итакъ, при тормаженіи поѣзда на мосту продольныя балки получаютъ горизонтальную продольную силу, которую необходимо передать неподвижнымъ опорамъ моста. Если на этотъ случай не принимать особыхъ мѣръ и устраивать проѣзжую часть такъ, чтобы продольныя и поперечныя балки образовали родъ ростверка, состоящаго при одиночномъ пути изъ трехъ прямоугольниковъ къ каждой панели, причемъ только средній прямоугольникъ между обѣими продольными балками (фиг. 391) приведенъ помощью горизонтальныхъ связей въ треугольную систему, то горизонтальная сила тормаженія будетъ передаваться отъ продольныхъ балокъ фермамъ моста черезъ поперечныя балки, которыя при этомъ изгибаются въ горизонтальной плоскости (фиг. 391), испытывая значительныя дополнителныя напряженія.

Примѣръ. Пролетъ поперечной балки = 6 м., разстояніе между ними = 6 м. Разстояніе между продольными балками = 2 м. Принимая вѣсь пассажирскаго поѣзда

²⁾ Кромѣ горизонтальной силы, толкающей рельсъ впередъ, тормаженіе вызываетъ еще вертикальную перегрузку переднихъ осей, происходящую отъ приложенія силы тормаженія внѣ центра тяжести подвижнаго состава. Обозначая для двухоснаго вагона черезъ a разстояніе между его осями, черезъ e возвышеніе центра тяжести вагона надъ рельсами, черезъ $T = \frac{1}{5} \cdot 2P$ силу тормаженія обѣихъ осей, гдѣ P —вертикальное давленіе каждой оси, получимъ вертикальную перегрузку передней оси

$$\Delta P = \frac{T \cdot e}{a}.$$

При $e = 1,5$ м., $a = 3$ м. получимъ

$$\Delta P = \frac{2}{5} \cdot \frac{P \cdot 1,5}{3} = 0,2 \cdot P,$$

т. е. вертикальная перегрузка = 20% отъ давленія оси.

Такъ какъ задняя ось разгружается на столько же, то названная перегрузка можетъ имѣть значеніе только для фермъ и балокъ проѣзжей части очень малаго пролета, временная нагрузка которыхъ состоитъ только изъ одной оси.

³⁾ Коэффициентъ f тренія зависитъ отъ скорости вращенія колеса; онъ возрастаетъ съ уменьшеніемъ скорости затормажennaго поѣзда и достигаетъ своей максимальной величины въ моментъ остановки поѣзда. Кромѣ того, коэффициентъ f зависитъ отъ погоды, отъ гладкости рельсъ и бандажей. При наилучшихъ условіяхъ $f = \frac{1}{4}$, а при среднихъ условіяхъ $f = \frac{1}{6}$. При проектированіи мостовъ принимаютъ въ Германіи $f = \frac{1}{5}$ до $\frac{1}{7}$; въ Швейцаріи $f = \frac{1}{6}$ до $\frac{1}{7}$; въ Америкѣ $f = \frac{1}{5}$. Въ 1905 г., при выработкѣ условій для проектированія желѣзнодорожнаго моста черезъ Волгу у Казани, Инженерный Совѣтъ М. П. С. предписалъ $f = \frac{1}{5}$.

со всеми тормозными осями = 1500 к. на п. м. моста, коэффициент трения $f = 1/5$, и допуская, что горизонтальная сила от торможения всего поезда распределяется поровну между всеми поперечными балками, получим горизонтальную силу T , передающуюся одной поперечной балкой каждой продольной балкой

$$T = 1/2 \cdot 1500 \cdot 6 \cdot 1/5 = 900 \text{ к.}$$

Наибольший изгибающий момент поперечной балки от действия обеих сил P в предположении, что концы балки шарнирные

$$M = 900 \cdot 200 = 180000 \text{ к. см.}$$

Момент сопротивления поперечной балки относительно ее вертикальной оси

$$W = 400 \text{ см}^3.$$

Дополнительное напряжение поперечной балки

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{180000}{400} = \pm 450 \text{ к/см}^2.$$

Имѣя въ виду, что въ тѣхъ же крайнихъ волокнахъ поперечной балки напряжение отъ вертикальной нагрузки = около $\pm 750 \text{ к/см}^2$, полное напряжение составляетъ $450 + 750 = 1200 \text{ к/см}^2$. Такое напряжение слѣдуетъ признать очень высокимъ, особенно если принять во вниманіе удары и толчки, которыми сопровождается движеніе заторможеннаго поезда.

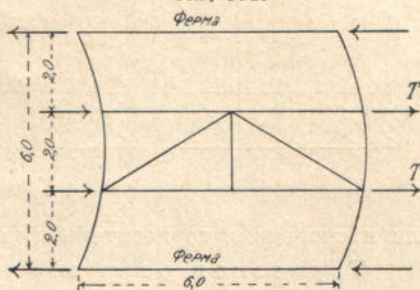
Приведенный примѣръ достаточно выясняетъ, насколько необходимо принимать мѣры для устраненія горизонтальнаго прогиба поперечныхъ балокъ и дополнительныхъ напряженій, вызванныхъ торможениемъ.

Чтобы передать силу торможения неподвижнымъ опорамъ моста, можно пользоваться или продольными балками, или ближайшими къ проѣзжей части поясами фермъ. Въ первомъ случаѣ дополнительные усилія возникаютъ въ продольныхъ балкахъ, а во второмъ случаѣ—въ поясахъ фермъ. Силы торможения вызываютъ въ продольныхъ балкахъ, или въ поясахъ фермъ сжатіе или растяженіе, смотря по тому, двигается ли поездъ по направленію отъ подвижной опоры къ неподвижной, или въ обратномъ направленіи.

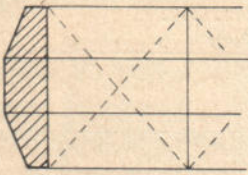
1. Передача черезъ продольные балки. Для того, чтобы продольные балки могли передавать силу торможения на опоры моста, необходимо устроить продольные балки непрерывными отъ одного конца фермъ до другого и закрѣпить тамъ концы продольныхъ балокъ при помощи жесткихъ въ горизонтальномъ направленіи поперечныхъ балокъ, способныхъ передать опорнымъ узламъ фермъ горизонтальную силу отъ торможения всего поезда, помѣщающагося на пролетѣ. Вслѣдствіе закрѣпленія концовъ продольныхъ балокъ, онѣ, какъ выяснено въ § 43, поставлены въ тѣсную зависимость отъ ближайшихъ къ нимъ поясовъ фермъ и должны участвовать во всякомъ измѣненіи ихъ длины, воспринимая часть ихъ усилій отъ вертикальной нагрузки. Концевая тормозная связь для закрѣпленія концовъ продольныхъ балокъ можетъ быть устроена или въ видѣ поперечной балки съ большою жесткостью въ горизонтальной плоскости, или въ видѣ тормозной рамы.

Поперечную балку устраиваютъ въ видѣ горизонтально лежащей балки со сплошною (фиг. 392) или со сквозною стѣнкою (фиг. 393) и обыкновенно соединяютъ ее въ одно цѣлое съ опорною поперечною балкою. Если тормозная сила

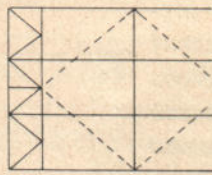
Фиг. 391.



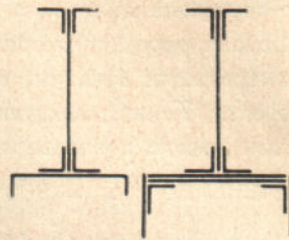
Фиг. 392.



Фиг. 393.



Фиг. 394.

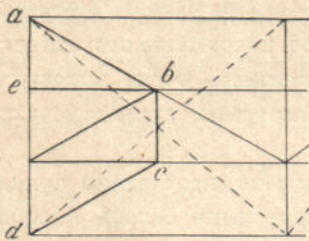


невелика, можно ограничиться усиленіемъ нижняго пояса опорной поперечной балки швеллеромъ,

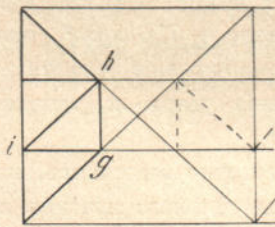
или нѣсколькими горизонтальными листами и уголками (фиг. 394).

Тормазная рама можетъ быть образована разными способами. Въ фиг. 394 bis рама $abcd$ составлена изъ двухъ раскосовъ ab и cd , соединяющихъ середину продольныхъ балокъ съ опорными узлами фермъ, изъ опорной поперечной балки ad , изъ распорки bc и изъ діагонали между продольными балками. Если діагонали горизонтальныхъ связей между фермами находятся непосредственно подъ продольными балками, то для образованія тормазной рамы можно воспользоваться этими діагоналями, склепывая ихъ въ точкахъ g и h (фиг. 395) съ продольными балками и добавляя діагональ hi . Если длина панели мала, то тормазная рама можетъ быть устроена со-

Фиг. 394 bis.



Фиг. 395.



Фиг. 396.



гласно фиг. 396 при помощи раскосовъ ab и cd , связывающихъ опорные узлы съ точками пересѣченія продольныхъ балокъ и предпоследней поперечной балки.

II. Передача черезъ пояса фермъ. Если силу тормаженія, воспринятую продольными балками, желательно передать опорамъ моста черезъ ближайшіе къ проѣзжей части пояса фермъ, то необходимо создать между балками и поясами такую связь, которая предохраняла бы поперечныя балки отъ изгиба въ горизонтальной плоскости. Нѣтъ надобности устраивать такую связь въ каждой панели проѣзжей части, а достаточно устроить ее въ нѣсколькихъ точкахъ, или только по серединѣ пролета. Послѣдній способъ встрѣчается теперь чаще всего; онъ имѣетъ передъ двумя первыми то преимущество, что, связывая продольныя балки съ поясами фермъ только въ одной точкѣ, мы освобождаемъ ихъ отъ вліянія деформации поясовъ подъ дѣйствіемъ вертикальной нагрузки. По этимъ же соображеніямъ устройству тормазной рамы по серединѣ пролета слѣдуетъ отдавать предпочтеніе передъ устройствомъ тормазныхъ балокъ и рамъ въ концахъ фермъ.

Тормазная связь по серединѣ пролета можетъ быть устроена или въ видѣ поперечной балки, обладающей большою жесткостью въ горизонтальной плоскости, или въ видѣ сквозной рамы.

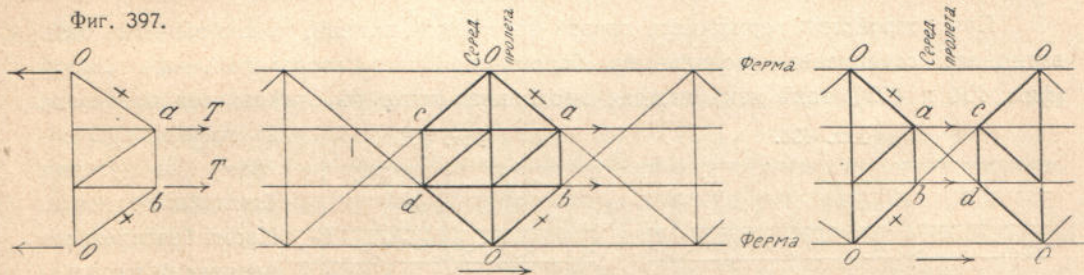
Поперечную, горизонтально лежащую балку прикрѣпляютъ къ поясамъ фермъ, а продольныя балки прикрѣпляютъ къ ней или непосредственно, если можно помѣстить ее въ плоскости низа продольныхъ балокъ, или при помощи подкосовъ (фиг. 413), расположенныхъ въ вертикальной плоскости продольныхъ балокъ, если тормазная балка находится ниже продольныхъ балокъ. Въмѣсто устройства

отдѣльной тормазной балки, можно рекомендовать усиленіе одной изъ поперечныхъ балокъ, а именно средней или ближайшей къ серединѣ пролета, приклепкою къ ея нижнему поясу нѣсколькихъ горизонтальныхъ листовъ и уголковъ (фиг. 394).

Тормазную раму однопутнаго моста, устраиваемую **по серединѣ пролета** для передачи силы тормажения отъ продольныхъ балокъ въ пояса фермъ, образуютъ изъ четырехъ главныхъ раскосовъ, связывающихъ узлы фермъ съ продольными балками, изъ главныхъ распорокъ, въ видѣ поперечныхъ балокъ проѣзжей части, и изъ распорокъ и діагоналей между продольными балками. Послѣднія приводятъ средній прямоугольникъ между продольными балками въ треугольную связь, что необходимо въ виду того, что силы тормажения, передающіяся обоимъ рельсамъ, могутъ быть неодинаковы. Главные раскосы рассматриваются какъ вытянутые элементы, причемъ одна пара раскосовъ работаетъ при движеніи поѣздовъ въ одномъ направленіи, а другая пара—при обратномъ движеніи. Въ фиг. 397 до 403 знакомъ \oplus обозначены тѣ раскосы, которые растянуты при движеніи поѣздовъ слѣва направо. Если продольныя связи между фермами расположены въ плоскости нижняго пояса продольныхъ балокъ, то проще всего воспользоваться діагоналями этихъ связей въ качествѣ главныхъ раскосовъ тормазной рамы. Для этого склепываютъ продольныя балки съ діагоналями связей въ точкахъ $abcd$ ихъ взаимнаго пересѣченія (фиг. 398 и 399), и связываютъ продольныя балки между собою поперечными связями или простыми распорками ab и cd . Такимъ

Фиг. 398.

Фиг. 399.

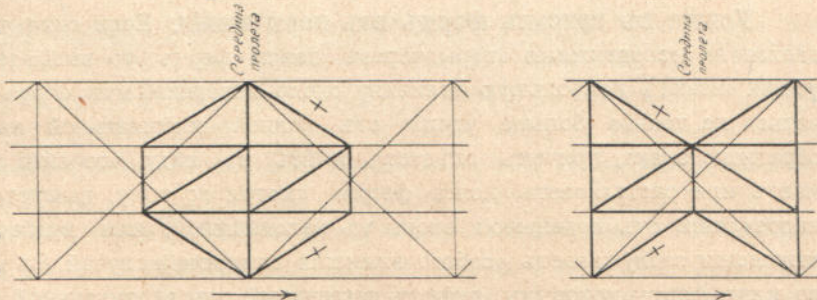


путемъ образуется двѣ трапецидальныя балки, изъ которыхъ $oabo$ соотвѣтствуетъ движенію поѣздовъ слѣва направо, а балки $ocdo$ обратному движенію. Каждая изъ этихъ балокъ получаетъ въ узлахъ aib , или $сид$ тормазныя силы T (фиг. 397). Видъ тормазной рамы зависитъ отъ того, имѣется ли поперечная балка въ серединѣ пролета фермъ или нѣтъ. Если имѣется, то рама соотвѣтствуетъ фиг. 398; если середина фермъ совпадаетъ съ серединою панели, то получается рама, показанная въ фиг. 399.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда нельзя воспользоваться діагоналями связей между фермами, образуютъ тормазную раму изъ специальныхъ раскосовъ,

Фиг. 400.

Фиг. 401.

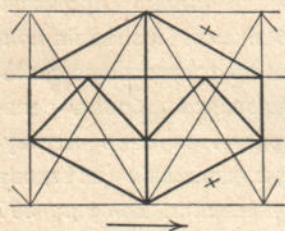


одинъ конецъ которыхъ прикрѣпляютъ къ узлу фермы, а другой къ продольной

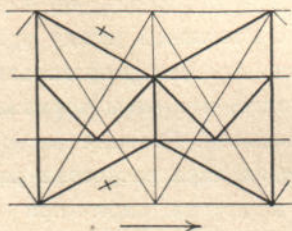
балкѣ (фиг. 400 и 401). Видъ рамы зависитъ отъ того, имѣетъ ли ферма четное или нечетное число панелей. При четномъ числѣ, когда въ серединѣ пролета имѣется поперечная балка, получается рама, показанная въ фиг. 400. Если середина фермы совпадаетъ съ серединою панели, то рама соотвѣтствуетъ фиг. 401.

Если длина панели мала, то главные раскосы рамы помѣщаютъ между узлами

Фиг. 402.



Фиг. 403.



фермы и мѣстомъ сопряженія продольныхъ балокъ съ поперечною, причемъ, въ зависимости отъ направленія этихъ раскосовъ, получается два типа рамъ, показанные въ фиг. 402 и 403.

При устройствѣ тормазныхъ связей въ нѣсколькихъ мѣстахъ пролета или въ каждой панели, что признается вообще излишнимъ, можно примѣнять всѣ тѣ системы связей, которыя показаны въ фиг. 398 до 403. Если горизонтальныя связи между фермами расположены въ одной плоскости съ низомъ продольныхъ балокъ, то простѣйшее рѣшеніе задачи заключается въ приклепкѣ діагоналей названныхъ связей къ продольнымъ балкамъ, какъ практикуется въ Америкѣ, въ Австріи и въ другихъ странахъ.

При устройствѣ тормазныхъ связей въ каждой панели, можно обойтись безъ взаимнаго соединенія продольныхъ балокъ помощью горизонтальныхъ связей (фиг. 404 и 405), такъ какъ каждая продольная балка въ отдѣльности приведена

Фиг. 404.



Фиг. 405.



въ треугольную систему съ узлами ближайшаго пояса. Кромѣ бесполезнаго увеличенія вѣса же-

лѣза, устройство тормазныхъ связей въ каждой панели имѣетъ еще тотъ недостатокъ, что тормазныя діагонали и продольныя балки принуждены участвовать во всякомъ измѣненіи длины поясовъ отъ вертикальной нагрузки и отъ вѣтра. Усиліе каждой тормазной діагонали пропорціонально разницѣ усилій въ обоихъ элементахъ пояса, сходящихся съ нею въ одномъ узлѣ. Только въ томъ случаѣ вертикальная нагрузка не вызываетъ усилій въ тормазныхъ діагоналяхъ, если разниця усилій поясовъ = 0, напримѣръ, въ прямомъ поясѣ параболической фермы при дѣйстви полной равномерной нагрузки.

Усилія въ поясахъ фермъ отъ тормажения. Если сила тормажения передается на неподвижныя опоры черезъ пояса фермъ, то вызываемыя въ поясахъ усилія имѣютъ наибольшую величину около неподвижныхъ опоръ и могутъ получаться не только больше усилія отъ полной вертикальной нагрузки, но даже обратнаго знака, причемъ слѣдуетъ имѣть въ виду, что сила тормажения сжимаетъ или растягиваетъ пояса фермъ, смотря по тому, двигается ли поѣздъ по направленію отъ подвижной опоры къ неподвижной, или наоборотъ. Въ этомъ отношеніи заслуживаетъ особаго вниманія слѣдующій случай. Въ мостахъ съ ѣздой по низу, фермы которыхъ имѣютъ вытянутый отъ вертикальной нагрузки нижній поясъ, крайніе элементы нижняго пояса могутъ при тормажении оказаться сж а-

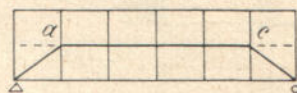
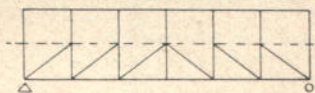
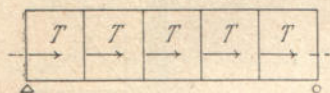
тыми, вслѣдствіе чего ихъ сѣченіе должно быть устроено жесткимъ, въ отличіе отъ остальныхъ элементовъ того же пояса. Пояса обѣихъ фермъ получаютъ отъ тормажения усилія одинаковой величины только въ томъ случаѣ, если силы тормажения, приходящіяся на каждый рельсъ, равны между собою. Въ мостахъ подъ два пути, когда изъ обоихъ путей нагруженъ только одинъ, сила тормажения дѣйствуетъ несимметрично относительно обѣихъ фермъ. Тогда ихъ пояса получаютъ отъ тормажения неодинаковыя усилія, и возникаетъ моментъ, изгибающій полотно моста въ горизонтальномъ направленіи и вызывающій дополнительныя напряженія въ горизонтальныхъ связяхъ между фермами.

Мосты съ ѣздою по серединѣ. Въ предшествующемъ изложеніи подразумевалось, что проѣзжая часть расположена въ плоскости верхняго или нижняго пояса фермъ, т. е. имѣлись въ виду мосты съ ѣздою по верху или по низу. Что же касается мостовъ съ ѣздою по серединѣ, то хотя они и допускаютъ примѣненіе всѣхъ вышеприведенныхъ системъ тормазныхъ связей, но дѣло ухудшается тѣмъ, что тормазныя силы передаются фермамъ не въ узлахъ, а въ мѣстахъ прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ стойкамъ фермъ (фиг. 406), вслѣдствіе чего стойки изгибаются вдоль моста, что особенно вредно, если стойки сжаты, такъ какъ уменьшается ихъ сопротивленіе продольному изгибу. Во избѣжаніе изгиба стоекъ,

Фиг. 406.

Фиг. 407.

Фиг. 408.

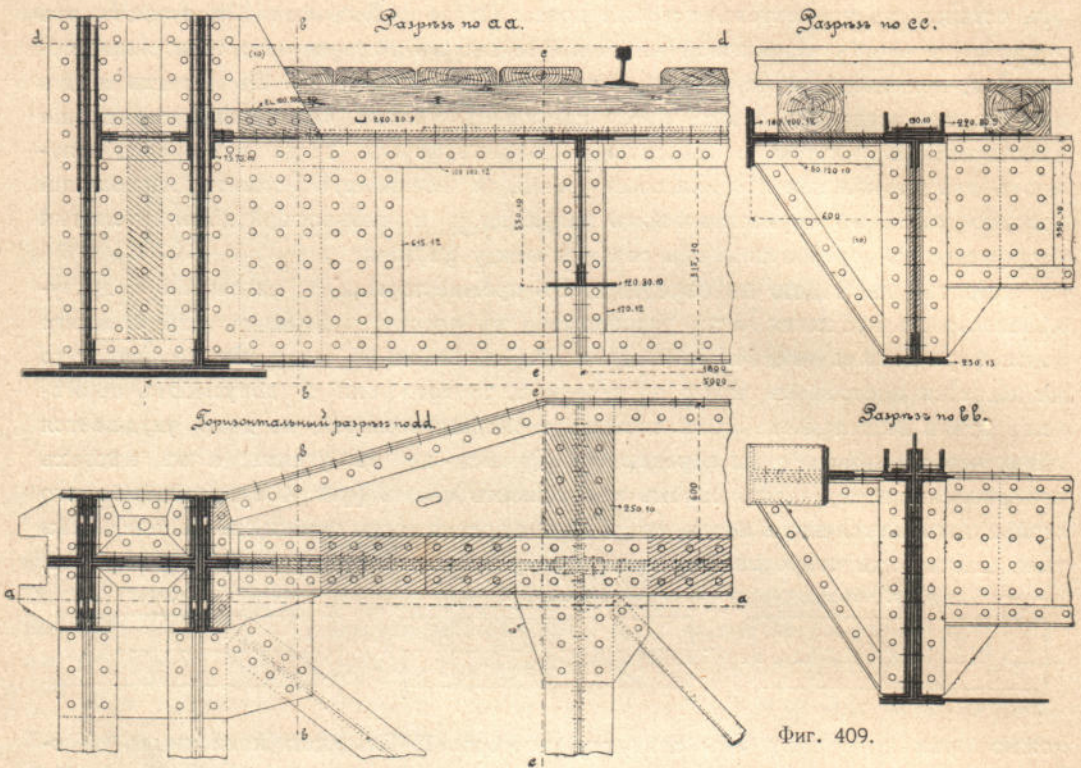


можно примѣнять одну изъ слѣдующихъ мѣръ. 1) Помощью наклонныхъ діагоналей связываютъ продольныя балки непосредственно съ узлами фермъ. 2) Въ плоскости фермы устраиваютъ полураскосы (фиг. 407), одинъ конецъ которыхъ приклепываютъ къ узлу фермы, а другой конецъ—къ стойкѣ, въ мѣстѣ прикрѣпленія къ ней поперечной балки. Можно ограничиться устройствомъ такихъ полураскосовъ только въ крайнихъ панеляхъ фермы (фиг. 408), если торцы всѣхъ поперечныхъ балокъ соединить между собою горизонтальною продольною тягою ac жесткаго сѣченія. Преимущество такого устройства заключается еще въ томъ, что оно освобождаетъ ферму отъ дополнительныхъ усилій, которыя вызываетъ въ ней тормажение. 3) Если для передачи силъ тормажения на опоры пользоваться продольными балками, то стойки фермъ естественно освобождаются отъ вліянія этихъ силъ.

Ознакомившись съ системами тормазныхъ связей, перейдемъ къ разсмотрѣнію конструктивной стороны, примѣнительно къ разнымъ примѣрамъ, заимствованнымъ изъ существующихъ мостовъ.

Примѣры тормазныхъ связей, расположенныхъ у опоръ. Разсмотримъ два примѣра тормазныхъ балокъ и два примѣра тормазныхъ рамъ. Въ фиг. 409 показана конструкція тормазной балки со сплошною стѣнкою. Балка уложена на кронштейнахъ опорной поперечной балки, имѣя въ предѣлахъ между этими кронштейнами ширину въ 600 мм., между тѣмъ какъ концы балки скошены настолько, чтобы балка не выступала изъ предѣловъ опорной стойки фермъ. Наружный ломаный поясъ тормазной балки состоитъ изъ 2 уголковъ 100 . 100 . 12 мм., и листа 220 . 10 мм., а прямой поясъ, состоящій изъ швеллера 220 . 80 . 9 мм., склепанъ съ верхнимъ поясомъ опорной поперечной балки, причѣмъ сплошная стѣнка тормазной балки положена на уголки опорной балки; на нее положены

рыбки для прикрѣпленія продольныхъ балокъ и заштрихованная прокладки, сверхъ



Фиг. 409.

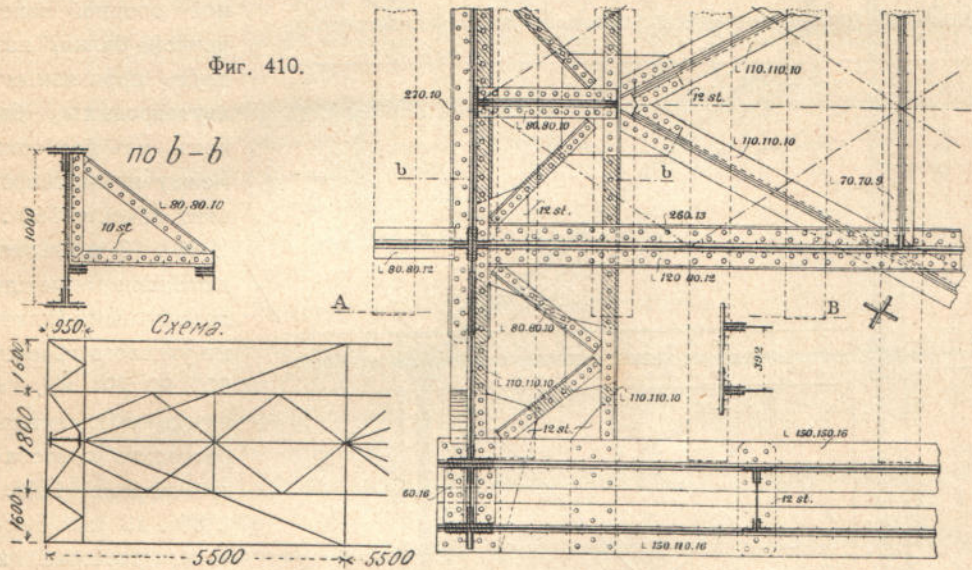
Жельзнодорожный мостъ черезъ Циль на линіи Бернъ-Нейенбургъ.

нихъ швеллеръ, принадлежащій тормазной балкѣ (см. разрѣзъ по *c — c*), а внутри швеллера положенъ горизонтальный листъ 190 . 10 мм. опорной поперечной балки. Для того, чтобы послѣдняя шпала, опирающаяся на тормазную балку, не лежала на стѣнкѣ этой балки, надъ кронштейнами имѣется двѣ подкладки 250 . 10 . мм., наклепанная на стѣнку. Особый интересъ представляетъ прикрѣпленіе концовъ тормазной балки къ опорнымъ узламъ фермъ. Какъ видно изъ разрѣза по *a — a*, для прикрѣпленія опорной поперечной балки къ фермѣ служитъ фасонная вставка, стыкъ которой съ вертикальною стѣнкою опорной балки находится немного правѣе линіи *b — b* и перекрытъ двумя прокладками 615 . 12 мм., а сверхъ нихъ двумя накладками. Въ мѣстѣ встрѣчи съ этою вставкою, изъ конца стѣнки тормазной балки вырѣзанъ прямоугольный кусокъ, шириною 115 мм., для того, чтобы остающуюся часть стѣнки пропустить до опорной стойки фермы и прикрѣпить къ ней помощью двухъ короткихъ уголковъ 75 . 75 . 10 мм. Къ фасонной вставкѣ стѣнка тормазной балки прикрѣплена снизу помощью поясного уголка опорной поперечной балки, а сверху—помощью куска уголка 100 . 100 . 10 мм. Въ томъ мѣстѣ, гдѣ конецъ стѣнки тормазной балки имѣетъ вырѣзъ, помѣщена горизонтальная трапециодальная накладка, прикрѣпленная къ опорной стойкѣ фермы двумя уголками 75 . 75 . 10 мм., а къ фасонной вставкѣ—снизу пояснымъ уголкомъ опорной балки, а сверху—короткимъ уголкомъ 100 . 100 . 10 мм. Что касается швеллера 220 . 80 . 9 мм., образующаго прямой поясъ тормазной балки, то при встрѣчѣ съ ребромъ фасонной вставки, въ его стѣнкѣ прорѣзана щель шириною въ 55 мм. для того, чтобы пропустить его до вертикальныхъ уголковъ опорной стойки фермы

(см. разрѣзь по $b - b$). Въ мѣстѣ прикрѣпленія наружного пояса тормазной балки къ фермѣ, его уголки доведены до вертикальнаго уголка опорной стойки, а листъ пояса продолженъ на всю ширину опорной стойки и приклепанъ къ ея наружнымъ 4 уголкамъ.

Примѣръ сквозной тормазной балки около опоръ моста съ ѣздою по низу показанъ въ фиг. 410. Тормазная балка шириною 950 мм. помѣщена на

Фиг. 410.



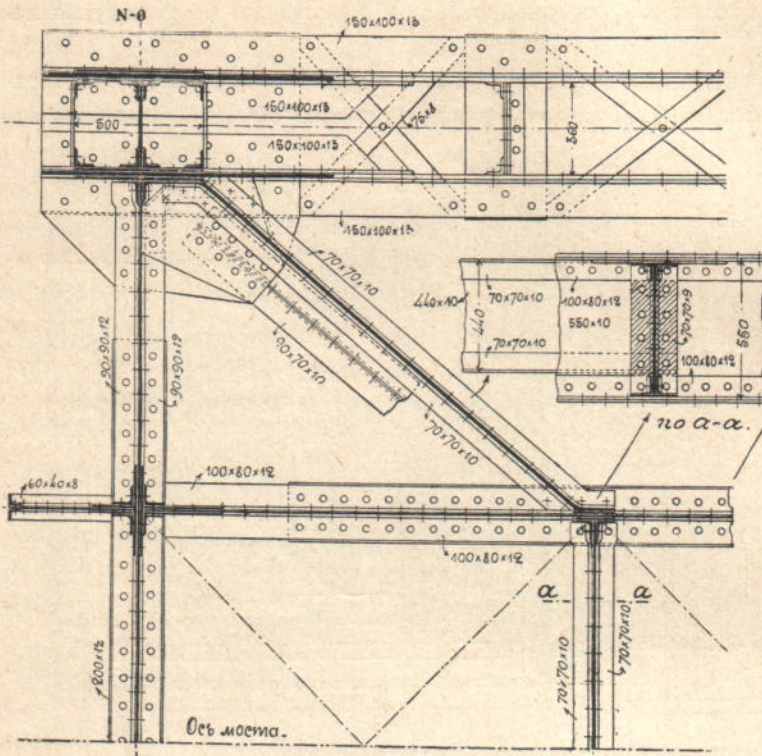
Жельзнодорожный мостъ черезъ Хавель въ Бранденбургѣ.

120 мм. ниже низа продольныхъ балокъ и составлена изъ треугольной рѣшетки и двухъ параллельныхъ поясовъ, каждый изъ которыхъ образованъ изъ двухъ уголковъ 110 . 110 . 10 мм. и прокладки между ними. Одинъ поясъ тормазной балки приклепанъ на всемъ своемъ протяженіи къ стѣнкѣ опорной поперечной балки (см. разрѣзь по $b - b$), а другой поясъ прикрѣпленъ своими концами къ нижнему поясу фермъ. Къ среднему узлу тормазной балки прикрѣплены діагонали нижнихъ связей между фермами, спроектированныхъ полураскосной системы. Чтобы тормазная балка не прогибалась подъ давленіемъ этихъ діагоналей, она въ томъ-же мѣстѣ поддерживается помощью треугольнаго кронштейна, приклепаннаго своею вертикальною стороною къ опорной поперечной балкѣ (см. разрѣзь по $b - b$).

Примѣръ тормазной рамы по типу фиг. 394 bis, расположенной у опоръ моста съ ѣздою по низу и съ балочно-разрѣзными фермами пролетомъ 74,2 мет., показанъ въ фиг. 411. Тормазная рама, въ видѣ трапеціи, составлена изъ опорной поперечной балки двутавроваго сѣченія со сплошною стѣнкою, изъ двухъ продольныхъ балокъ двутавроваго сѣченія, изъ распорки между этими балками, въ видѣ клепаной двутавровой балки (см. разрѣзь по $a - a$), и изъ двухъ главныхъ раскосовъ, въ видѣ клепаныхъ двутавровыхъ балокъ (изъ вертикальной стѣнки 440 . 10 мм. и 4 уголковъ 70 . 70 . 10 мм.). Однимъ концомъ эти раскосы приклепаны къ продольной балкѣ, для чего изогнуты стѣнка и уголки раскоса, а другимъ концомъ каждый раскосъ приклепанъ въ опорномъ узлѣ фермы къ опорной стойкѣ, для чего стѣнка раскоса и два его уголка изогнуты.

Въ фиг. 412 показана другая опорная тормазная рама по типу фиг.

394, принадлежащая мосту съ ѣздою по серединѣ и расположенная въ плоскости нижняго пояса продольныхъ балокъ. Фиг. 411.

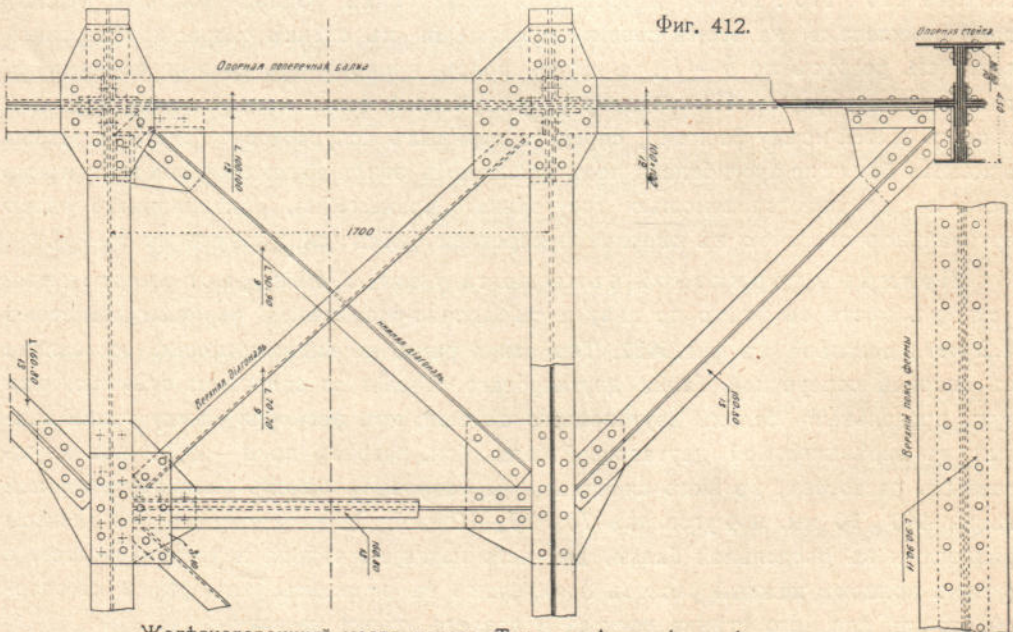


Жельзнодорожный мостъ черезъ Аргенъ въ Лангенаргенъ.

мощи фасонной накладкѣ, приклепанной къ продольной балкѣ снизу. Другимъ

нижняго пояса продольныхъ балокъ. Тормазная рама составлена изъ верхняго пояса сплошной опорной поперечной балки, изъ двухъ продольныхъ двутавровыхъ балокъ, изъ распорки между ними тавроваго сѣченія 160 . 80 . 13 мм., изъ діагонали между продольными балками углового сѣченія 90 . 90 . 9 мм. и изъ двухъ главныхъ раскосовъ тавроваго сѣченія 160 . 80 . 13 мм. Раскосъ, распорка и діагональ прикрѣплены къ продольной балкѣ при по-

Фиг. 412.



Жельзнодорожный мостъ черезъ Туръ въ Андельфингенъ.

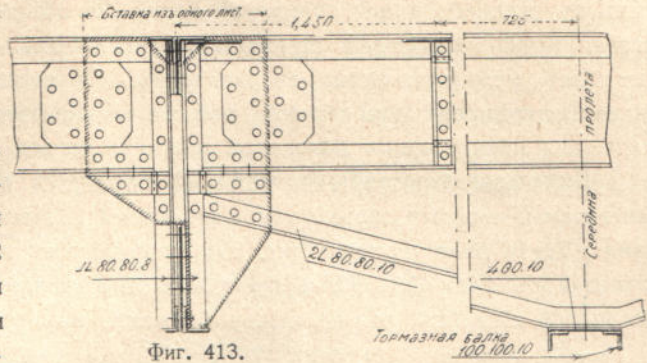
своимъ концомъ каждый главный раскосъ прикрѣпленъ къ опорной стойкѣ фермы

при помощи фасонной накладки, которая приклепана двумя уголками къ опорной стойкѣ и двумя уголками къ стѣнкѣ опорной поперечной балки.

Примѣры тормазныхъ балокъ по серединѣ пролета. Разсмотримъ примѣръ тормазной балки со сплошною стѣнкою, устроенной въ мостѣ съ ѣздою по низу (фиг. 413), фермы

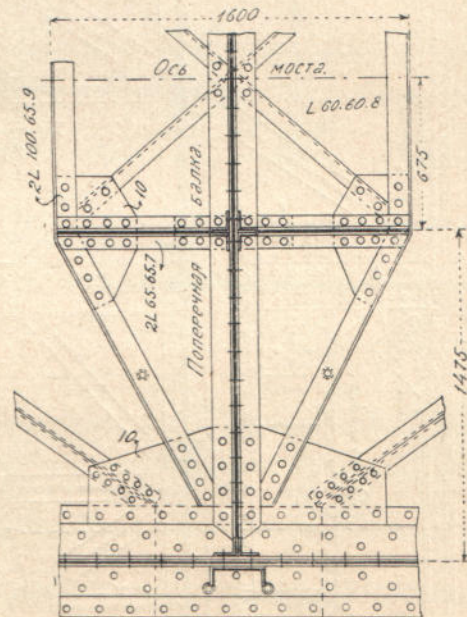
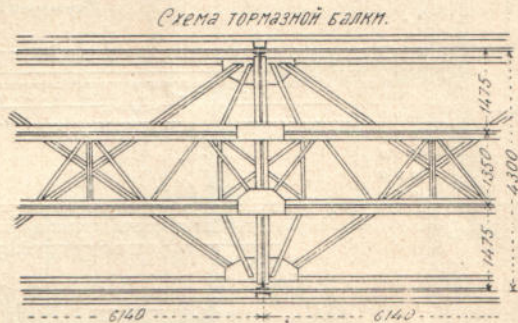
котораго при пролетѣ въ 46 м. разбиты на 11 панелей, такъ что по серединѣ пролета не имѣется узла фермы. Тамъ помѣщается поперечная тормазная балка, составленная изъ листа 400 . 10 мм. и 2 уголковъ 100 . 100 . 10 мм. и приклепанная своими концами къ нижней поверхности горизонтальныхъ листовъ нижняго пояса фермы. Тормазная балка соединена съ обоими концами обѣихъ продольныхъ балокъ средней панели моста при помощи двухъ подкосовъ, которые расположены въ вертикальной плоскости продольныхъ балокъ и состоятъ каждый изъ двухъ изогнутыхъ уголковъ 80 . 80 . 10 мм., приклепанныхъ въ своей серединѣ къ тормазной балкѣ, а своими концами къ фасонной вставкѣ, которую продольная балка прикрѣпляется къ сквозной поперечной балкѣ.

Примѣръ сквозной тормазной балки по серединѣ пролета показанъ въ фиг. 414. Проезжая часть этого однопутнаго моста пролетомъ 61,4 м. съ ѣздою по низу имѣетъ двѣ продольныхъ балки со сплошною стѣнкою высотой 650 мм., прикрѣпленныхъ къ сплошнымъ поперечнымъ балкамъ высотой 830 мм. такъ, что верхъ тѣхъ и другихъ балокъ расположенъ на одномъ уровнѣ, а низъ продольныхъ балокъ находится на 180 мм. выше низа поперечныхъ балокъ (см. ф. 495). Сквозная тормазная балка помѣщена по серединѣ пролета фермы въ плоскости нижняго пояса попереч. балки, имѣя рыбообразное очертаніе (см. схему фиг. 414). На протяженіи между продольными балками ширина тормазной



Фиг. 413.

Жел.-дор. мостъ у Нейенга въ Швейцаріи.



Фиг. 414.

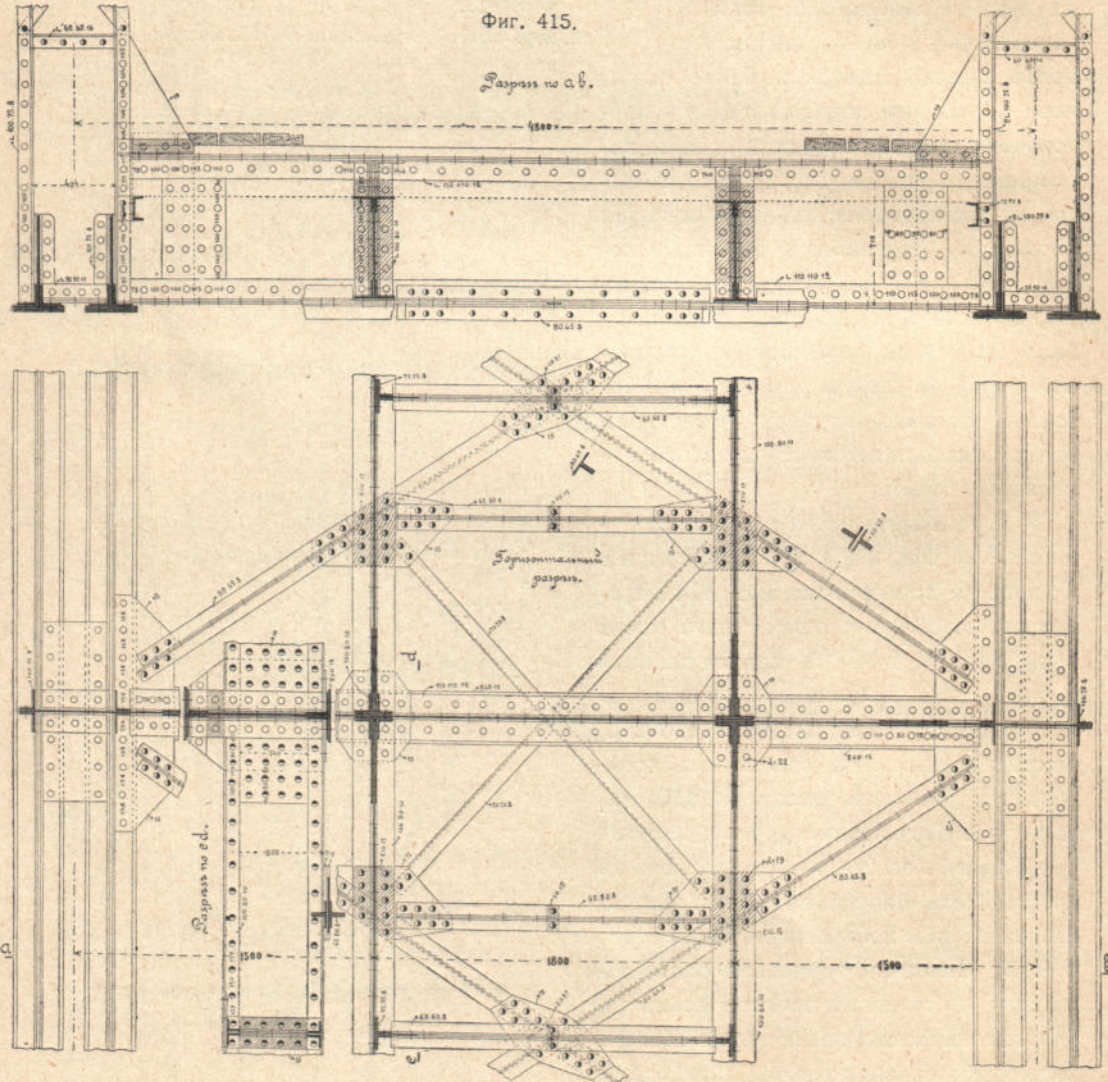
Жел.-дор. мостъ черезъ Рейнь у Isla-Bella въ Швейцаріи (см. фиг. 495).

балки = 1600 мм., а по концамъ она суживается. Тормазная балка составлена изъ двухъ поясовъ (каждый изъ двухъ уголковъ 100 . 65 . 9 мм.), изъ двухъ распорокъ, расположенныхъ подъ продольными балками (каждая изъ 2 уголковъ 65 . 65 . 7 мм.) и изъ двухъ діагоналей (изъ уголка 60 . 60 . 8 мм.), расположенныхъ въ средней панели тормазной балки. Къ обѣимъ продольнымъ балкамъ тормазная балка подвѣшена помощью вертикальныхъ накладокъ высотой 180 мм., зажатыхъ между уголками ея распорокъ. Къ нижнему поясу фермъ тормазная балка прикрѣплена при помощи той же горизонтальной накладки, которая служитъ для прикрѣпленія діагоналей нижнихъ связей между фермами.

Примѣры тормазныхъ рамъ по серединѣ пролета. Разсмотримъ сперва такія рамы, которыя образованы діагоналями горизонтальныхъ связей между фермами. Такая рама по типу фиг. 398, принадлежащая мосту съ ѣздою по низу, показана въ фиг. 415. Рама имѣетъ видъ параллелограмма и составлена изъ 4 діагоналей нижнихъ связей между фермами, изъ средней поперечной балки, изъ

Фиг. 415.

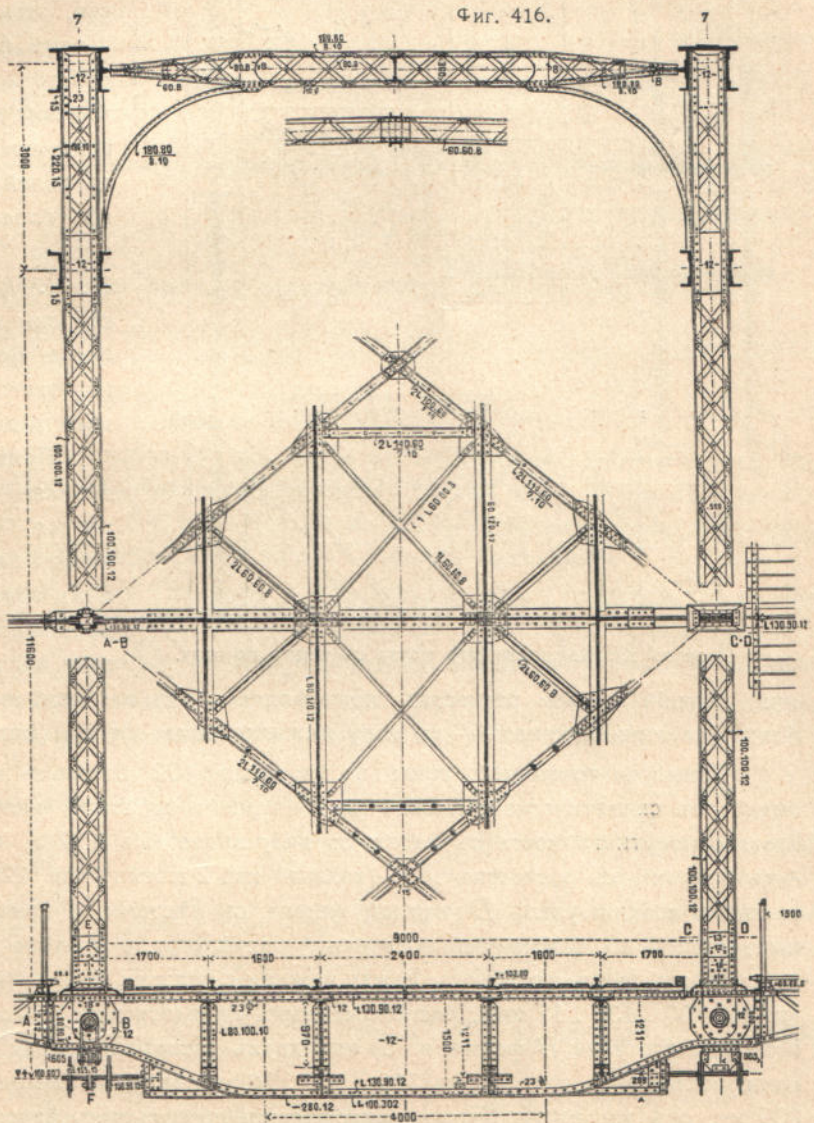
Разрѣзъ по а в.



Жельзнодорожный мостъ черезъ Тессинъ у Каденаццо на С.-Готардской жел. дор.

двухъ распорокъ и двухъ діагоналей между продольными балками. Главныя діагонали состоятъ каждая изъ 4 уголковъ 80 . 65 . 8 мм., расположенныхъ въ видѣ креста; обѣ распорки между продольными балками состоятъ каждая изъ 2 уголковъ 80 . 65 . 8 мм. въ видѣ тавра; діагонали между продольными балками состоятъ каждая изъ уголка 70 . 70 . 8 мм. Всѣ эти части прикрѣплены къ нижнему поясу продольной балки при помощи фасонной накладки толщиной 15 мм., которая приклепана къ продольной балкѣ снизу съ примѣненіемъ заштрихованной прокладки 210 . 17 мм. Концы главныхъ діагоналей прикрѣплены къ поясамъ фермъ при помощи продолговатыхъ накладокъ толщиной 10 мм., наклепанныхъ на уголокъ пояса и расположенныхъ въ одной плоскости съ нижнимъ горизонтальнымъ листомъ поперечной балки.

Въ фиг. 416 показанъ примѣръ тормазной рамы, спроектированной по серединѣ моста подъ два пути и составленной изъ 4-хъ діагоналей нижнихъ горизонтальныхъ связей между фермами, изъ средней поперечной балки, изъ двухъ распорокъ между средними продольными балками и изъ 8 діагоналей, связывающихъ между собою продольныя балки. Всѣ эти части расположены въ плоскости нижняго пояса продольныхъ балокъ и прикрѣплены къ нему помощью фасонныхъ накладокъ.

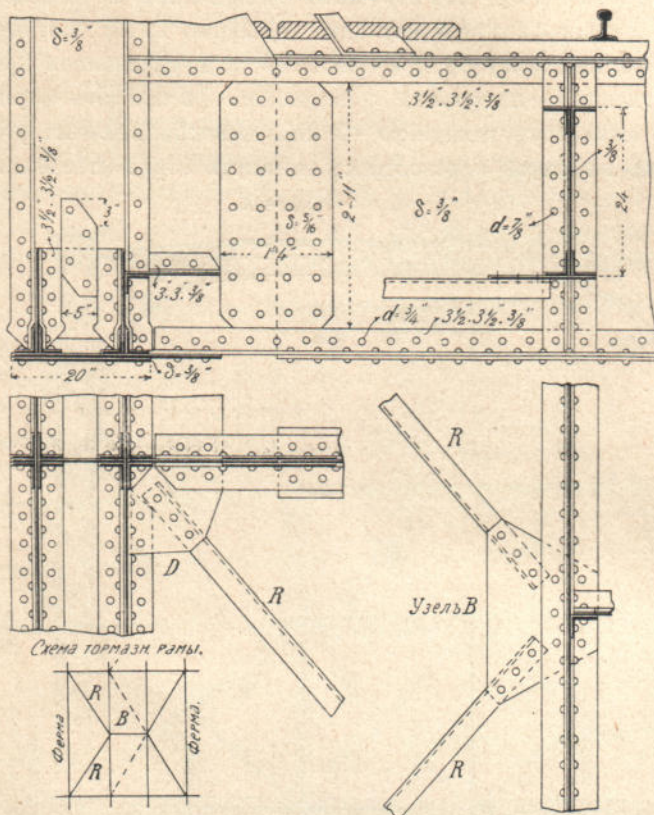


Конкурсный проектъ зав. Harkort для жел.-дор. моста черезъ Рейнь въ Вормсѣ.

Переходя къ примѣрамъ тормазныхъ рамъ, образованныхъ изъ специальныхъ раскосовъ, рассмотримъ фиг. 417, изображающую детали рамы по типу фиг. 401, составленной изъ двухъ поперечныхъ балокъ, изъ

двухъ паръ главныхъ раскосовъ R , связывающихъ середину продольныхъ балокъ съ узлами фермъ, изъ распорки и двухъ диагоналей между продольными балками (см. схему фиг. 417). Всѣ эти части расположены въ горизонтальной плоскости нижняго пояса продольныхъ балокъ. Прикрѣпленіе главныхъ раскосовъ R къ

Фиг. 417.



Проектъ желѣзнодорожнаго моста съ ѣздою по низу.

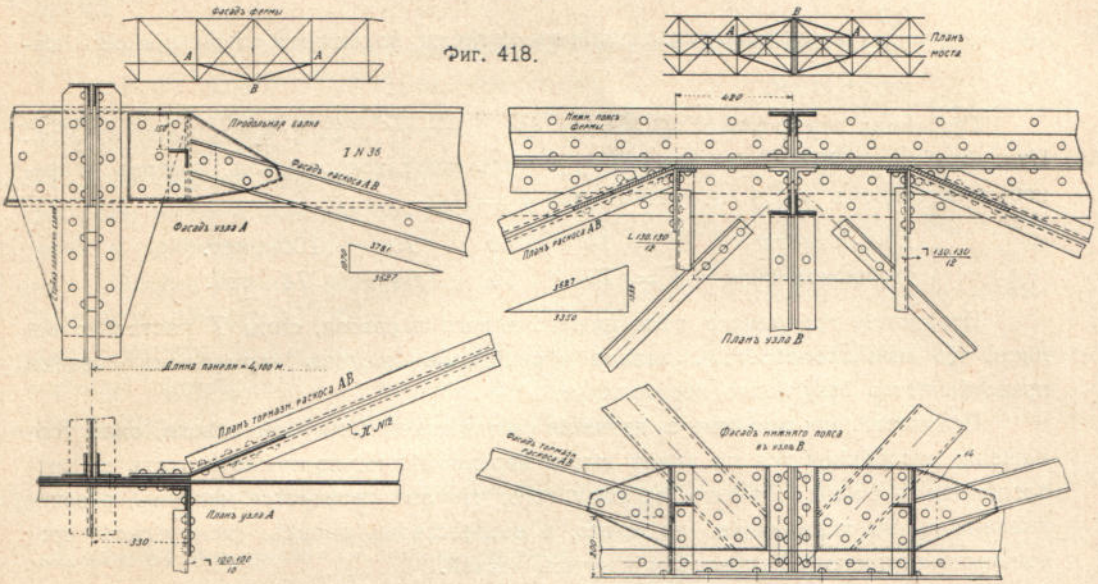
низу верхній конецъ раскосовъ прикрѣпляется къ верхнему поясу продольныхъ балокъ, а нижній конецъ — къ узлу нижняго пояса фермъ (фиг. 422).

Примѣръ тормазной рамы по типу фиг. 402 показанъ въ фиг. 418. Какъ видно изъ схематическаго фасада фермъ и плана проѣзжей части, тормазная рама этого однопутнаго моста съ ѣздою по низу пролетомъ 38,2 м. составлена 1) изъ 4-хъ наклонныхъ раскосовъ AB (каждый изъ 2 швеллеровъ 120 . 55 мм.), связывающихъ средній узелъ B каждой фермы съ мѣстами A прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ ближайшей поперечной балкѣ справа и слѣва отъ середины пролета; 2) изъ двухъ распорокъ между нижними поясами фермъ (каждая изъ одного уголка 130 . 130 . 12 мм.), расположенныхъ на разстояніи 420 мм. справа и слѣва отъ средняго узла B фермъ и 3) изъ двухъ распорокъ между продольными балками, состоящихъ изъ уголка 100 . 100 . 10 мм. и расположенныхъ на разстояніи 330 мм. отъ узловъ A . Деталь прикрѣпленія продольныхъ балокъ изъ прокатнаго двутавроваго желѣза къ поперечнымъ балкамъ со сквозною стѣнкою изображена въ фиг. 461. На лѣвой половинѣ фиг. 418 показанъ фасадъ и планъ прикрѣпленія верхняго конца A раскоса къ продольной балкѣ при помощи изогнутой вертикальной накладкой толщиной 14 мм., а на правой половинѣ фиг. 418 показанъ

нижнему поясу продольной балки при помощи фасонной накладки усматривается изъ детали узла B . Въ виду расположенія раскосовъ R въ горизонтальной плоскости, ихъ прикрѣпленіе къ узламъ фермъ также очень просто и устроено помощью горизонтальной фасонной накладки D , приклепанной съ одной стороны къ стѣнкѣ поперечной балки помощью короткаго уголка 3 . 3 . $\frac{3}{8}$ мм., а съ другой стороны къ стѣнкѣ нижняго пояса фермы, при помощи короткаго уголка, помѣщеннаго подъ накладкою.

Прикрѣпленіе главныхъ тормазн. раскосовъ усложняется, если они расположены не въ горизонтальной, а въ наклонной плоскости, на примѣръ, въ томъ случаѣ, если въ мостѣ съ ѣздою по

планъ и фасадъ прикрѣпленія распорки и нижняго конца *B* тормазнаго раскоса



Фиг. 418.

Жельзнодорожный мостъ черезъ Гленнеръ у Иланца въ Швейцаріи (см. фиг. 461).

къ нижнему поясу фермы при помощи изогнутой вертикальной накладкѣ въ 14 мм.

Разсчетъ тормазныхъ связей.

Сила тормажения зависитъ отъ числа затормаженныхъ осей, отъ ихъ нагрузки и отъ коэффициента тренія. Необходимыя данныя относительно послѣдняго сообщены въ выноскѣ ³⁾ на стр. 338. Что же касается числа затормаженныхъ осей, то въ пассажирскихъ поѣздахъ уже теперь всѣ оси снабжаются тормазами; въ товарныхъ поѣздахъ число вагонныхъ тормазныхъ осей опредѣляется въ зависимости отъ уклоновъ данной линіи и составляетъ отъ $\frac{1}{10}$ до $\frac{1}{3}$ общаго числа вагонныхъ осей; что же касается осей паровозовъ, то всѣ онѣ имѣютъ тормаз.

Такъ какъ всѣ груженыхъ пассажирскихъ вагоновъ на пог. м. пути значительно (въ 1,3 до 3 разъ) меньше, чѣмъ товарныхъ, то въ Германіи и въ Швейцаріи принято разсчитывать тормазную силу по тѣмъ нормальнымъ товарнымъ вагонамъ и паровозамъ, которые входятъ въ составъ нормального поѣзда, предписаннаго для разсчета мостовъ. При этомъ число паровозныхъ и тендерныхъ осей вводится въ разсчетъ полностью, а изъ числа, помѣщающихся на всемъ пролетѣ вагонныхъ осей, принимается третья часть, такъ что общая тормазная сила *T* на весь пролетъ и на оба рельса, передающаяся неподвижнымъ опорамъ, опредѣляется по формулѣ

$$T = f \left(n \cdot L + \frac{m}{3} \cdot W \right) - \psi \cdot A \quad \text{въ тоннахъ} \dots (83)$$

гдѣ *n* — число паровозовъ въ поѣздѣ,

m — число вагонныхъ осей, помѣщающихся на пролетѣ,

L — въ тоннахъ всѣхъ паровоза съ тендеромъ,

W — въ тоннахъ всѣхъ вагонной оси,

A — въ тоннахъ давленіе на пару подвижныхъ опоръ отъ постоянной нагрузки и поѣзда,

$f = 1/5$ до $1/7$ — коэффициентъ тренія затормаженныхъ колесъ,

$\psi = \frac{0,7}{d}$ — коэффициентъ тренія въ каткахъ подвижной опоры при ихъ диаметрѣ d см.

Примѣняя эту формулу къ новому нормальному поѣзду, предписанному Мин. Пут. Сооб. въ 1907 г. для разсчета русскихъ желѣзнодорожныхъ мостовъ, и пренебрегая членомъ $\psi \cdot A$, получаемъ при $f = 1/6$:

при пролетѣ	$l = 10$	40	70	100 мет.
тормазная сила	$T = 20$	54	64	74 тон.

Вслѣдствіе громаднаго вѣса нашего новаго паровоза, силы T настолько велики, что ими пренебрегать нельзя и снабженіе мостовъ тормазными связями представляется безусловно необходимымъ.

Вслѣдствіе неодинаковаго давленія затормаженныхъ осей поѣзда, сила тормаженія распредѣляется по длинѣ моста неравномѣрно, но можно считать ее распредѣленною равномѣрно, въ виду того, что она передается частямъ, рассчитываемымъ на тормаженіе, не прямо, а посредствомъ рельсъ, контрельсъ, продольныхъ охранныхъ брусевъ и другихъ частей.

Разсчетъ простой тормазной балки, расположенной по серединѣ пролета. Возьмемъ примѣръ швейцарскаго однопутнаго моста съ ѣздою по низу, пролетомъ 46 м., соответствующій фиг. 413. Полная сила тормаженія составляетъ около 30 тон., или по 15 тон. на каждую продольную балку. Разсматривая тормазную балку какъ балку пролетомъ 4,8 м. (равнымъ разстоянію между осями фермъ), свободно лежащую на двухъ опорахъ, и нагруженную двумя симметричными къ ея серединѣ силами по 15 тон., отстоящими отъ ближайшей опоры на 1,5 м., получимъ наибольшій изгибающій моментъ

$$M = 15000 \cdot 150 = 2250000 \text{ к. см.}$$

Корытообразное сѣченіе балки изъ листа 400 . 10 мм. и 2 уголковъ 100 . 100 . 10 мм., показанное въ фиг. 413, имѣетъ относительно вертикальной оси моментъ инерціи

$$J = \frac{1}{12} \cdot 1 \cdot 40^3 + 2 \left(176 + 19,2 \cdot 17,2^2 \right) = 17000 \text{ см.}^4$$

Наибольшее нормальное напряженіе

$$n = \frac{M \cdot e}{J} = \frac{2250000 \cdot 20}{17000} = 2647 \text{ к./см.}^2$$

Допускаемое напряженіе можно было бы принять равнымъ предѣлу пропорціональности литого желѣза, т. е. около 2200 к./см.².

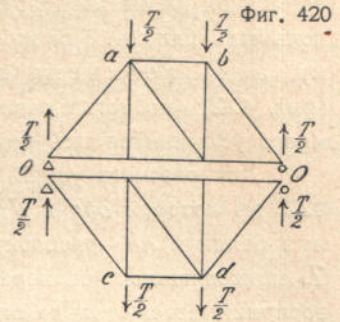
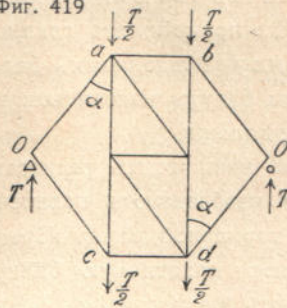
Разсчетъ тормазныхъ рамъ въ видѣ системы стержней. Ограничимся разсмотрѣніемъ рамъ, расположенныхъ по серединѣ пролета, имѣя въ виду, что тормазная рама, расположенная у опоръ, рассчитывается аналогично.

Если главнымъ раскосамъ тормазной рамы, составленной по типу фиг. 398 до 403, придать такое сѣченіе, которое не способно принимать сжатія, то изъ четырехъ главныхъ раскосовъ одновременно могутъ работать только тѣ два, которые растянуты при данномъ направленіи поѣзда, такъ что работающею оказывается только одна половина рамы, имѣющая форму трапеціи. Если всѣ элементы рамы сдѣлать жесткаго сѣченія, то всегда рама будетъ работать цѣликомъ и

каждый изъ ея элементовъ будетъ испытывать меньшее усилие, чѣмъ въ 1-мъ случаѣ.

Разсчетъ плоской тормазной рамы по типу фиг. 398, 400 и 402, соответствующей тому Фиг. 419

случаю, когда по серединѣ пролета имѣется поперечная балка. Допуская, что всѣ элементы рамы имѣютъ жесткое сѣчение и рассматривая ее, какъ одно цѣлое, отбросимъ крайніе элементы поперечной балки. Тогда система получается статически опредѣлимою, и согласно фиг. 419 получаемъ слѣдующія усилія:



въ верхней половинѣ: $oa = ob = -\frac{T}{2 \cos a}$; $ab = -\frac{T \cdot \operatorname{tg} a}{2}$

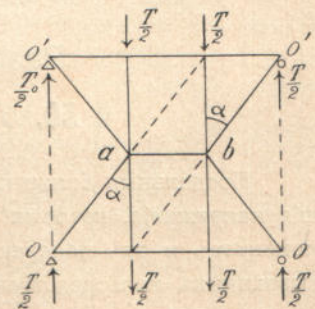
въ нижней половинѣ: $oc = od = +\frac{T}{2 \cos a}$; $cd = +\frac{T \cdot \operatorname{tg} a}{2}$

При движеніи поѣзда въ обратномъ направленіи, знаки этихъ усилій мѣняются, такъ что каждый элементъ рамы является сжато-вытянутымъ. Если нагрузка рамы симметрична относительно ея горизонтальной и вертикальной осей, то усилія средней распорки и обѣихъ диагоналей между продольными балками, а также усилія въ этихъ балкахъ *ac* и *bd* равны нулю.

Тотъ же результатъ получится, если тормазную раму разложить на двѣ половины, изъ которыхъ каждая имѣетъ видъ трапеціи (фиг. 420). При этомъ усиліе поперечной балки *OO* равно нулю, такъ какъ оно складывается изъ усилія нижняго пояса верхней трапеціи и усилія верхняго пояса нижней трапеціи, которыя имѣютъ одинаковую величину, но разный знакъ.

Разсчетъ плоской тормазной рамы по типу фиг. 399, 401 и 403, соответствующей тому случаю, когда фермы имѣютъ нечетное число панелей. Рассматриваемъ такую раму какъ составленную изъ двухъ трапецій *o'abo'* и *oabo* (фиг. 421), несущихъ каждая половину нагрузки. Усилія въ главныхъ раскосахъ

Фиг. 421.



верхней трапеціи: $o'a = o'b = +\frac{T}{2 \cos a}$

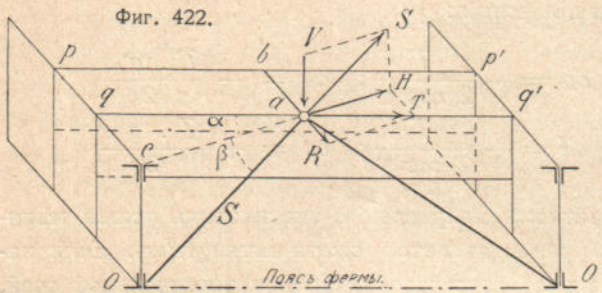
нижней трапеціи: $oa = ob = -\frac{T}{2 \cos a}$

Усиліе поперечныхъ балокъ $= \mp \frac{T \cdot \operatorname{tg} a}{2}$

При движеніи поѣзда въ обратномъ направленіи знаки этихъ усилій мѣняются, такъ что главные раскосы сжато-вытянуты. Усиліе средней распорки *ab*, растянутой отъ нагрузки верхней трапеціи и сжатой отъ нагрузки нижней трапеціи, въ общемъ равно нулю. Если нагрузка рамы симметрична относительно ея горизонтальной и вертикальной осей, то усилія въ діагоналяхъ между продольными балками равны нулю.

Расчет той же рамы в предположении, что ее главные раскосы расположены в наклонной плоскости. В предшествующих расчетах предполагалось, что все главные раскосы и другие элементы тормозной рамы расположены в горизонтальной плоскости нижнего пояса продольных балок. Правильнее прикреплять главные раскосы рамы не к нижнему, а к верхнему поясу продольных балок, т. е. ближе к рельсам (фиг. 422); но тогда раскосы будут находиться в наклонном положении и немного усложнится их прикрепление.

Для расчета усилий в наклонных раскосах oa и $o'a$ воспользуемся фиг. 422, в которой opq и $o'p'q'$ изображают поперечные балки, pp' и qq' —продольные балки и ab —распорку тормозной рамы. Предположим, что тормозная сила T , приходящаяся на переднюю продольную балку, сосредоточена в точке a и воспринимается только одним раскосом oa . В горизонтальной плоскости через вершину a разложим силу



Фиг. 422.

разложим силу T по распорке ab на составляющую $R = T \cdot \operatorname{tg} \alpha$, растягивающую распорку, и по горизонтальной прямой ac на составляющую $H = \frac{T}{\cos \alpha}$. Эту силу H разложим на вертикальную составляющую

$$V = H \cdot \operatorname{tg} \beta = \frac{T \cdot \operatorname{tg} \beta}{\cos \alpha}$$

изгибающую продольную балку, и по направлению раскоса oa на составляющую

$$S = \frac{H}{\cos \beta} = \frac{T}{\cos \alpha \cdot \cos \beta}$$

представляющую искомое растягивающее усилие раскоса oa . Если допустить, что оба раскоса oa и $o'a$ работают одновременно, то от тормозной силы T раскос oa будет растянут, а раскос $o'a$ —сжат, оба усилием $\frac{1}{2} S = \frac{T}{2 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta}$.

Глава VII.

Расчет продольных балок.

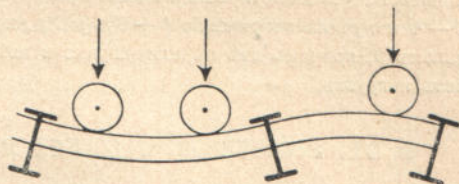
§ 50. Условия работы продольных балок.

Продольные балки испытывают напряжения от разных причин. Наибольшие напряжения, которые назовем основными, происходят от изгибающих моментов и от поперечных сил, действующих в вертикальной плоскости и вызванных непосредственным действием вертикальной нагрузки. На практике, при расчете балок, обыкновенно интересуются только этими основными напряжениями, пренебрегая разными дополнительными напряжениями, которые происходят: 1) от продольных усилий в ближайших поясах ферм, 2) от вертикального и горизонтального прогиба пролетного строения, 3) от вертикального прогиба поперечных балок, 4) от перегрузки вследствие ветра, качаний паровоза и действия противобесов колес.

Величина основныхъ напряженій, вызванныхъ изгибающими моментами и поперечными силами, зависитъ отъ того, сдѣланы ли продольныя балки неразрѣзными или разрѣзными, а въ послѣднемъ случаѣ еще отъ того, прикрѣплены ли продольныя балки къ поперечнымъ шарнирнымъ или жесткимъ образомъ.

При жесткомъ прикрѣпленіи разрѣзныхъ продольныхъ балокъ, ихъ концы не могутъ вращаться; поэтому онѣ находятся въ условіяхъ неразрѣзныхъ балокъ (на упругихъ опорахъ), деформируясь согласно фиг. 423. Но эти условія имѣютъ мѣсто только вначалѣ, такъ какъ малѣйшее ослабленіе заклепокъ (см. стр. 309) въ мѣстѣ прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ попе-

Фиг. 423.



речнымъ уже нарушаетъ жесткость сопряженія, и продольныя балки переходятъ въ положеніе среднее между свободными и задѣланными. Очень трудно опредѣлить дѣйствительное сопротивленіе закрѣпленныхъ концовъ продольной балки; вообще же точное опредѣленіе этого сопротивленія лишено практическаго значенія, въ виду указанной его зависимости отъ малѣйшаго, вполне возможнаго, ослабленія заклепокъ. Поэтому, при расчетѣ продольныхъ балокъ слѣдуетъ исходить изъ наихудшаго предположенія, т. е. разсматривать среднюю ихъ часть въ условіяхъ балки свободно-лежащей на двухъ опорахъ ⁴⁾, а концы— въ условіяхъ закрѣпленной балки, разсчитывая самое прикрѣпленіе въ предположеніи полной задѣлки.

Проф. Френкель ⁵⁾ сообщаетъ интересные результаты измѣреній, произведенныхъ на одной изъ продольныхъ балокъ желѣзнодорожнаго моста черезъ Эльбу въ Мейссенѣ съ фермами пролетомъ 54,5 м. изъ 16 панелей длиною 3,01 и 3,77 м. Нагрузкою служилъ трехосный паровозъ вѣсомъ 32,5 тон. съ трехоснымъ тендеромъ вѣсомъ 18 тон., при разстояніи между смежными осями въ 1,73 — 1,62 — 3,43 — 1,6 — 1,6 м. Разрѣзныя продольныя балки двутавроваго сѣченія изъ стѣнки 425 . 10 мм, 4-хъ уголковъ 65 . 65 . 10 мм. и 2-хъ горизонтальныхъ листовъ 140 . 10 мм. приклепаны къ поперечнымъ балкамъ только при помощи вертикальныхъ уголковъ. Измѣренія производились на продольной балкѣ въ панели 3 — 4 длиною 3,77 м., причѣмъ напряжения измѣрялись въ нижнемъ поясѣ балки при помощи двухъ приборовъ, установленныхъ по серединѣ ея пролета. Среднія изъ этихъ напряженій, соответствующія среднему волокну нижняго пояса, помѣщены въ слѣдующей таблицѣ. Измѣренія производились при разныхъ положеніяхъ паровоза, а именно при установкѣ его 1-го колеса послѣдовательно въ узлахъ 2, 3, 4 . . . 9. Кромѣ того, въ таблицѣ помѣщены напряжения, разсчитанныя для трехъ положеній паровоза въ предположеніи, что балка 3 — 4 имѣетъ или горизонтально задѣланные, или свободно-лежащіе концы.

Напряженія въ к./см. ² нижняго пояса балки 3—4.		при установкѣ 1-го колеса паровоза въ узлѣ:							
		2	3	4	5	6	7	8	9
Измѣренныя при нагрузкѣ:	статической	— 4	+ 12	+ 264	+ 22	+ 99	— 14	+ 5	+ 8
	динамической			+ 307	+ 20	+ 135			
Разсчитан- ныя въ пред- пол. концовъ:	гориз. задѣланныхъ . .			+ 230	+ 22	+ 144			
	свободно-лежащихъ . .			+ 337	+ 34	+ 211			

Изъ сравненія результатовъ опыта и расчета видно, что при установкѣ 1-го колеса паровоза надъ узломъ 4, т. е. при нахожденіи всѣхъ 3 колесъ паровоза въ предѣлахъ испытываемой балки

⁴⁾ При этомъ мы сознательно отказываемся отъ тѣхъ выгодъ, которыя даетъ неразрѣзная балка, въ силу меньшей величины ея изгибающихъ моментовъ, сравнительно съ разрѣзною балкою, и получаемъ болѣе большой запасъ прочности, что желательно, вслѣдствіе ударнаго дѣйствія нагрузки.

⁵⁾ Civilingenieur. 1883. Pag. 398.

3—4, ея дѣйствительныя напряжения ($+ 264$ и $+ 307$ к./см.²) заключались между напряжениями $+ 230$ и $+ 337$ к./см.², рассчитанными въ предположеніи, что концы балки 3—4 или горизонтально задѣланы, или свободны. При установкѣ 1-го колеса надъ узломъ 6, приче́мъ всѣ 3 оси паровоза находились въ панели 5—6, а изъ осей тендера одна находилась въ панели 4—5, а двѣ на испытуемой балкѣ 3—4, измѣренныя напряжения получились даже меньше рассчитанныхъ въ предположеніи задѣланныхъ концовъ. Это объясняется тѣмъ, что продольныя балки, будучи приклепаны къ поперечнымъ, работаютъ какъ неразрѣзныя балки, вслѣдствіе чего 1-ая ось тендера, находящаяся въ смежной панели 4—5, уменьшаетъ положительный изгибающій моментъ балки 3—4. При двухъ положеніяхъ паровоза, а именно, при установкѣ его 1-го колеса надъ узлами 2 и 7, нижній поясъ балки 3—4 получился даже сжатымъ, что указываетъ на ея выгибъ вверхъ. Что вліяніе непрерывности балки можетъ распространяться довольно далеко, видно изъ того, что балка 3—4 получила напряженіе ($+ 8$ к./см.²) даже въ томъ случаѣ, когда первое колесо стояло надъ узломъ 9, приче́мъ двѣ панели справа и всѣ панели слѣва отъ испытуемой балки 3—4 были безъ нагрузки.

§ 51. Расчетъ M и Q для разрѣзныхъ продольныхъ балокъ.

А. Мосты подъ желѣзную дорогу.

а) **Наибольшіе изгибающіе моменты.** Ихъ величина, а также положеніе опаснаго сѣченія, зависятъ отъ устройства полотна проѣзжей части, т. е. оттого, уложены ли рельсы непосредственно на продольныхъ балкахъ, или на поперечинахъ (сближенныхъ или нѣтъ), или на балластномъ слоѣ, поддерживаемомъ сплошнымъ настиломъ.

Если рельсы поддерживаются рѣдко уложенными поперечинами, то имѣется случай узлового дѣйствія нагрузки, такъ что наибольшіе моменты и поперечныя силы соотвѣтствуютъ сѣченіямъ, совпадающимъ съ осью одной изъ поперечинъ, приче́мъ одно изъ колесъ паровоза должно стоять на одной изъ поперечинъ. Для опредѣленія наибольшаго момента отъ паровоза, лучше всего пользоваться инфлюентной линіей, которая имѣетъ въ этомъ случаѣ многоугольное очертаніе съ вершинами подъ поперечинами. Не останавливаемся на этомъ способѣ расчета потому, что такое устройство полотна рѣдко встрѣчается на нашихъ дорогахъ.

1) **При укладкѣ рельсъ на сближенныхъ поперечинахъ** (что на нашихъ дорогахъ обязательно), а также при укладкѣ рельсъ непосредственно на продольныхъ балкахъ, обыкновенно считаютъ, что имѣется случай прямого дѣйствія нагрузки. Положеніе опаснаго сѣченія балки зависитъ отъ ея пролета, отъ разстоянія между осями паровоза, отъ числа этихъ осей и опредѣляется на основаніи извѣстной теоремы объ абсолютномъ максимумѣ момента. Въ данномъ случаѣ вопросъ упрощается тѣмъ, что на продольныхъ балкахъ употребительнаго пролета могутъ помѣститься колеса только одного паровоза, имѣющія по дѣйствующимъ нормамъ одинаковое давленіе $P = 10$ тон. и одинаковое между собою разстояніе $c = 1,5$ м.

Если на продольной балкѣ помѣщается 1 или 3 или 5 колесъ, то опасное сѣченіе совпадаетъ съ серединою ея пролета. Если система состоитъ изъ 2 или 4 колесъ, то по извѣстному правилу слѣдуетъ установить систему такъ, чтобы середина пролета находилась по серединѣ между равнодѣйствующею и критическимъ колесомъ, приче́мъ опасное сѣченіе (совпадающее съ критическимъ колесомъ) будетъ отстоять отъ середины пролета на $c/4$.

Опредѣлимъ предѣлы пролета продольной балки, при которыхъ наибольшій моментъ вызывается однимъ, двумя, тремя и т. д. колесами. Пролетъ l , до кото-

раго наибольшій моментъ даетъ одно колесо, получается изъ слѣдующаго равенства наибольшихъ моментовъ, вызванныхъ однимъ или двумя колесами (согл. фиг. 424)

$$\frac{P \cdot l}{4} = \frac{2P}{l} \left(\frac{l}{2} - \frac{c}{4} \right)^2$$

откуда

$$2l^2 - 4c \cdot l + c^2 = 0$$

или $l_1 = 1,71 \cdot c$

Для двухъ колесъ наибольшій пролетъ балки получится изъ равенства наибольшихъ моментовъ, вызванныхъ двумя или тремя колесами (согл. фиг. 424 и 425).

$$\frac{2P}{l} \left(\frac{l}{2} - \frac{c}{4} \right)^2 = \frac{3}{4} P \cdot l - P \cdot c$$

откуда

$$2l^2 - 4c \cdot l - c^2 = 0$$

или $l_2 = 2,22 \cdot c$

Для трехъ колесъ получаемъ точно также

$$\frac{3}{4} P \cdot l - P \cdot c = \frac{4P}{l} \left(\frac{l}{2} - \frac{c}{4} \right)^2 - P \cdot c$$

откуда

$$l^2 - 4c \cdot l + c^2 = 0$$

или $l_3 = 3,73 \cdot c$

Для четырехъ колесъ

$$\frac{4P}{l} \left(\frac{l}{2} - \frac{c}{4} \right)^2 - P \cdot c = \frac{5}{4} P \cdot l - P \cdot 3c$$

откуда

$$l^2 - 4c \cdot l - c^2 = 0$$

или $l_4 = 4,24 \cdot c$

Результаты сопоставлены въ слѣдующей таблицѣ, причемъ жирнымъ шрифтомъ выдѣлены тѣ данныя, которыя относятся къ нашему нормальному паровозу съ $P = 10$ тон. и $c = 1,5$ м. Изъ этихъ данныхъ сразу видно, сколько при дан-

Пролетъ балки отъ — до	l балки при $c = 1,5$ м. мет.	Невыгоднѣй- шее число колесъ.	x Разстоян. опасн. сѣчен. до опоры.	max M наиб. моментъ.
0 до 1,71 . c	0 до 2,56	1	$\frac{l}{2}$	$\frac{P \cdot l}{4}$
1,71 . c до 2,22 . c	2,56 до 3,33	2	$\frac{l}{2} - \frac{c}{4}$	$\frac{2P}{l} \left(\frac{l}{2} - \frac{c}{4} \right)^2$
2,22 . c до 3,73 . c	3,33 до 5,60	3	$\frac{l}{2}$	$P \left(\frac{3}{4} l - c \right)$
3,73 . c до 4,24 . c	5,60 до 6,36	4	$\frac{l}{2} - \frac{c}{4}$	$P \left\{ \frac{4}{l} \left(\frac{l}{2} - \frac{c}{4} \right)^2 - c \right\}$
> 4,24 . c	> 6,36	5	$\frac{l}{2}$	$P \left(\frac{5}{4} l - 3c \right)$

номъ пролетѣ продольной балки нужно принять колесъ, чтобы получить наибольшій моментъ, который вычисляется по формулѣ, приведенной въ послѣднемъ столбцѣ.

Обыкновенно ограничиваются разсчетомъ только абсолютно наибольшаго момента, который необходимъ для подбора сѣченія балки. Моменты, относящяся къ другимъ сѣченіямъ балки, не представляютъ интереса потому, что сѣченіе балки принято сохранять неизмѣннымъ на всемъ ея протяженіи, даже при наличности горизонтальныхъ листовъ. Обрывать верхній листъ нежелательно по конструктив-

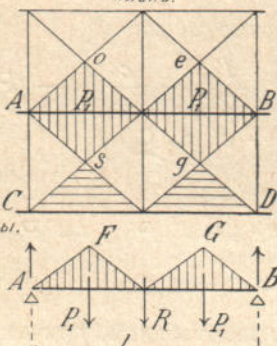
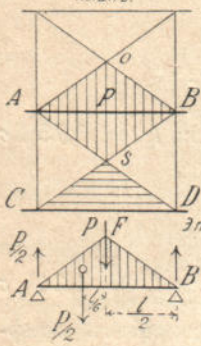
нымъ соображеніямъ; но и нижній листъ чаще всего не обрываютъ. Въ случаѣ необходимости, можно опредѣлить мѣста его обрыва по способу, изложенному на стр. 259 I тома.

Къ моменту отъ временной нагрузки всегда прибавляютъ моментъ отъ постоянной нагрузки, который при проѣзжей части изъ сближенныхъ подрельсовыхъ поперечинъ очень малъ, по сравненіи съ моментомъ отъ временной нагрузки. При сближенныхъ поперечинахъ принимаютъ постоянную нагрузку p равномерно распределенную по длинѣ балки. Для опаснаго сѣченія, отстоящаго отъ опоръ на x и $l - x$, моментъ $M_p = \frac{p \cdot x (l - x)}{2}$, а для середины пролета $M_p = \frac{p \cdot l^2}{8}$.

2) При укладкѣ пути на балластномъ слоѣ вопросъ о распределеніи нагрузки на балку представляется крайне неопредѣленнымъ, вслѣдствіе чего приходится дѣлать разныя допущенія. Относительно постоянной нагрузки, которая вслѣдствіе балластнаго слоя имѣетъ значительную величину, можно допустить, что она

Фиг. 426.

Фиг. 427.



распредѣляется по треугольнику, какъ показано въ фиг. 426, гдѣ нагрузка P , приходящаяся на среднюю балку AB , дѣйствуетъ въ предѣлахъ площади Aos и распределяется вдоль балки въ видѣ треугольника AFB , причемъ $P = p \cdot \omega$, гдѣ p — въ к./м.² сплошная равномерно распределенная нагрузка, а ω — въ м.² площадь Aos . Наибольшій изгибающій моментъ отъ этой нагрузки P

$$M_p = \frac{P}{2} \cdot \frac{l}{2} - \frac{P}{2} \cdot \frac{l}{6} = \frac{P \cdot l}{6}$$

Для крайней продольной балки CD , получающей нагрузку отъ лотковъ только съ одной стороны ($\frac{1}{4}$ лотка), моментъ разсчитывается такъ же. Если продольная балка AB поддерживаетъ двѣ или больше паръ лотковъ, согласно фиг. 427, то ея нагрузка состоитъ изъ ряда треугольниковъ $AFR, RGB \dots$ и изъ сосредоточенныхъ грузовъ R , представляющихъ давленія вспомогательныхъ поперечныхъ балочекъ. Наибольшій моментъ для середины пролета AB , согласно фиг. 427,

$$M_p = P_1 \left(\frac{l}{2} - \frac{l}{4} \right) + \frac{R \cdot l}{4} = \frac{l}{4} (P_1 + R)$$

Относительно временной нагрузки можно допустить, что колесо, находящееся непосредственно надъ балкою, передается ей цѣликомъ и прямо. При расположеніи колеса между двумя продольными балками можно допустить, что его давленіе распределяется на балки или по закону рычага, или же можно примѣнить законъ распределенія нагрузки, выведенный на стр. 167 (формулы 44).

β) Наибольшая поперечная сила Q . Эта сила необходима для разсчета заклепокъ и касательныхъ напряженій. Обыкновенно ограничиваются опредѣленіемъ абсолютно наибольшаго значенія этой силы, которое при прямомъ дѣйствіи нагрузки (сближенные поперечины, сплошной настиль) равняется опорной реакціи продольной балки и соотвѣтствуетъ установкѣ перваго колеса надъ опорю. Слѣ-

дующая таблица содержитъ для продольныхъ балокъ разнаго пролета значенія Q , соотвѣтствующія размѣрамъ нормальнаго паровоза съ давленіемъ колесъ $P = 10$ тон. и разстояніемъ между ними $c = 1,5$ м. Жирнымъ шрифтомъ выдѣлены тѣ данныя, которыя относятся къ нормальному паровозу. Значенія Q рассчитываются по формуламъ послѣдняго столбца.

l пролетъ балки въ мет.		Число колесъ.	max Q наибольшая поперечная сила	
отъ — до	при $c = 1,5$ м. мет.		формула	при $P = 10$ тон. $c = 1,5$ м. тон.
0 до c	0 до 1,5	1	P	10
c до $2c$	1,5 до 3	2	$2\left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{l}\right) \cdot P$	$20\left(1 - \frac{0,75}{l}\right)$
$2c$ до $3c$	3 до 4,5	3	$3\left(1 - 1 \cdot \frac{c}{l}\right) P$	$30\left(1 - \frac{1,5}{l}\right)$
$3c$ до $4c$	4,5 до 6	4	$4\left(1 - \frac{3}{2} \cdot \frac{c}{l}\right) P$	$40\left(1 - \frac{2,25}{l}\right)$
$4c$ до $5c$	6 до 7,5	5	$5\left(1 - 2 \cdot \frac{c}{l}\right) P$	$50\left(1 - \frac{3}{l}\right)$

В. Мосты подь обыкновенную дорогу.

Продольныя балки мостовъ подь обыкновенную дорогу рассчитываются, смотря по условіямъ движенія и по заданіямъ проекта, на одну или нѣсколько изъ слѣдующихъ нагрузокъ⁶⁾: 1) среднія фуры вѣсомъ 8,2 тон.; 2) тяжелая фура вѣсомъ 18 до 20 тон.; 3) конный или паровой катокъ; 4) вагоны трамвая и 5) толпа людей въ 550 к. на м.², расположенная или сплошь, или только въ свободныхъ отъ фуръ мѣстахъ. Смотри по тому, какія изъ этихъ нагрузокъ заданы техническими условіями, приходится вести расчетъ отдѣльно на каждую нагрузку, пользуясь затѣмъ для подбора сѣченія балки наибольшими изъ рассчитанныхъ значеній M и Q . Толпа людей, даже въ 550 к/м.², въ большинствѣ случаевъ даетъ меньшія значенія M и Q , чѣмъ сосредоточенныя нагрузки.

Наибольшій изгибающій моментъ и поперечная сила. Сперва, передвигая нагрузку въ поперечномъ направленіи моста, опредѣляютъ то положеніе колесъ, при которомъ давленіе на рассчитываемую балку получается наибольшимъ, распредѣляя давленія колесъ по закону рычага и предполагая, что надъ продольными балками поперечный настилъ разрѣзанъ. Если приходится руководствоваться смѣшанною нагрузкою, т. е. такою, которая состоитъ не только изъ колесъ, но также изъ толпы людей, помѣщающейся въ мѣстахъ, свободныхъ отъ фуръ, то, чтобы не усложнять расчета, принято не обращать вниманія на толпу при опредѣленіи невыгоднѣйшаго положенія колесъ. При разсмотрѣннн вопроса о невыгоднѣйшемъ положеніи колесъ для одной изъ промежуточныхъ продольныхъ балокъ, будемъ различать нѣсколько случаевъ, смотря по числу колесъ, давленіе которыхъ можетъ передаваться разсматриваемой продольной балкѣ.

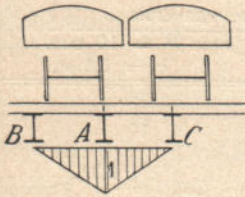
Два колеса. При наличности только двухъ колесъ способъ невыгоднѣйшей установки зависитъ отъ соотношенія ширины s колеи и разстоянія a между продольными балками. Если $s > a$, то слѣдуетъ установить одно колесо надъ продольною балкою. Если $s < a$, то давленіе на продольную балку полу-

⁶⁾ См. стр. 26 брошюры Е. О. Патона „Данныя для проектированія мостовъ“.

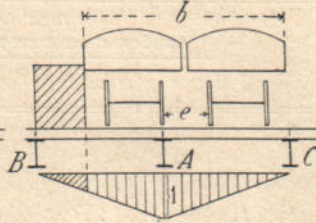
чается одинаковымъ при любомъ положеніи колесъ, лишь бы они находились съ разныхъ сторонъ этой балки.

Три колеса. Если на протяженіи BC между тремя продольными балками B, A и C помѣщается три колеса, то, какъ видно изъ инфлюентной линіи въ фиг. 428, одно изъ среднихъ колесъ слѣдуетъ поставить надъ балкою A .

Фиг. 428.



Фиг. 429.



фиг. 428, одно изъ среднихъ колесъ слѣдуетъ поставить надъ балкою A . При этомъ предполагается, что всѣ колеса имѣютъ давленіе одинаковой величины и пренебрегается дѣйстви- емъ толпы, окружающей фуры.

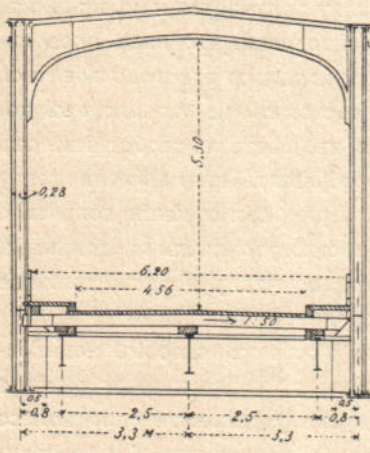
Четыре колеса. Если на протяженіи BC между тремя продольными балками B, A и C помѣщается четыре колеса съ одинаковымъ давлени- емъ, то, какъ видно изъ инфлюентной линіи давленія A (фиг. 429), колеса оказываютъ при любомъ ихъ положеніи одно и то же давленіе на балку A . Поэтому невыгоднѣйшее положеніе фуръ опредѣляется вліяніемъ толпы, которая помѣщается рядомъ съ фурами*). Если фермы или тротуарный бордюръ не мѣшаютъ перемѣщенію фуръ поперекъ моста, то при употребительномъ вѣсѣ фуръ и толпы, самая невыгодная установка колесъ обыкновенно соотвѣтствуетъ положенію одного изъ среднихъ колесъ надъ среднюю балкою A .

Указанными правилами для установки колесъ можно пользоваться только въ тѣхъ случаяхъ, когда проѣзжая часть моста шире общей ширины b фуръ и можно беспрепятственно двигать фуры поперекъ моста, что не всегда возможно въ мостахъ съ ѣздой по низу, гдѣ могутъ мѣшать фермы.

Установивъ колеса самымъ невыгоднымъ образомъ поперекъ моста и приведя давленія всѣхъ колесъ къ одному или къ двумъ грузамъ, дѣйствующимъ на рассматриваемую продольную балку, переходятъ къ опредѣленію самой невыгодной установки этихъ грузовъ на пролетѣ продольной балки. При разчетѣ на фуры наибольшей моментъ получается отъ одного колеса, если пролетъ продольной балки $l_1 < 1,71 \cdot c$), гдѣ c — разстояніе между осями фуръ.

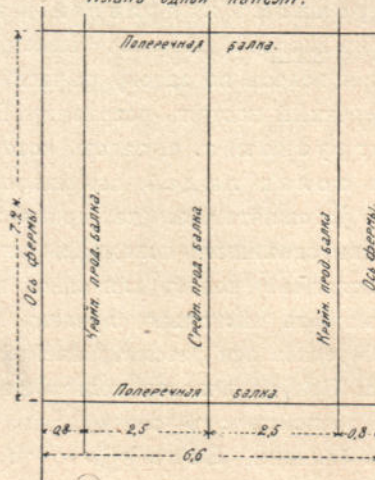
Фиг. 430.

Поперечный разрѣзъ.



Фиг. 431.

Планъ одной панели.



Примѣръ раз- счета M и Q для сред- ней продольной балки шоссе-наго моста, проѣзжая часть котораго, со- гласно фиг. 430 и 431, состоитъ изъ поперечн. балокъ, приклепанныхъ къ нимъ трехъ продоль- ныхъ балокъ и уло- женнаго на послѣд- нихъ полотна изъ нижнихъ поперечн. брусевъ и изъ верх- няго продольнаго досчатаго настила.

) См. разчетъ на стр. 357.

*) Нельзя дать для этого случая общее правило, такъ какъ установка нагрузки зависитъ отъ соотношенія между вѣсомъ толпы и фуръ.

Расчетный пролетъ продольной балки = 7,2 м.
 Расстояние между продольными балками = 2,5 м.
 Постоянная нагрузка = 610 к. на п. м. балки.

I. Наибольший изгибающий моментъ

$$\text{отъ постоянной нагрузки } M_p = \frac{610 \cdot 7,2^2}{8} \cdot 100 = 395280 \text{ к. см.}$$

Временная нагрузка. Изгибающий моментъ отъ временной нагрузки опредѣляемъ въ трехъ предположеніяхъ, останавливаясь окончательно на самомъ невыгодномъ изъ нихъ.

1) При загрузеніи моста толпою людей въ 550 к. на м.²

$$\text{наибольший моментъ } M'_k = \frac{2,5 \cdot 550 \cdot 7,2^2}{8} \cdot 100 = 891000 \text{ к. см.}$$

2) Загруженіе моста двумя фурами въсомъ по 8,2 тон., расположенными симметрично относительно продольной оси моста, согласно фиг. 432.

При этомъ расположеніи фуръ средняя продольная балка AB получаетъ въ точкахъ PP слѣдующія сосредоточенныя давленія, опредѣленныя путемъ разложенія давленія колесъ по закону рычага на среднюю и двѣ крайнихъ продольныхъ балки

$$P = 2 \cdot 2050 \left(\frac{0,4 + 1,8}{2,5} \right) = 3608 \text{ к.}$$

Кромѣ того, отъ загрузенія свободныхъ промѣжутковъ толпою въ 550 к./м.² участокъ балки AC находится подь дѣйствіемъ сплошной нагрузки

$$k = \frac{550 \cdot 2,50}{2} = 687,5 \text{ к. на пог. м.}$$

Абсолютный максимумъ момента отъ грузовъ P получается при расположеніи колесъ фуръ, согласно фиг. 432. При этомъ расположеніи нагрузки наибольший изгибающий моментъ

$$M''_k = \frac{3608 \cdot (1,2 + 4,4)}{7,2} \cdot 280 + \frac{687,5 \cdot 1,2 (7,2 - 0,6)}{7,2} \cdot 280 - 687,5 \cdot 1,2 \cdot (280 - 60) = 815992 \text{ к. см.}$$

3) При загрузеніи моста каткомъ въсомъ 6500 к. и толпою, согласно фиг. 433, средняя продольная балка AB подвергается дѣйствію:

а) двухъ сосредоточенныхъ грузовъ въ точкахъ P_1 и P_2

$$P_1 = \frac{6500 \cdot (2,50 - 0,325)}{2,50} = 5655 \text{ к.}$$

$$P_2 = 2 \cdot \frac{750 \cdot 2,0}{2,5} = 1200 \text{ к.}$$

б) сплошной равномерной нагрузки по всей длинѣ балки

$$k_1 = 2 \cdot \frac{550 \cdot 1,7^2}{2 \cdot 2,5} = 636 \text{ к. на п. м. балки}$$

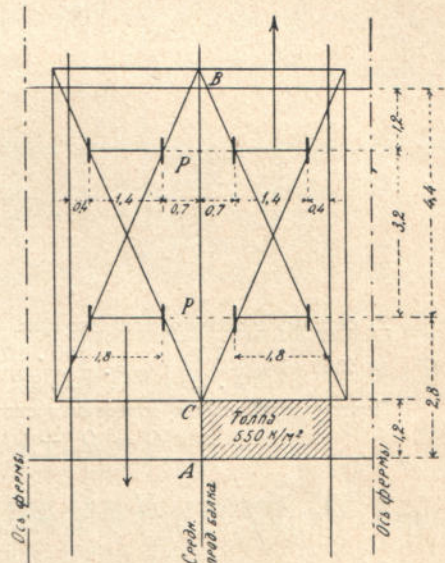
в) сплошной нагрузки на участкѣ AC балки

$$k_2 = 2 \cdot \frac{550 \cdot 0,8 (2,5 - 0,4)}{2,5} = 739 \text{ к. на п. м.}$$

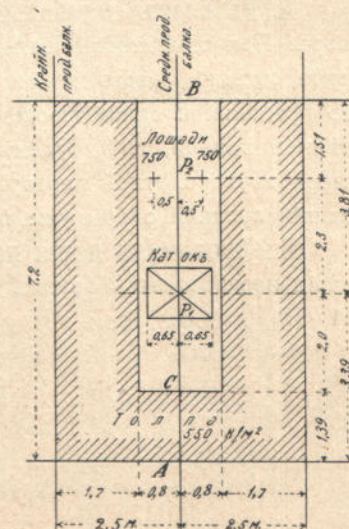
Абсолютный максимумъ изгибающаго момента отъ грузовъ P_1 и P_2 получается при расположеніи ихъ согласно фиг. 433. Поэтому наибольший изгибающий моментъ отъ всей нагрузки

$$M'''_k = \frac{5655 \cdot 3,81 + 1200 \cdot 1,51}{7,2} \cdot 339 + \frac{636 \cdot 3,39 \cdot 381}{2} + 739 \cdot 1,39 \left(\frac{7,2 - 0,695}{7,2} \cdot 339 - 269,5 \right) = 1545000 \text{ к. см.}$$

Фиг. 432.



Фиг. 433.

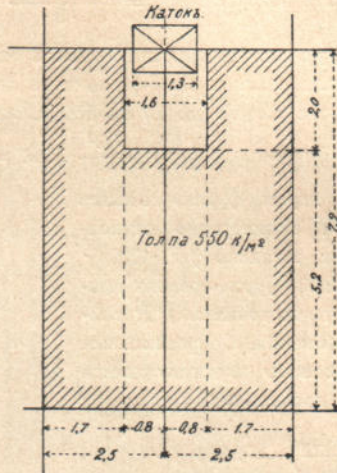
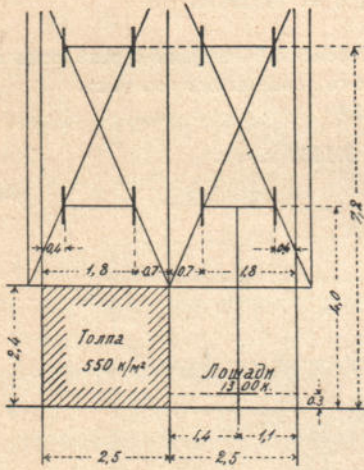


Изъ сравненія трехъ случаевъ временной нагрузки видно, что загрузка каткомъ и толпою является наиболее невыгоднымъ. Поэтому полный наибольшій изгибающій моментъ

$$\max M = M_p + M''_k = 395280 + 1545000 = 1940280 \text{ к. см.}$$

Фиг. 433 bis.

Фиг. 434.



II. Поперечная сила на опорѣ балки

а) отъ постоянной нагрузки

$$Q_1 = \frac{610 \cdot 7,2}{2} = 2196 \text{ к.}$$

б) отъ временной нагрузки, въ случаѣ загрузки моста:

1) фурами и толпою, согласно фиг. 433 bis.

$$Q'_k = 2 \cdot 2050.$$

$$\frac{1,8 + 0,4}{2,5} \left(1 + \frac{4,0}{7,2}\right) +$$

$$+ 1300 \cdot \frac{1,1}{2,5} \cdot \frac{0,3}{7,2} +$$

$$+ \frac{550 \cdot 2,5 \cdot 2,4^2}{2 \cdot 2 \cdot 7,2} = 5911 \text{ к.}$$

2) каткомъ и толпою, согласно фиг. 434.

$$Q''_k = 6500 \left(1 - \frac{1,3}{4 \cdot 2,5}\right) + 2 \cdot \frac{550 \cdot 1,7^2}{2 \cdot 2,5} \cdot \frac{7,2}{2} + 2 \cdot \frac{550 \cdot 0,8 \cdot 2,1}{2,5} \cdot \frac{5,2^2}{2 \cdot 7,2} = 9330 \text{ к.} > Q'_k.$$

Поэтому наибольшая поперечная сила на опорѣ балки отъ полной нагрузки

$$\max Q = Q_p + Q''_k = 2196 + 9330 = 11526 \text{ к.}$$

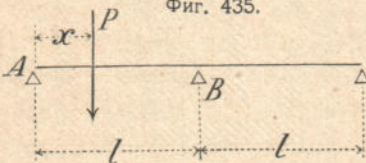
§ 52. Разсчетъ M и Q для неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ.

Сѣченіе неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ обыкновенно не измѣняется по всей ихъ длинѣ, поэтому для подбора ихъ сѣченія достаточно разсчитать только абсолютно наибольшее значеніе момента и поперечной силы.

А. Разсчетъ наибольшаго момента въ предположеніи неизмѣняемости опоръ. При одинаковой величинѣ пролетовъ неразрѣзной балки наибольшій моментъ имѣетъ мѣсто въ концевомъ пролетѣ. Допустимъ въ пользу прочности, что продольная балка проходитъ безъ перерыва только въ предпоследней и послѣдней панели, т. е. будемъ пренебрегать вліяніемъ остальныхъ пролетовъ. Для нашей двухпролетной неразрѣзной балки съ равными пролетами инфлюэнтная линия реакціи средней опоры уже приведена въ § 70.

Инфлюэнтная линия изгибающаго момента на средней опорѣ. Согласно теоріи неразрѣзныхъ балокъ грузъ P , расположенный на разстояніи x отъ лѣвой опоры A (фиг. 435), вызываетъ на средней опорѣ B двухпролетной балки съ равными пролетами l моментъ

Фиг. 435.



$$M_B = -\frac{P \cdot x}{4} \left[1 - \left(\frac{x}{l}\right)^2\right]^2 \quad (84)$$

¹⁾ Эта формула слѣдуетъ изъ уравненія моментовъ Клапейрона

$$4 M_B \cdot l = -P \cdot x \cdot l \left[1 - \left(\frac{x}{l}\right)^2\right]$$

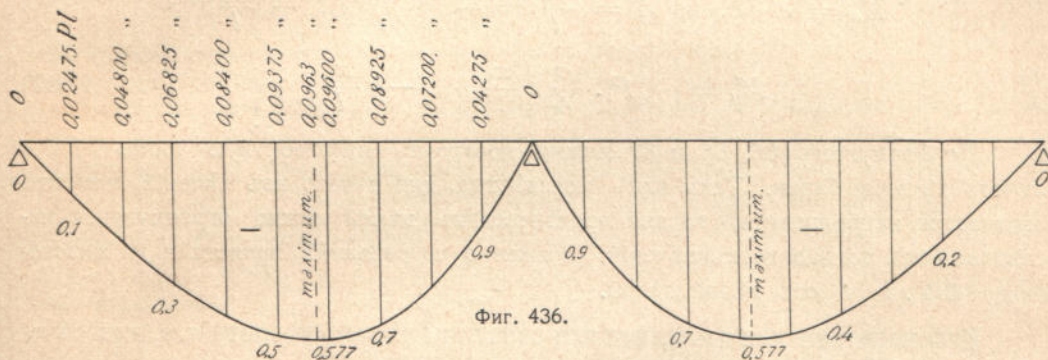
Этотъ моментъ имѣетъ наибольшую величину при положеніи груза P на разстояніи

$$x = l \sqrt{\frac{1}{3}} = 0,577 \cdot l$$

причемъ $\max M_B = - \frac{P \cdot 0,577 \cdot l}{4} \left(1 - 0,577^2 \right) = - 0,0963 \cdot P \cdot l$.

Остальныя точки инфлюентной линіи момента M_B найдемъ, если раздѣлимъ лѣвый пролетъ на 10 равныхъ частей и соответствующія этимъ точкамъ значенія $\frac{x}{l}$ подставимъ въ формулу 84. Полученныя такимъ образомъ значенія M_B представляютъ ординаты инфлюентной линіи опорнаго момента M_B и выписаны въ фиг. 436.

Инфлюентная линія момента на средней опорѣ.



Въ виду симметріи инфлюентная линія имѣетъ однѣ и тѣ же ординаты въ лѣвомъ и правомъ пролетѣ.

Выведемъ теперь формулу момента для промежуточнаго сѣченія лѣваго пролета, которое отстоитъ на a отъ лѣвой опоры.

1) При положеніи груза P слѣва сѣченія a на разстояніи x отъ A .

$$M_a = A \cdot a - P(a - x)$$

A получаемъ изъ уравненія

$$M_B = A \cdot l - P(l - x)$$

$A = \frac{M_B}{l} + \frac{P}{l}(l - x)$. Подставляя значеніе M_B изъ формулы 84, получаемъ

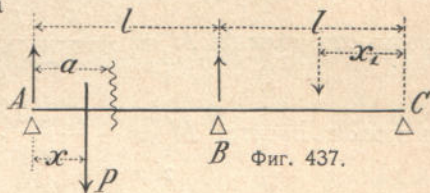
$$A = - \frac{P \cdot x}{4l} \left[1 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right] + \frac{P}{l}(l - x). \quad \text{Итакъ}$$

$$M_a = - \frac{P \cdot a \cdot x}{4l} \left[1 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right] + \frac{P \cdot a}{l}(l - x) - P(a - x)$$

$$M_a = P \cdot x \left[1 - \frac{a}{l} - \frac{1}{4} \cdot \frac{a}{l} \left\{ 1 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right\} \right] \dots \dots (85)$$

2) При положеніи груза P справа отъ сѣченія a , согласно фиг. 437,

$$M_a = A \cdot a, \text{ причемъ } M_B = A \cdot l - P(l - x), \text{ откуда}$$



$$A = \frac{M_B}{l} + \frac{P}{l} (l - x)$$

Подставляя значеніе M_B изъ формулы 84, получаемъ

$$A = - \frac{P \cdot x}{4l} \left[1 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right] + \frac{P}{l} (l - x).$$

$$M_a = P \cdot a \left[1 - \frac{x}{l} - \frac{1}{4} \cdot \frac{x}{l} \left\{ 1 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right\} \right] \dots \dots (86)$$

3) При положеніи груза P въ правомъ пролетѣ на разстояніи x_1 отъ правой опоры, согласно фиг. 437,

$$M_a = A \cdot a, \text{ но } A = \frac{M_B}{l} = - \frac{P \cdot x_1}{4l} \left[1 - \left(\frac{x_1}{l} \right)^2 \right]$$

$$M_a = - P \cdot \frac{a}{4} \cdot \frac{x_1}{l} \left[1 - \left(\frac{x_1}{l} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (87)$$

По формуламъ 85, 86 и 87 можно построить инфлюентную линію M для любого сѣченія балки. Такъ какъ неизвѣстно, для какого изъ сѣченій моментъ получается наибольшимъ, то для практическихъ цѣлей можно ограничиться изслѣдованіемъ только двухъ сѣченій, а именно по серединѣ пролета и на разстояніи $0,4 \cdot l$ отъ лѣвой опоры.

Инфлюентная линія момента для середины лѣваго пролета, т. е. для сѣченія

$a = \frac{l}{2}$. Подставляя въ формулы 85, 86 и 87 $\frac{l}{2}$ вмѣсто a , получаемъ при положеніи груза P

слѣва отъ сѣченія $M_{\frac{1}{2}} = + P \cdot x \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{8} \left\{ 1 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right\} \right] \dots \dots \dots (88)$

справа отъ сѣченія $M_{\frac{1}{2}} = + \frac{P \cdot l}{2} \left[1 - \frac{x}{l} - \frac{1}{4} \cdot \frac{x}{l} \left\{ 1 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right\} \right] \dots \dots (89)$

въ правомъ пролетѣ $M_{\frac{1}{2}} = - \frac{P \cdot l}{8} \cdot \frac{x_1}{l} \left[1 - \left(\frac{x_1}{l} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (90)$

Ординаты инфлюентной линіи получимъ, если раздѣлимъ каждый пролетъ на 10 частей и подставимъ въ формулы 88 и 89 соотвѣтственные значенія $\frac{x}{l}$.

Фиг. 438.

Инфлюентная линія момента для середины лѣваго пролета.



а въ формулу 90 значенія $\frac{x_1}{l}$. Инфлюэнтная линия представлена въ фиг. 438 съ показаніемъ величины всѣхъ ординатъ, которая равна произведенію численнаго коэффициента на $P \cdot l$.

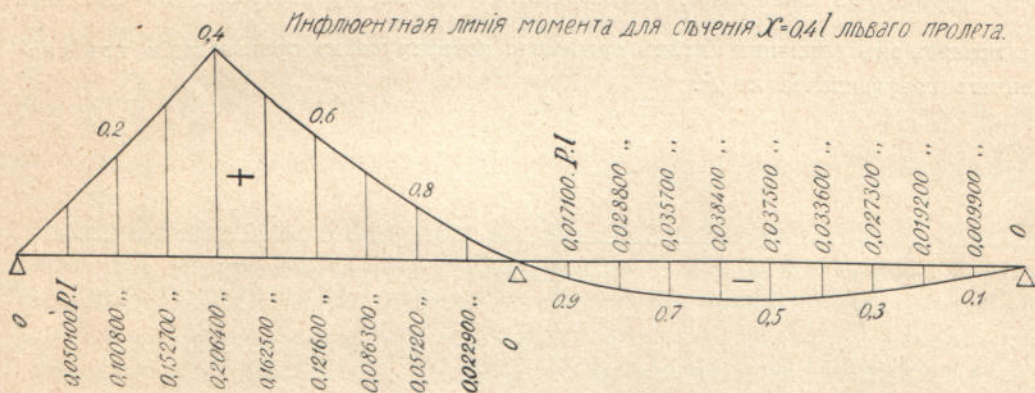
Инфл. линия момента для сѣченія $a = 0,4 \cdot l$ въ лѣвомъ пролетѣ. Для этого сѣченія моментъ получается иногда больше, чѣмъ для середины пролета. Подставляя въ формулы 85, 86 и 87 $0,4 \cdot l$ вмѣсто a , получаемъ при положеніи груза P

$$\text{слѣва отъ сѣченія } M_{0,4} = + P \cdot x \left[0,6 - \frac{1}{10} \left\{ 1 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right\} \right] \dots \dots \dots (91)$$

$$\text{справа отъ сѣченія } M_{0,4} = + P \cdot l \cdot 0,4 \left[1 - \frac{x}{l} - \frac{1}{4} \cdot \frac{x}{l} \left\{ 1 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right\} \right] (92)$$

$$\text{въ правомъ пролетѣ } M_{0,4} = - \frac{P \cdot l}{10} \cdot \frac{x_1}{l} \left[1 - \left(\frac{x_1}{l} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (93)$$

Фиг. 439.



Инфлюэнтная линия момента для сѣченія $x=0,4l$ лѣваго пролета.

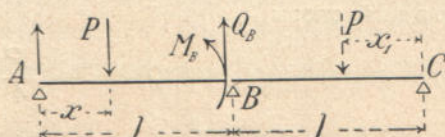
Ординаты инфлюэнтной линии, показанной въ фиг. 439, получимъ, если раздѣлимъ каждый пролетъ на 10 частей и подставимъ въ формулы 91 и 92 соответственныя значенія $\frac{x}{l}$, а въ формулу 93 — значенія $\frac{x_1}{l}$.

Поперечная сила имѣеть наибольшую величину у опоръ, обыкновенно у средней опоры.

Инфлюэнтная линия поперечной силы Q_B у средней опоры. Будемъ разсматривать поперечную силу Q_B , которая дѣйствуетъ слѣва отъ средней опоры B и которую слѣдуетъ отличать отъ силы, дѣйствующей справа отъ той же опоры.

1) Положеніе груза P въ лѣвомъ пролетѣ на разстояніи x отъ лѣвой опоры, согласно фиг. 440. Проводимъ сѣченіе у самой опоры B слѣва. Для всѣхъ силъ, приложенныхъ къ части балки слѣва отъ сѣченія, пишемъ уравненіе моментовъ относительно лѣвой опоры:

Фиг. 440.



$$M_B + l \cdot Q_B - x \cdot P = 0. \text{ Подставляя изъ формулы 84 значеніе}$$

$$M_B = - \frac{P \cdot x}{4} \left[1 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right], \quad \text{получаемъ}$$

$$Q_B = \frac{P \cdot x}{4 \cdot l} \left[5 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (94)$$

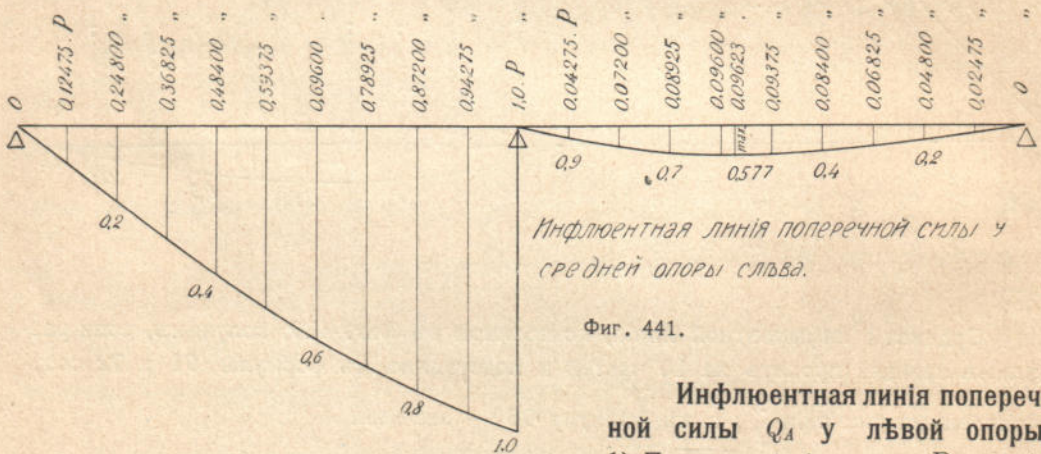
2) Положеніе груза P въ правомъ пролетѣ на разстояніи x_1 отъ правой опоры. Для отсѣченной части балки имѣемъ:

$A + Q_B = 0$. Подставляя, согласно формулѣ 84

$$A = \frac{M_B}{l} = - \frac{P \cdot x_1}{4 \cdot l} \left[1 - \left(\frac{x_1}{l} \right)^2 \right], \quad \text{получаемъ}$$

$$Q_B = \frac{P \cdot x_1}{4 \cdot l} \left[1 - \left(\frac{x_1}{l} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (95)$$

Ординаты инфлюентной линіи Q_B получимъ, если раздѣлимъ каждый пролетъ на 10 частей и подставимъ въ формулу 94 соотвѣтственные значенія $\frac{x}{l}$, а въ формулу 95 значенія $\frac{x_1}{l}$. Инфлюентная линія Q_B построена въ фиг. 441 съ показаніемъ величины всѣхъ ординатъ, которая равна произведенію изъ численнаго коэффициента на P .



Инфлюентная линія поперечной силы Q_A у лѣвой опоры.

1) При положеніи груза P въ лѣвомъ пролетѣ, на разстояніи x отъ лѣвой опоры (фиг. 440)

$$Q_A = A^*) = - \frac{P \cdot x}{4 \cdot l} \left[1 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right] + \frac{P}{l} (l - x)$$

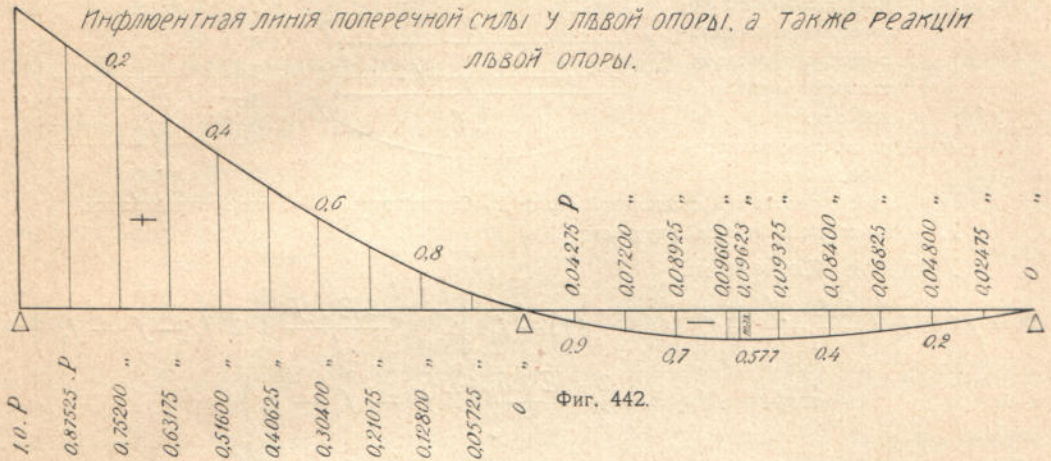
$$= + \frac{P}{4} \left[4 - 5 \frac{x}{l} + \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right] \dots \dots \dots (96)$$

2) При положеніи груза P въ правомъ пролетѣ, на разстояніи x_1 отъ правой опоры

$$Q_A = - \frac{P}{4} \cdot \frac{x_1}{l} \left[1 - \left(\frac{x_1}{l} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (97)$$

*) См. формулу для A на стр. 363.

Ординаты инфлюентной линіи Q_A получимъ, если раздѣлимъ каждый пролетъ на 10 частей и подставимъ въ формулу 96 соотвѣтственныя значенія $\frac{x}{l}$, а въ формулу 97 значенія $\frac{x_1}{l}$. Инфлюентная линія построена въ фиг. 442 съ показаніемъ величины всѣхъ ординатъ, которая равна произведенію изъ численнаго коэффициента на P .



Та же фиг. 442 представляетъ вмѣстѣ съ тѣмъ инфлюентную линію реакціи лѣвой опоры.

Дополнительныя напряженія въ неразрѣзныхъ продольныхъ балкахъ. Вслѣдствіе прикрѣпленія къ поперечнымъ балкамъ, неразрѣзныя продольныя балки должны участвовать въ вертикальномъ и горизонтальномъ прогибѣ пролетнаго строенія и въ вертикальномъ прогибѣ поперечныхъ балокъ, испытывая при этомъ дополнительныя напряженія, которыя, однако, сравнительно невелики, такъ что можно пренебрегать ими для практическихъ цѣлей. Дополнительныя напряженія, вызванныя въ продольной балкѣ средней панели вертикальнымъ прогибомъ фермъ, составляютъ по Винклеру 25 — 8 — 6 — 4 — 3% при пролетѣ фермъ въ 10—30—50—100—150 м. Болѣе значительное вліяніе оказываетъ вертикальный прогибъ поперечныхъ балокъ, вслѣдствіе котораго моменты неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ обыкновенно уменьшаются на ихъ опорахъ и увеличиваются для промежуточныхъ сѣченій балокъ. По Винклеру положительный изгибающій моментъ продольныхъ балокъ увеличивается отъ этого въ среднихъ панеляхъ на 8 до 20%, а въ концевыхъ панеляхъ— на 5 до 12%.

Расчетъ дополнительныхъ напряженій въ продольныхъ балкахъ отъ вертикальнаго прогиба поперечныхъ балокъ³⁾. Опредѣлимъ тотъ дополнительный моментъ M_x , который, вслѣдствіе вертикальнаго прогиба поперечныхъ балокъ, вызывается въ сѣченіи двухпролетной неразрѣзной продольной балки, отстоящемъ на x отъ лѣвой опоры. Предположимъ то же положеніе нагрузки, которое соотвѣтствуетъ $\max M$ въ этомъ сѣченіи при условіи неизмѣняемыхъ опоръ. Обозначимъ черезъ

³⁾ Haeseler. Die eisernen Bruecken.

f_0, f_1, f_2 — въ см. прогибы трехъ поперечныхъ балокъ A, B и C въ мѣстахъ прикрѣпленія продольныхъ балокъ,

A, B, C — въ тон. давленія каждой продольной балки на поперечныя, при условіи неизмѣняемыхъ опоръ,

M_B — въ т. см. дополнительный моментъ на средней опорѣ продольной балки, вызванный прогибомъ поперечныхъ балокъ,

A_m — въ тон. дополнительная реакція опоры A , вызванная моментомъ M_B ,

l — въ см. пролетъ продольныхъ балокъ,

J и J_1 — въ см.⁴ моментъ инерціи продольной и поперечной балки относительно горизонтальной нейтральной оси,

b — въ см. пролетъ поперечной балки,

u — въ см. разстояніе продольной балки до ближайшаго конца поперечной балки,

E — въ тон./см.² модуль упругости.

Уравненіе Клапейрона

$$4 M_B \cdot l = \frac{6 E \cdot J}{l} \left[f_1 - f_0 - (f_2 - f_1) \right] = \frac{6 E \cdot J}{l} \left(2 f_1 - f_0 - f_2 \right),$$

$$\text{откуда } M_B = \frac{3}{2} \frac{E \cdot J}{l^2} \left(2 f_1 - f_0 - f_2 \right)$$

Дополнительная реакція лѣвой опоры отъ M_B . . . $A_m = \frac{M_B}{l}$

Дополнительный моментъ въ сѣченіи x

$$M_x = A_m \cdot x = M_B \cdot \frac{x}{l} = \frac{3}{2} \frac{E \cdot J \cdot x}{l^3} \left(2 f_1 - f_0 - f_2 \right) \dots \dots (98)$$

Допустимъ, что прогибы f_0, f_1, f_2 поперечныхъ балокъ пропорціональны давленіямъ A, B, C , которыя каждая продольная балка передаетъ поперечнымъ, при условіи, что послѣднія не прогибаются, т. е. примемъ

$$f_0 = \gamma \cdot A; \quad f_1 = \gamma \cdot B; \quad f_2 = \gamma \cdot C.$$

Подставляя въ формулу 98, получаемъ

$$M_x = \frac{3}{2} \frac{E \cdot J \cdot x}{l^3} \left(2 B - A - C \right) \cdot \gamma \dots \dots (99)$$

Коэффициентъ γ , зависящій отъ пролета и момента инерціи поперечныхъ балокъ, а также отъ положенія и числа продольныхъ балокъ, опредѣлимъ для однопутнаго желѣзнодорожнаго моста съ двумя продольными балками. Согласно фиг. 444, имѣемъ для свободно лежащей поперечной балки, нагруженной двумя симметричными грузами A , прогибъ въ мѣстахъ дѣйствія грузовъ:

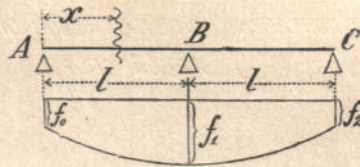
$$f_0 = \gamma \cdot A = \frac{u^2 (3b - 4u)}{6 E \cdot J_1} \cdot A,$$

откуда $\gamma = \frac{u^2 (3b - 4u)}{6 E \cdot J_1}$. Подставляя въ формулу 99, получаемъ искомый дополнительный моментъ продольной балки

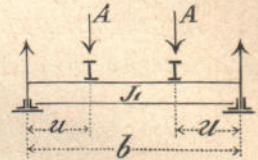
$$M_x = \frac{1}{4} \cdot \frac{J}{J_1} \cdot \frac{x \cdot u^2}{l^3} \left(3b - 4u \right) \left(2 B - A - C \right) \dots \dots (100)$$

Реакціи A, B и C можно разсчитать по ихъ инфлюентнымъ линиямъ, изображеннымъ въ фиг. 442 и 582.

Фиг. 443.



Фиг. 444.



Въ слѣдующей таблицѣ приведены напряженія, рассчитанныя Гезелеромъ для одной изъ внутреннихъ неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ двухпутнаго желѣзнодорожнаго моста черезъ Вислу въ Диршау, гдѣ разстояніе между фермами = 9,9 м., а пролетъ продольныхъ балокъ = 7 м.

	Родъ напряженія въ к./см. ² .	Растяженіе.	Сжатіе.
1	Основное отъ полной вертикальной нагрузки	625	646
2	Дополнительное отъ вертикальнаго прогиба фермъ	32	32
3	Дополнительное отъ вертикальнаго прогиба поперечн. балокъ	48	50
	Всего	705	728
4	Основное отъ полной вертикальной нагрузки въ предположеніи, что продольныя балки разрѣзныя	812	839
5	Дополнительное отъ горизонт. прогиба моста вслѣдствіе вѣтра	300	60

§ 53. Наивыгоднѣйшая высота продольныхъ балокъ.

Если мы не стѣснены въ выборѣ высоты продольныхъ балокъ, то слѣдуетъ принимать ее такъ, чтобы вѣсъ балокъ получался наименьшимъ. Если балка имѣетъ постоянное сѣченіе, что чаще всего бываетъ, то нетрудно рассчитать наивыгоднѣйшую высоту h ея стѣнки. Обозначимъ черезъ

- l — въ см. длину балки,
- δ — въ см. толщину ея стѣнки,
- R — въ к./см.² допускаемое напряженіе на изгибъ,
- g — въ к. вѣсъ куб. см. желѣза,
- M — въ к. см. наибольшій изгибающій моментъ балки,
- $M_1 = R \cdot W = R \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{4}{5} \cdot \delta \cdot h^2 = \frac{2}{15} R \cdot \delta \cdot h^2$ въ к. см. ту часть момента M , которая воспринимается стѣнкою балки, между тѣмъ какъ поясамъ передается моментъ $M - M_1$.

Приблизительный вѣсъ всей продольной балки въ кил.:

$$G = \underbrace{g \cdot l \cdot \delta \cdot h}_{\text{вѣсъ стѣнки}} + \underbrace{2 \cdot g \cdot l \cdot \frac{M - M_1}{0,85 \cdot h \cdot R}}_{\text{вѣсъ поясовъ}}$$

Подставляя значеніе $M_1 = \frac{2}{15} R \cdot \delta \cdot h^2$, получимъ

$$G = 0,69 \cdot g \cdot l \cdot \delta \cdot h + \frac{2,35 \cdot M \cdot g \cdot l}{R \cdot h}$$

Наименьшее значеніе G получаемъ изъ условія

$$\frac{dG}{dh} = 0 = 0,69 \cdot g \cdot l \cdot \delta - \frac{2,35 \cdot M \cdot g \cdot l}{R \cdot h^2}$$

откуда наивыгоднѣйшая высота

$$h = 1,85 \sqrt{\frac{M}{R \cdot \delta}} \dots \dots \dots (101)$$

Въ слѣдующей таблицѣ приведены значенія h , рассчитанныя по этой фор-

мулъ и соответствующія разнымъ пролетамъ продольныхъ балокъ желѣзнодорожныхъ мостовъ, принимая ихъ нагрузку въ видѣ нормального пятиоснаго паровоза, допускаемое напряженіе $R = 750$ к./см.² и толщину стѣнки $\delta = 1$ см. Для расчета момента M пользуемся формулами, приведенными въ таблицѣ на стр. 357 и пренебрегаемъ вліяніемъ постоянной нагрузки.

l пролетъ прод. балки мет.	Невыгоднѣйшее число колесъ.	max M въ т. . м.	max $\frac{M}{R \cdot \delta}$ см. ²	h наивыгод. высота балки см.
2	1	5,0	666	48
3	2	8,4	1125	62
4	3	15,0	2000	83
5	3	22,5	3000	101
6	4	30,9	4120	118
7	5	42,5	5670	139
8	5	55,0	7340	158
9	5	67,5	9000	176

Интересно то, что вѣсъ балки мѣняется очень слабо при измѣненіи высоты балки около ея наивыгоднѣйшаго предѣла h . Ниже доказано, что относительному измѣненію высоты на $\frac{dh}{h}$ соответствуетъ относительное измѣненіе вѣса на $\frac{1}{2} \left(\frac{dh}{h} \right)^2$, т. е. что при измѣненіи высоты на $\frac{1}{10}$, или на 10%, вѣсъ измѣняется приблизительно на $\frac{1}{2} \left(\frac{1}{10} \right)^2 = \frac{1}{200} = \frac{1}{2}\%$, а при измѣненіи высоты на $\frac{1}{5}$ или на 20%, вѣсъ измѣняется на $\frac{1}{2} \left(\frac{1}{5} \right)^2 = \frac{1}{50} = 2\%$.

Вліяніе измѣненія высоты балки на ея вѣсъ Найденное выше выраженіе для вѣса балки $G = 0,69 \cdot g \cdot l \cdot \delta \cdot h + \frac{2,35 \cdot M \cdot g \cdot l}{R \cdot h}$ можно написать сокращеннымъ образомъ такъ

$$G = \alpha \cdot h + \frac{\beta}{h} \dots \dots \dots (102)$$

Если увеличить высоту на $\Delta\%$, т. е. до $(1 + \Delta) h$, то получимъ вѣсъ

$$G + dG = \alpha (1 + \Delta) h + \frac{\beta}{(1 + \Delta) h} \dots \dots \dots (103)$$

Вычитая уравненіе (102) изъ (103), получимъ приращеніе вѣса

$$dG = \alpha \cdot h (1 + \Delta - 1) + \frac{\beta}{h} \left(\frac{1}{1 + \Delta} - 1 \right) = \alpha \cdot h \cdot \Delta - \frac{\beta}{h} \cdot \frac{\Delta}{1 + \Delta} \dots \dots (104)$$

Изъ вышеприведеннаго уравненія $\frac{dG}{d h} = 0$ слѣдуетъ, что

$$0,69 \cdot g \cdot l \cdot \delta \cdot h = \frac{2,35 \cdot M \cdot g \cdot l}{R \cdot h}, \text{ т. е. что } \alpha \cdot h = \frac{\beta}{h} = \frac{1}{2} G.$$

Подставляя это въ уравненіе (104), получаемъ ,

$$dG = \frac{G \cdot \Delta}{2} - \frac{G}{2} \cdot \frac{\Delta}{1 + \Delta} = \frac{G}{2} \cdot \frac{\Delta^2}{1 + \Delta} \approx \frac{G}{2} \cdot \Delta^2.$$

Слѣдовательно, относительное измѣненіе вѣса

$$\frac{dG}{G} \approx \frac{\Delta^2}{2}$$

Итакъ, при относительномъ измѣненіи высоты на $\Delta = \frac{d h}{h} = \frac{1}{10}$ относительное измѣненіе вѣса составляетъ приблизительно

$$\frac{\Delta^2}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{d h}{h} \right)^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{10} \right)^2.$$

Поэтому можно отклоняться отъ теоретически наивыгоднѣйшей высоты на 20% и болѣе, если требуется по конструктивнымъ соображеніямъ.

Высота, опредѣляемая по формулѣ 101 представляетъ только теоретически наивыгоднѣйшую высоту. Дѣйствительный вѣсъ балки есть произведеніе ея теоретическаго вѣса на строительный коэффициентъ, который имѣетъ тѣмъ большую величину, чѣмъ выше балка⁴⁾. Это объясняется тѣмъ, что съ увеличеніемъ высоты балки уменьшается ея жесткость, вслѣдствіе чего требуется относительно болѣе частое размѣщеніе уголковъ жесткости и необходимо придать имъ болѣе солидные размѣры. Кромѣ того, увеличивается вѣсъ поперечныхъ связей между балками и площадь балки, подвергающаяся дѣйствію вѣтра. На этомъ основаніи наивыгоднѣйшую высоту большихъ балокъ можно считать меньше теоретической высоты h , разсчитанной по формулѣ 101.

§ 54. Вѣсь продольныхъ балокъ.

Съ собственнымъ вѣсомъ продольной балки поступаютъ при ея разсчетѣ двояко. 1) Дѣлаютъ предварительный разсчетъ, пренебрегая собственнымъ вѣсомъ балки, подбираютъ ея сѣченіе и, опредѣливъ по сѣченію вѣсъ балки, вводятъ его въ разсчетъ напряженій. Въ виду того, что напряженіе балки отъ ея собственнаго вѣса составляетъ только 2 до 5% отъ полнаго напряженія, первоначально подобранное сѣченіе остается чаще всего безъ измѣненія. Для опредѣленія дѣйствительнаго вѣса балки на основаніи подобранаго для нея сѣченія, можно пользоваться строительными коэффициентами, приведенными въ предположеніи столбцѣ таблицы на стр. 373.

2) Собственный вѣсъ балки вводятъ въ разсчетъ съ самаго начала, и подобравъ ея сѣченіе, повѣряютъ достаточно ли точно принять вѣсъ балки. Для предварительнаго опредѣленія вѣса балки можно пользоваться или эмпирическою формулою, или таблицей на стр. 373, руководствуясь цифрами 5 го столбца.

А. Вѣсь продольныхъ балокъ желѣзнодорожныхъ мостовъ. Для опредѣленія вѣса продольныхъ балокъ желѣзнодорожныхъ мостовъ съ двумя продольными балками для cadaго пути, можно пользоваться слѣдующею эмпирическою формулою Гезелера

$$g = 20 + \left[11 + \frac{13730}{\sigma} (0,3 + 0,85 \cdot P) \right] l \dots \dots (105)$$

причемъ высота балки принята $= \frac{1}{6}$ ея пролета и обозначаетъ

g — въ к. на п. м. вѣсъ одной продольной балки,
 l — въ м. пролетъ продольной балки,

⁴⁾ Изъ таблицы на стр. 373 видно, что строительные коэффициенты μ замѣтно растутъ съ увеличеніемъ высоты h продольныхъ балокъ

для высоты	$h = l : 10,4$.	коэффициентъ	$\mu = 1,20$.
для высоты	$h = l : 5,9$.	"	$\mu = 1,55$.

σ —въ тон. на м² допускаемое напряженіе литого желѣза,

P —въ тон. давленіе колеса.

Подставляя, согласно дѣйствующимъ нормамъ М. П. С., $P = 10$ тон. и $\sigma = 7500 \frac{\text{т.}}{\text{м.}^2}$ получаемъ

$$g = 20 + 27 \cdot l \dots \dots \dots (106).$$

Для нашихъ условій эта формула не совсѣмъ пригодна, такъ какъ она даетъ результаты приблизительно на 18% меньше дѣйствительнаго вѣса продольныхъ балокъ нашихъ желѣзнодорожныхъ мостовъ.

Опредѣленіе вѣса по таблицѣ. Для болѣе точнаго опредѣленія вѣса желѣзнодорожныхъ продольныхъ балокъ можетъ служить слѣдующая таблица, содержащая данныя о вѣсѣ, составѣ сѣченія и размѣрахъ балокъ для цѣлаго ряда однопутныхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ, спроектированныхъ по поѣзду М. П. С. 1896 г. Помимо нагрузки и допускаемаго напряженія, вѣсъ балокъ зависитъ отъ длины панели, т. е. отъ пролета балокъ и, кромѣ того, отъ относительной высоты балокъ; поэтому эти данныя также помѣщены въ таблицѣ. Въ 6 и 7 столбцахъ таблицы помѣщены $\max M$ и $\max Q$ ⁵⁾, вызванные полною нагрузкою.

Полный вѣсъ обѣихъ балокъ въ кил. на пог. мет. моста равенъ суммѣ вѣса ихъ необходимыхъ и дополнительныхъ частей (за исключеніемъ перилъ).

Вѣсъ необходимыхъ частей обозначаетъ вѣсъ частей, опредѣленныхъ расчетомъ, т. е. 1) поясныхъ уголковъ, 2) стѣнки безъ уголковъ жесткости и 3) горизонтальныхъ листовъ. Этотъ вѣсъ рассчитанъ на основаніи исчисленія вѣса, исходя изъ дѣйствительной длины отдѣльныхъ частей.

Вѣсъ дополнительныхъ частей полученъ изъ подробнаго исчисленія вѣса и составляется изъ вѣса уголковъ для жесткости стѣнки, изъ уголковъ для прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ поперечнымъ, изъ горизонт. и вертик. связей между продольными балками, изъ частей для прикрѣпленія подрельсныхъ поперечинъ къ балкамъ и изъ заклепочныхъ головокъ въ размѣрѣ $3\frac{1}{2}\%$. Для предварительнаго опредѣленія полнаго погоннаго вѣса, удобнѣе всего пользоваться строительными коэффициентами μ , помѣщенными въ предпоследнемъ столбцѣ таблицы и представляющими отношеніе полнаго погоннаго вѣса балки къ ея теоретическому погонному вѣсу, который равенъ суммѣ погонныхъ вѣсовъ стѣнки, поясныхъ уголковъ и горизонтальныхъ листовъ, входящихъ въ составъ сѣченія и принимаемыхъ brutto. Теоретическій вѣсъ опредѣляется въ предположеніи, что сѣченіе балки постоянно, и что длина всѣхъ составныхъ частей сѣченія равна длинѣ панели. При отсутствіи горизонтальныхъ листовъ, или продолженіи ихъ до конца балокъ, теоретическій вѣсъ почти не отличается отъ вѣса необходимыхъ частей; при обрывѣ горизонтальныхъ листовъ, не доходя до концовъ балки, теоретическій вѣсъ получается больше вѣса необходимыхъ частей.

Итакъ, для опредѣленія полнаго погоннаго вѣса балокъ поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Послѣ того, какъ подобрано сѣченіе балки, суммируютъ погонный вѣсъ всѣхъ составныхъ частей сѣченія и полученный такимъ образомъ теоретическій вѣсъ множатъ на строительный коэффициентъ μ , подбираемый изъ предпоследняго столбца таблицы.

⁵⁾ Въ значеніяхъ $\max M$ и $\max Q$ наблюдается нѣкоторая непоследовательность, происходящая отъ вліянія постоянной нагрузки, которая колеблется, вслѣдствіе введенія неодинаковаго удѣльнаго вѣса дерева поперечинъ и настила.

Въсь и сѣченія сплошныхъ продольныхъ балокъ однопутныхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ, проектированныхъ по нагрузкѣ М. П. С. 1896 г.

А. При допускаемомъ напряженіи на изгибъ около 650 к./см.².

l Длина панели фермъ или пролет. балки мет.	Шир- на мо- ста между осями фермъ. мет.	Въсь обѣихъ прод. ба- локъ на пог. мет. мо- ста въ кил.			Для одной бал- ки отъ полной нагрузки.		Составъ сѣченія продольной балки. м. м.	$\frac{h}{l}$ отнош. высоты стѣн. къ прод.	Теоре- тичesk. въсь обѣихъ балокъ на пог. мет.мо- ста въ кил.	μ строи- тель- ный коэф- фици- ентъ.	Дѣйств. норм. на- п- ряж. к./см. ² .
		Необхо- димыхъ частей.	Допол- нитель- ныхъ частей.	Пол- ный.	max M. к. м.	max Q. кил.					
3,34	5,39	189	61	250	9567	14361	в. л. 440 . 10 4 ∠ 120 . 80 . 10	1:7,6	189	1,32	627
3,45	2,74 ¹⁾	190	76	266	10320	14800	в. л. 510 . 11 4 ∠ 90 . 90 . 10	1:6,77	195	1,36	642
3,8	5,4	196	82	278	12335	14803	в. л. 640 . 10 4 ∠ 80 . 80 . 10	1:5,9	196	1,42	631
4,17	5,63	200	102	302	14710	16430	в. л. 710 . 10 4 ∠ 75 . 75 . 10	1:5,9	200	1,51	645
4,57	5,48	229	113	342	17790	18509	в. л. 810 . 10 4 ∠ 90 . 75 . 10	1:5,7	230	1,49	640
4,76	5,60	228	122	350	18162	18800	в. л. 790 . 10 4 ∠ 80 . 80 . 11	1:6,0	228	1,54	645
4,87	5,58	233	122	355	19030	19051	в. л. 810 . 10 4 ∠ 90 . 90 . 10	1:6,0	234	1,52	650
5,49	5,79	256	128	384	23550	20460	в. л. 870 . 10 4 ∠ 120 . 80 . 10	1:6,3	257	1,49	631
6,25	4,25 ¹⁾	340	106	446	30181	22112	в. л. 600 . 10 4 ∠ 120 . 80 . 10 4 г. л. 250 . 10	1:10,4	371	1,20	651
7,0	6,0	333	117	450	36478	23372	в. л. 950 . 10 4 ∠ 90 . 90 . 11 2 г. л. 210 . 10	1:7,4	333	1,35	663
7,2	6,8	350	135	485	38180	23675	в. л. 950 . 10 4 ∠ 100 . 100 . 11 2 г. л. 220 . 10	1:7,6	350	1,39	640
7,8	6,0	366	114	480	42996	24341	в. л. 1020 . 10 4 ∠ 90 . 90 . 11 2 г. л. 260 . 11	1:7,7	368	1,30	649
10	5,5	470	165	639	64017	27650	в. л. 1100 . 10 4 ∠ 140 . 140 . 12 2 г. л. 300 . 10	1:9,1	470	1,36	637

В. При допускаемомъ напряженіи на изгибъ около 675 к./см.².

3,68	5,33	194	61	255	11620	14800	в. л. 510 . 10 4 ∠ 90 . 90 . 11	1:7,3	197	1,29	665
4,57	5,49	216	114	330	17580	18400	в. л. 810 . 10 4 ∠ 75 . 75 . 10	1:5,6	216	1,53	683
4,8	5,59	222	122	344	18460	18890	в. л. 810 . 10 4 ∠ 80 . 80 . 10	1:5,9	222	1,55	672
6,66	5,79	330	125	455	35290	23200	в. л. 910 . 10 4 ∠ 75 . 75 . 10 4 г. л. 200 . 10	1:7,6	357	1,28	670
7,92	6,09	339	131	470	43300	24450	в. л. 970 . 10 4 ∠ 90 . 90 . 10 4 г. л. 190 . 10	1:8,2	379	1,24	675
8,0	5,5	420	126	546	44976	24727	в. л. 800 . 10 4 ∠ 140 . 140 . 12 2 г. л. 290 . 10	1:10	420	1,30	675

¹⁾ Мостъ съ ъздомъ по верху.

В. Вѣсь продольныхъ балокъ мостовъ подѣ обыкновенную дорогу.

Формулы Винклера:

$$\text{при очень тяжелыхъ грузахъ} \quad g = 16,7 (1 + 0,24 \cdot c) (1 + 0,47 \cdot l)$$

$$\text{при тяжелыхъ грузахъ} \quad g = 12,4 (1 + 0,35 \cdot c) (1 + 0,47 \cdot l)$$

$$\text{при легкихъ грузахъ} \quad g = 10,6 (1 + 0,33 \cdot c) (1 + 0,47 \cdot l)$$

причемъ g — вѣсь продольной балки въ кил. на пог. мет.,

c — въ мет. разстояніе между продольными балками,

l — въ мет. пролетъ продольной балки.

Формулы Гезелера, соотвѣтствующія случаю, когда проѣзжая часть имѣетъ желѣзный настилъ, покрытый щебеночною корою, и когда продольныя балки изъ литого желѣза расположены на взаимномъ разстояніи въ 1 метръ.

$$\text{При давленіи колеса въ 5 тон.} \quad g = 39 + 8 \cdot l$$

$$\text{" " " " 3 " } \quad g = 27 + 8 \cdot l$$

$$\text{" " " " 1,5 " } \quad g = 19 + 8 \cdot l$$

гдѣ g — вѣсь продольной балки въ кил. на пог. м., l — въ мет. ея пролетъ.

§ 55. Подборъ сѣченія и повѣрка напряженій продольныхъ балокъ.

Послѣ того, какъ расчитаны наибольшіе моментъ и поперечная сила продольной балки, переходятъ къ подбору сѣченія, которое при возможно меньшемъ вѣсѣ должно обладать возможно бѣльшимъ моментомъ инерціи. Этому условію удовлетворяетъ лучше всего двутавровое сѣченіе, которое въ большинствѣ случаевъ примѣняется для продольныхъ балокъ. Если нельзя подобрать балку изъ прокатного двутавроваго желѣза, то примѣняютъ балки, склепанныя изъ уголковъ и листовъ. Для подбора сѣченія продольныхъ балокъ желѣзнодорожныхъ мостовъ, можетъ служить пособіемъ таблица на стр. 373. Если обозначить черезъ

M въ к. см. наибольшій изгибающій моментъ балки,

J въ см.⁴ моментъ инерціи сѣченія относительно его горизон. нейтр. оси,

h въ см. полную высоту балки,

R въ к. на см.² допускаемое напряженіе, то основное уравненіе прочности,

$$\text{при повѣркѣ на изгибъ} \quad \frac{M \cdot h}{2 \cdot J} \leq R,$$

откуда необходимый моментъ инерціи балки высотой h . . . $J \geq \frac{M \cdot h}{2 \cdot R}$.

Сѣченіе, удовлетворяющее этому моменту инерціи, можно найти или непосредственнымъ подборомъ, или при помощи таблицъ моментовъ инерціи ⁶⁾.

Ослабленіе сѣченія заклепками. Расчетный моментъ инерціи J вычисляется для сѣченія балки, ослабленнаго заклепочными отверстиями, какъ въ обоихъ поясахъ, такъ и въ стѣнкѣ. Въ продольныхъ балкахъ примѣняютъ обыкновенно два діаметра заклепокъ, а именно $d = 20$ мм. для взаимнаго соединенія уголковъ и листовъ балки и $d = 22$ мм. для прикрѣпленія стѣнки продольныхъ балокъ къ поперечнымъ.

Поэтому въ опасномъ сѣченіи балки, повѣряемомъ на изгибъ, и находящемся около середины пролета, стѣнка можетъ быть ослаблена только заклепками

⁶⁾ Для русскаго нормальнаго сортамента составлены таблицы инж. Зубовымъ и болѣе краткія таблицы на стр. 255, 256 I тома.

$d = 20$ мм., а именно тѣми, которыми уголки жесткости приклепываются къ стѣнкѣ. Что же касается концевое сѣченія, повѣряемаго на скальваніе, то тамъ стѣнка ослабляется заклепками $d = 22$ мм. Въ отдѣльности для каждой составной части сѣченія слѣдуетъ принимать наиболѣе невыгодное ослабленіе; поэтому, если поясные уголки балки имѣютъ заклепочныя отверстія не только въ вертикальныхъ, но и въ горизонтальныхъ полкахъ, то считаютъ уголки ослабленными послѣдними дырами, такъ какъ онѣ болѣе удалены отъ нейтральной оси, чѣмъ дыры въ вертикальной полкѣ, и поэтому болѣе уменьшаютъ моментъ инерціи. Хотя дыры въ горизонтальныхъ листахъ и полкахъ уголковъ не находятся въ одномъ и томъ же вертикальномъ сѣченіи съ дырами въ стѣнкѣ, но принято вычитать одновременно тѣ и другія дыры на томъ основаніи, что въ промежуткѣ между вертикальными сѣченіями черезъ тѣ и другія дыры стѣнка ничѣмъ не соединена съ поясными уголками, такъ что не встрѣчается препятствій къ тому, чтобы стѣнка и уголки разрушились по опасному для каждого изъ нихъ сѣченію.

Уменьшеніе момента инерціи *brutto* вслѣдствіе ослабленія сѣченія заклепочными дырами составляетъ 12 до 17,5% отъ момента инерціи *brutto*.

Повѣрка нормальныхъ напряженій. Наибольшее нормальное напряженіе n въ опасномъ сѣченіи балки, соотвѣтствующемъ наибольшему изгибающему моменту, повѣряется по формулѣ $n = \frac{M \cdot e}{J} <$ допускаемаго напряженія R ⁷⁾ не болѣе, чѣмъ на 2 — 3% ⁸⁾, гдѣ e — въ см. разстояніе наиболѣе удаленнаго крайняго волокна до горизонтальной нейтральной оси.

Повѣрка касательныхъ напряженій t производится для нейтральнаго волокна въ мѣстѣ прикрѣпленія продольной балки къ поперечной по извѣстной

формулѣ $t = \frac{Q \cdot S}{J \cdot \delta \cdot \frac{a-d}{a}} <$ допускаемаго напряженія на скальваніе.

Значенія статическаго момента S и момента инерціи J рассчитываются или для сѣченія изъ стѣнки съ поясными уголками, или для одной стѣнки, смотря по способу прикрѣпленія продольной балки къ поперечной.

1) Если верхніе уголки продольной балки прикрѣплены при помощи рыбки а нижніе уголки приклепаны или непосредственно къ пояснымъ уголкамъ поперечной балки, или къ кронштейну, поддерживающему продольную балку, то въ площадь, сопротивляющуюся скальванію, можно включать уголки и тогда статическій моментъ S относительно нейтральной оси берется для половины стѣнки и двухъ уголковъ, а моментъ инерціи J — для всей стѣнки и 4-хъ уголковъ.

2) Если верхніе уголки продольной балки прикрѣплены при помощи рыбки, а нижніе уголки приклепаны къ вертикальнымъ уголкамъ съ примѣненіемъ высадки, то лучше не вводитъ въ расчетъ поясныхъ уголковъ, считая, что скальвается только стѣнка и верхняя рыбка. Тогда статическій моментъ S берется

⁷⁾ Допускаемое напряженіе слѣдовало бы назначать въ зависимости отъ пролета, высоты и ширины балки, согласно съ повѣркою ея устойчивости (см. § 56).

⁸⁾ Такъ какъ ширину листовъ принимаютъ только въ цѣлыхъ сантиметрахъ, а размѣры уголковъ опредѣлены сортаментомъ, то, вообще говоря, подборъ сѣченія безъ всякаго запаса невозможенъ и слѣдуетъ останавливаться на томъ сѣченіи, при которомъ запасъ получается наименьшимъ и во всякомъ случаѣ не болѣе 2 до 3%.

только для нижней части стѣнки, а моментъ инерціи J — для всей стѣнки и верхней рыбки.

3) Если верхніе и нижніе уголки приклепаны только къ вертикальнымъ уголкамъ, хотя бы съ примѣненіемъ высадки, то лучше вовсе не вводить въ расчетъ уголковъ, считая, что скалыванію сопротивляется только стѣнка. Тогда общая формула принимаетъ слѣдующій простой видъ, соотвѣтствующій прямоугольному сѣченію стѣнки

$$t = \frac{3}{2} \frac{Q}{h \cdot \delta \cdot \frac{a-d}{a}}, \text{ гдѣ } h \text{ — высота стѣнки. При повѣркѣ по}$$

этой формулѣ, толщина стѣнки въ 10 мм. можетъ оказаться недостаточною. Чтобы не увеличивать толщины стѣнки на всемъ ея протяженіи, что значительно увеличило бы вѣсъ балки, лучше усиливать концы стѣнки, наклепывая на нихъ накладку, которую продолжаютъ на длину полунакладки поясныхъ уголковъ, такъ чтобы можно было считать уголки работающими и примѣнять общую формулу

$$t = \frac{Q \cdot S}{J \cdot \delta \cdot \frac{a-d}{a}}.$$

Примѣчаніе. При I и II способѣ прикрѣпленія расчетъ напряженія t по общей формулѣ довольно сложенъ. Поэтому рекомендуется попробовать сперва простой расчетъ, допуская, что скалывается только стѣнка. Если получающееся при этомъ касательное напряженіе не превышаетъ допускаемаго, то можно ограничиться этой простой повѣркой; въ противномъ случаѣ приходится вести болѣе строгій расчетъ по общей формулѣ.

Повѣрку косыхъ напряженій въ продольныхъ балкахъ можно производить во всемъ согласно изложенному на стр. 234 до 237 I тома.

Допускаемые напряжения. Продольныя балки проѣзжей части находятся въ неблагоприятныхъ условіяхъ потому, что онѣ подвержены непосредственному дѣйствию ударовъ подвижной нагрузки. Это обстоятельство принимаютъ во вниманіе двояко:

1) Путемъ пониженія допускаемаго напряженія, смотря по устройству полотна проѣзжей части. По правиламъ Прусскихъ каз. ж. д. допускается для балокъ изъ литого желѣза: 700 к/см.², если рельсы уложены на продольныхъ балкахъ непосредственно, или съ примѣненіемъ желѣзныхъ подкладокъ; 750 к/см.², если путь уложенъ на подрельсовыхъ поперечинахъ и 800 к/см.², если путь уложенъ на балластномъ слоѣ.

2) Путемъ увеличенія статической нагрузки, пользуясь ударнымъ коэффициентомъ, на который помножаютъ или давленіе колесъ, или моментъ отъ временной нагрузки. Ударный коэффициентъ имѣетъ разныя значенія: въ Америкѣ 1,3; въ Швейцаріи $1 + 0,02(15 - l)$, гдѣ l — въ м. пролетъ балки; въ техническихъ условіяхъ Петербургской городской управы ударный коэффициентъ опредѣляется по формулѣ американскаго типа $1 + \frac{75}{100 + l}$, гдѣ l — длина въ метрахъ той части балки, которая загружена временною нагрузкою для полученія расчетнаго усилія отъ временной нагрузки.

Расчетъ шага заклепокъ для прикрѣпленія поясныхъ уголковъ къ стѣнкѣ рассчитывается согласно изложенному въ § 76, а также на стр. 263 I тома. Если одинъ или оба пояса балки криволинейные, то можно вести расчетъ согласно § 75 и § 76.

§ 56. Повѣрка устойчивости двутавровыхъ балокъ.

Для того, чтобы двутавровыя балки обладали при небольшомъ вѣсѣ большою жесткостью, онѣ должны имѣть значительную высоту. По конструктивнымъ соображеніямъ приходится дѣлать ширину поясовъ сравнительно небольшою, вслѣдствіе чего жесткость балокъ въ поперечномъ направленіи можетъ оказаться настолько малою, что онѣ будутъ неустойчивы даже при дѣйствии силъ въ плоскости наибольшаго сопротивленія балки и могутъ искривиться въ поперечномъ направленіи подъ вліяніемъ малѣйшаго толчка. Вопросъ о величинѣ нагрузки, при которой это искривленіе можетъ начаться, рѣшенъ проф. С. П. Тимошенко ¹⁾ для случая 1) балки съ однимъ задѣланнымъ и съ другимъ свободнымъ концомъ, 2) для балки, свободно лежащей на двухъ опорахъ съ грузомъ по серединѣ, и 3) для балки, изгибаемой парами силъ. Наибольшій практической интересъ представляетъ изслѣдованіе балки, свободно лежащей на двухъ опорахъ и находящейся подъ дѣйствиемъ груза P , приложеннаго къ верхнему поясу по серединѣ пролета, а потому сообщимъ результаты этого изслѣдованія.

Значеніе критическаго изгибающаго момента, при которомъ балка начинаетъ искривляться въ поперечномъ направленіи, опредѣляется формулою

$$M_{kp} = \frac{k \cdot \sqrt{E \cdot J_2 \cdot c}}{l} \dots \dots \dots (107)$$

- гдѣ k — коэффициентъ, зависящій отъ размѣровъ балки, отъ нагрузки и отъ устройства опоръ,
- l — въ см. пролетъ балки,
- E — въ к./см.² коэффициентъ упругости матеріала,
- J_1 — въ см.⁴ моментъ инерціи сѣченія относительно горизонтальной нейтральной оси,
- J_2 — въ см.⁴ моментъ инерціи относительно вертикальной нейтральной оси,
- $c = \frac{G \cdot \omega^4}{40 \cdot J_p}$ — коэффициентъ жесткости балки при крученіи, причѣмъ
- G въ к./см.² — модуль при сдвигѣ,
- ω въ см.² — площадь сѣченія балки,
- $J_p = J_1 + J_2$ въ см.⁴ — полярный моментъ инерціи.

Изъ формулы 107 видно, что критическая величина изгибающаго момента не зависитъ отъ жесткости $E \cdot J_1$ балки въ плоскости дѣйствія силы, а лишь отъ жесткости $E \cdot J_2$ въ поперечномъ направленіи и отъ жесткости c балки при крученіи. Если обозначить черезъ h въ см. высоту балки, то наибольшее критическое напряженіе σ_{kp} , соответствующее критическому значенію момента, будетъ

$$\sigma_{kp} = \frac{M_{kp} \cdot h}{2 \cdot J_1} = \frac{k \sqrt{E \cdot J_2 \cdot c}}{2 \cdot J_1} \cdot \frac{h}{l} \dots \dots \dots (108)$$

Введемъ еще слѣдующее обозначеніе

$$\frac{4c}{E \cdot J_2} \cdot \frac{l^2}{h^2} = a^2 \dots \dots \dots (109)$$

Соответствующее этой формулѣ значеніе c подставимъ въ формулу 108, тогда

$$\sigma_{kp} = \frac{k \cdot a \cdot E}{4} \cdot \frac{J_2}{J_1} \cdot \left(\frac{h}{l}\right)^2 \dots \dots \dots (110)$$

Въ слѣдующей таблицѣ даны значенія для σ_{kp} , соответствующія разнымъ значеніямъ a^2 отъ 0,4 до 128.

¹⁾ С. П. Тимошенко. Объ устойчивости двутавровой балки. См. Извѣстія Петерб. Полит. Инстит. 1906 г., а также II часть его курса сопротивленія матеріаловъ.

a^2	0,4	4	8	12	16	24	32	40	48	64	96	128
$\sigma_{кр}$ въ к./см. ²	405	505	600	690	770	920	1050	1170	1280	1485	1840	2135

Значенія $\sigma_{кр}$ этой таблицы разсчитаны для частнаго случая, когда $\frac{J_2}{J_1} = \frac{1}{100}$ и $\left(\frac{h}{l}\right)^2 = \frac{1}{100}$.

Разсчитавъ a^2 по заданнымъ размѣрамъ балки, можно путемъ интерполяціи найти изъ таблицы соотвѣтствующее ему значеніе критическаго напряженія $\sigma_{кр}$;

но эти напряженія разсчитаны для частнаго случая, когда $\frac{J_2}{J_1} = \frac{1}{100}$ и $\left(\frac{h}{l}\right)^2 =$

$= \frac{1}{100}$. Если разсматриваемой балкѣ соотвѣтствуютъ другія отношенія, напримѣръ

$\frac{J_2}{J_1} = \frac{1}{m}$ и $\left(\frac{h}{l}\right)^2 = \frac{1}{n}$, то для полученія искомой величины $\sigma_{кр}$ придется числа

таблицы помножить на $\frac{100 \cdot 100}{m \cdot n}$. Опредѣленное такимъ образомъ критическое

напряженіе $\sigma_{кр}$ въ к./см.² можно разсматривать какъ временное сопротивленіе балки, такъ что при четверномъ запасѣ прочности допускаемое напряженіе будетъ $\frac{1}{4} \sigma_{кр}$. Это слѣдуетъ понимать такъ, что наибольшее нормальное напряженіе, вызванное дѣйствительнымъ изгибающимъ моментомъ M и разсчитанное по

основной формулѣ изгиба $\frac{M \cdot h}{2 \cdot J_1}$, не должно превышать $\frac{1}{4} \sigma_{кр}$. Нетрудно убѣ-

диться, что величина $\sigma_{кр}$ зависитъ главнымъ образомъ отъ J_2 , а потому отъ ширины поясовъ балки. Чѣмъ больше эта ширина, тѣмъ устойчивѣе балка и тѣмъ больше получаются допускаемыя напряженія. Задаваясь недостаточною шириною балки, получаемъ весьма низкое допускаемое напряженіе и вслѣдствіе этого чрезмѣрно тяжелую балку. Вотъ почему повѣрку балки на устойчивость можно разсматривать какъ способъ для опредѣленія правильной ширины поясовъ.

Примѣръ. Клепаная двутавровая балка пролетомъ $l = 325$ см. составлена изъ вертикальнаго листа $70 \cdot 0,8$ см. и 4 уголковъ. Повѣримъ устойчивость балки въ двухъ предположеніяхъ, принимая ширину ея поясовъ сперва въ 148 мм., а затѣмъ въ 208 мм. Въ I случаѣ поясъ балки составленъ изъ уголковъ $7 \cdot 7 \cdot 0,8$ см., а во II случаѣ изъ уголковъ $10 \cdot 6,5 \cdot 0,8$ см.

I случай

Пояса изъ уголковъ $7 \cdot 7 \cdot 0,8$ см.

$$\omega = 98,2 \text{ см.}^2,$$

$$J_1 = 59100 \text{ см.}^4,$$

$$J_2 = 446 \text{ см.}^4,$$

$$J_p = 59500 \text{ см.}^4,$$

$$c = \frac{800000 \cdot 98,2^4}{40 \cdot 59500} = 31180000$$

$$a^2 = \frac{4 \cdot 31180000 \cdot 325^2}{2000000 \cdot 446 \cdot 70^2} = 3$$

$$\sigma_{кр} \text{ (изъ таблицы)} = 480 \text{ к./см.}^2$$

$$\sigma_{кр} = 480 \cdot \frac{100 \cdot 446 \cdot 70^2 \cdot 100}{59100 \cdot 325^2} = 1670 \text{ к./см.}^2$$

$$\text{Допускаемое напряженіе} = \frac{1}{4} \sigma_{кр} = 420 \text{ к./см.}^2$$

Если увеличить толщину стѣнки съ 8 до 10 мм., то допускаемое напряженіе получается даже меньше, а именно **365** к./см.²

II случай

Пояса изъ уголковъ $10 \cdot 6,5 \cdot 0,8$ см.

$$\omega = 106,6 \text{ см.}^2$$

$$J_1 = 71100 \text{ см.}^4$$

$$J_2 = 1200 \text{ см.}^4$$

$$J_p = 72300 \text{ см.}^4$$

$$c = \frac{800000 \cdot 106,6^4}{40 \cdot 72300} = 35600000$$

$$a^2 = \frac{4 \cdot 35600000 \cdot 325^2}{2000000 \cdot 1200 \cdot 70^2} = 1,3$$

$$\sigma_{кр} \text{ (изъ таблицы)} = 430 \text{ к./см.}^2$$

$$\sigma_{кр} = 430 \cdot \frac{100 \cdot 1200 \cdot 70^2 \cdot 100}{71100 \cdot 325^2} =$$

$$= 3370 \text{ к./см.}^2.$$

Допускаемое напряженіе

$$= \frac{1}{4} \sigma_{кр} = 845 \text{ к./см.}^2$$

Если рассчитанное допускаемое напряжение $\frac{1}{4} \sigma_{кр}$ слишкомъ мало и желательно его повысить, то это достигается или уширеніемъ поясовъ балки, или уменьшеніемъ ея свободной длины, устраивая между балками продольныя или лучше поперечныя связи, которыя въ значительной мѣрѣ увеличиваютъ устойчивость балокъ.

Для выбора подходящей ширины поясовъ можетъ служить слѣдующая таблица, содержащая для разныхъ высотъ и пролетовъ балокъ такія значенія ширины поясовъ, при которыхъ допускаемое напряженіе, соотвѣтствующее повѣркѣ на устойчивость, получается не меньше 750 к./см.², т. е. того напряженія на изгибъ, которое допускается для балокъ проѣзжей части по нормамъ Мин. Пут. Сообщ.

<i>h</i> высота балки въ см.	40		70		100		130		160		
<i>l</i> свободная длина балки въ м.	3,5	4,5	2,9	4,0	2,5	3,6	3,3	6,0	2,5	2,9	5,7
<i>b</i> необходим. ширина поясовъ въ см. . .	16	19	19	25	19	25	25	40	21	25	40
Отношеніе $\frac{l}{b}$	22	24	15	16	13	14	13	15	12	12	14

Примѣчаніе. Толщина всѣхъ листовъ и уголковъ принята въ 1 см. При ширинѣ пояса въ 40 см. предположено сѣченіе балки съ однимъ горизонтальнымъ листомъ сверху и снизу. Въ остальныхъ случаяхъ сѣченіе балки предположено только изъ стѣнки и 4-хъ уголковъ. Таблица относится къ тому случаю, когда балка изгибается силою, приложенною по серединѣ пролета. При равномерномъ распредѣленіи нагрузки балка будетъ устойчивѣе.

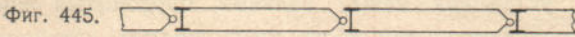
Значенія для свободной длины *l*, помѣщенные въ таблицѣ, даютъ нѣкоторыя указанія относительно разстоянія, на которомъ слѣдуетъ помѣщать связи между балками.

§ 57. Расчетъ заклепокъ для прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ поперечнымъ.

Расчетъ заклепокъ для жесткаго прикрѣпленія разрывныхъ продольныхъ балокъ къ поперечнымъ ведется различно, смотря по тому, оказываютъ ли поперечныя балки большое или малое сопротивленіе крученію. Это зависитъ отъ способа прикрѣпленія продольныхъ балокъ. Если концы продольныхъ балокъ, примыкающіе къ поперечной балкѣ справа и слѣва, прикрѣплены къ ней жесткимъ образомъ, причемъ получаются какъ бы неразрывныя продольныя балки, то сопротивление этихъ балокъ придаетъ поперечнымъ балкамъ значительную жесткость на крученіе и приходится рассчитывать заклепки не только на опорное давленіе, но и на изгибающій моментъ. Если же продольныя балки прикрѣплены жесткимъ образомъ только съ одной стороны поперечной балки, или если продольныя балки имѣютъ шарнирное прикрѣпленіе съ одной или съ обѣихъ сторонъ, то поперечная балка оказываетъ лишь незначительное сопротивленіе крученію и приходится рассчитывать заклепки только на опорное давленіе продольной балки.

А) Расчетъ заклепокъ только по опорному давленію. Заклепки, прикрѣпляющія продольную балку къ поперечной, рассчитываются только на опорное давленіе въ тѣхъ случаяхъ, 1) когда каждая продольная балка прикрѣплена къ

одной поперечной балкѣ жесткимъ, а къ другой—шарнирно-подвижнымъ образомъ, согласно фиг. 445, или 2) когда жестко закрѣпленныя обоими концами продоль-



ная балки чередуются съ балками, имѣющими на обоихъ концахъ шарниры, согласно фиг. 446. Во всѣхъ этихъ случаяхъ изгибающій моментъ, возникающій въ

мѣстахъ жесткаго прикрѣпленія продольныхъ балокъ, имѣетъ незначительную величину, потому что поперечныя балки оказываютъ лишь небольшое сопротивление крученію и можно разсчитывать заклепки только на опорное давленіе Q продольной балки.

Если прикрѣпленіе производится помощью двухъ вертикальныхъ уголковъ, обжимающихъ конецъ стѣнки продольной балки, то имѣются двусрѣзныя заклепки. Такъ какъ толщина δ стѣнки продольной балки всегда $< 2 \cdot \delta_2$, т. е. толщины полокъ обоихъ уголковъ, то необходимое число n_3 заклепокъ, діаметромъ d , разсчитывается на смятіе по формулѣ

$$n_3 = \frac{Q}{d \cdot \delta \cdot R_\delta} \quad \text{гдѣ } R_\delta = 2 R \text{ к./см.}^2 \text{—допускаемое напряженіе на смятіе.}$$

Если это число заклепокъ не помѣщается въ уголкахъ, то приходится утолщать стѣнку продольной балки, наклепывая на нее въ предѣлахъ между уголками накладки такой же толщины, какъ и поясные уголки. Такъ какъ толщина $2 \delta_2$ двухъ полокъ уголковъ всегда $<$ толщины стѣнки съ накладками, то, разсчитывая число n_3 заклепокъ на смятіе, имѣемъ

$$n_3 = \frac{Q}{d \cdot 2 \delta_2 \cdot R_\delta}$$

Кромѣ того, необходимо разсчитать число заклепокъ также на двойное срѣзываніе, такъ какъ число

$$n_2 = \frac{Q}{2 \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot R_t} \text{ можетъ получиться } > n_3.$$

$$R_t = 536 \text{ к./см.}^2 \text{—допускаемое напряженіе на срѣзываніе.}$$

В) Разсчетъ заклепокъ на совмѣстное дѣйствіе опорнаго давленія и изгибающаго момента. Какъ было указано на стр. 314, нельзя рекомендовать такого способа прикрѣпленія продольныхъ балокъ, при которомъ только ихъ стѣнка приклепывается къ вертикальнымъ уголкамъ поперечной балки. При разсчетѣ на изгибающій моментъ число заклепокъ въ стѣнкѣ получается настолько значительнымъ, что трудно ихъ размѣстить въ предѣлахъ высоты стѣнки продольной балки. Если же принимать только такое число заклепокъ, которое разсчитано по одному опорному давленію, то, въ виду недостаточности числа заклепокъ, онѣ быстро расшатываются (см. фиг. 326). Во избѣжаніе этого вреднаго явленія слѣдуетъ прикрѣплять не только стѣнку продольной балки, но и ея пояса при помощи горизонтальныхъ накладокъ (рыбокъ). Тогда заклепки, прикрѣпляющія стѣнку, можно разсчитывать на совмѣстное дѣйствіе всей поперечной силы и той части изгибающаго момента, которая приходится на стѣнку; что же касается заклепокъ, прикрѣпляющихъ пояса къ рыбкамъ, то онѣ разсчитываются только на ту часть изгибающаго момента, которая приходится на пояса.

а) **Расчетъ заклепокъ для прикрѣпленія стѣнки.** Разсматривая продольную балку какъ двухпролетную неразрѣзную балку, можно рассчитать ея опорный моментъ M и поперечную силу Q по инфлюентнымъ линиямъ, приведеннымъ въ фиг. 436 и 441. Ту часть момента M , которая приходится на стѣнку продольной балки и которую обозначимъ черезъ M_c , можно рассчитать по формулѣ $M_c = \frac{W_c}{W} \cdot M$, гдѣ W и W_c —моменты сопротивления всего сѣченія и одной только стѣнки.

Разсматривая одну изъ заклепокъ въ стѣнкѣ, можно допустить, что отъ изгибающаго момента M_c ей передается горизонтальная продольная сила N , а отъ поперечной силы Q вертикальная срѣзывающая сила T . Совмѣстное влiяніе на заклепку силъ N и T выразится въ видѣ ихъ равнодѣйствующей

$$P = \sqrt{N^2 + T^2}.$$

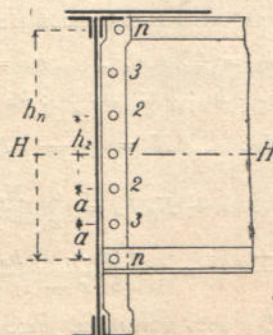
Усиліе N возрастаетъ по мѣрѣ удаленія заклепки отъ горизонтальной нейтральной оси сѣченія, имѣя наибольшую величину для послѣдней заклепки сверху или снизу. Что же касается усилія T , то оно измѣняется въ обратномъ направленіи, имѣя наибольшую величину для заклепокъ, ближайшихъ къ нейтральной оси; несмотря на это, по соображеніямъ, изложеннымъ на стр. 382, можно принять, что усиліе T имѣетъ для всѣхъ заклепокъ одинаковую величину. Въ невыгоднѣйшихъ условіяхъ находится крайняя верхняя или нижняя заклепка. Необходимое для прикрѣпленія стѣнки число заклепокъ будемъ опредѣлять изъ условія, чтобы усиліе P наиболѣе напряженной заклепки не превышало ея допускаемаго сопротивления на двойное срѣзываніе, или на смятіе. Ограничимся разсмотрѣніемъ наиболѣе употребительнаго случая, когда заклепки для прикрѣпленія стѣнки помѣщаются въ одномъ вертикальномъ ряду; при этомъ совершенно безразлично имѣется ли четное, или нечетное число заклепокъ, лишь бы онѣ были размѣщены симметрично относительно горизонтальной нейтральной оси продольной балки. Доказательство приведено дальше въ выноскѣ. Обозначимъ черезъ

- x — число (четное) заклепокъ, необходимыхъ для прикрѣпленія стѣнки,
 - a — въ см. шагъ заклепокъ вертикальнаго ряда,
 - h_1, h_2 — въ см. вертикальное разстояніе между заклепками 1 и 1; 2 и 2; . . .
 - h_n — въ см. вертик. разстояніе между крайними заклепками n и n ,
 - N_1, N_2, \dots, N_n въ к. горизонт. прод. силы, соответствующія заклепкамъ 1, 2 . . . n .
- Согласно фиг. 448 $h_1 = 1 \cdot a$; $h_2 = 3 \cdot a$; . . . $h_n = (x - 1) a$. (111)

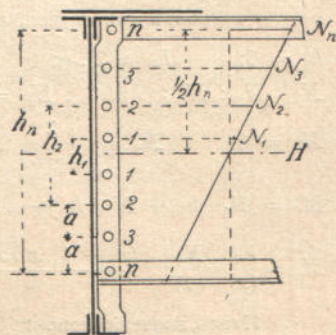
Допустимъ, что силы N для отдѣльныхъ заклепокъ измѣняются пропорціонально ихъ разстоянію до нейтральной оси, тогда

$$\begin{aligned} N_1 : N_2 : \dots : N_n &= h_1 : h_2 : \dots : h_n \\ &= 1 \cdot a : 3 \cdot a : \dots : (x - 1) a \\ &= 1 : 3 : 5 : \dots : (x - 1) \end{aligned}$$

Выражая всѣ силы N черезъ N_n , получимъ



Фиг. 447.



Фиг. 448

$$N_1 = \frac{1}{x-1} \cdot N_n; \quad N_2 = \frac{3}{x-1} \cdot N_n \dots \dots \dots (112)$$

Моментъ M_c вѣншихъ силъ долженъ уравниваться суммою моментовъ $N \cdot h$

$$M_c = N_1 \cdot h_1 + N_2 \cdot h_2 + \dots + N_n \cdot h_n$$

Подставляемъ значенія N и h изъ формулъ 111 и 112

$$M_c = \frac{1 \cdot a \cdot N_n}{x-1} + \frac{3 \cdot 3 \cdot a \cdot N_n}{x-1} + \dots + (x-1) \cdot a \cdot N_n$$

$$M_c = \frac{a \cdot N_n}{x-1} \left[1 + 3^2 + 5^2 + \dots + (x-1)^2 \right]$$

Подставляя $a = \frac{h_n}{x-1}$ и значеніе для суммы ряда квадратовъ нечетныхъ чисель, получаемъ

$$M_c = \frac{h_n \cdot N_n}{(x-1)^2} \cdot \frac{(x-1) x (x+1)}{6} = \frac{x(x+1) h_n}{6(x-1)} \cdot N_n^2$$

Откуда искомое усиліе послѣдней заклепки, вызванное моментомъ

$$N_n = \frac{6(x-1) \cdot M_c}{x(x+1) \cdot h_n}$$

Для употребительнаго числа x заклепокъ отъ 4 до 10 значеніе $\frac{x-1}{x+1} = 0,6$ до 0,82 или въ среднемъ 0,71. Подставляя это въ формулу для N_n , получаемъ горизонтальное продольное усиліе послѣдней заклепки

$$N_n = \frac{6 \cdot 0,71 \cdot M_c}{x \cdot h_n} = \frac{4,3 \cdot M_c}{x \cdot h_n} \dots \dots \dots (113)$$

Вертикальную срѣзывающую силу T рассчитываемъ по полному значенію поперечной силы Q , которую предполагаемъ распредѣленною равномерно между всѣми x заклепками въ виду того, что въ предѣлахъ высоты стѣнки касательныя силы мѣняются сравнительно мало. Поэтому вертикальная сила, приходящаяся на каждую заклепку,

$$T = \frac{Q}{x} = T_n$$

²⁾ Выводъ для случая, когда число x заклепокъ нечетное (согласно фиг. 447).

$$h_1 = 0; \quad h_2 = 2 \cdot a; \quad h_3 = 4 \cdot a \dots \dots h_n = (x-1) a$$

$$N_1 : N_2 : N_3 : \dots : N_n = 0 : h_2 : h_3 : \dots : h_n = 0 : 2 : 4 : \dots : (x-1)$$

$$N_1 = 0; \quad N_2 = \frac{2}{x-1} \cdot N_n; \quad N_3 = \frac{4}{x-1} \cdot N_n$$

$$M_c = N_1 \cdot h_1 + N_2 \cdot h_2 + \dots + N_n \cdot h_n = \frac{a \cdot N_n}{x-1} \left[2^2 + 4^2 + \dots + (x-1)^2 \right]$$

$$M_c = \frac{h_n \cdot N_n}{(x-1)^2} \cdot \frac{(x-1) x (x+1)}{6} = \frac{x(x+1) h_n}{6(x-1)} \cdot N_n$$

Итакъ, значеніе момента M_c и весь дальнѣйшій расчетъ совершенно одинаковы, независимо отъ того, поставлено ли четное или нечетное число x заклепокъ.

Имя для n -ой заклепки значенія силъ N_n и T_n , можно рассчитать ихъ равнодѣйствующую

$$P_n = \sqrt{N_n^2 + T_n^2} = \sqrt{\left(\frac{4,3 \cdot M_c}{x \cdot h_n}\right)^2 + \left(\frac{Q}{x}\right)^2}$$

Откуда искомое число заклепокъ въ каждомъ концѣ стѣнки

$$x = \frac{1}{P_n} \sqrt{\left(\frac{4,3 \cdot M_c}{h_n}\right)^2 + Q^2}$$

Значеніе P_x слѣдуетъ приравнять наименьшему изъ допускаемыхъ сопротивленій одной заклепки діаметромъ d или смятію ($= d \cdot \delta \cdot R_s$), или двойному срѣзыванію ($= \frac{2 \cdot \pi \cdot d^2}{4} \cdot R_t$).

Если найденное число x заклепокъ нельзя помѣстить въ одномъ вертикальномъ ряду, то можно или размѣстить ихъ въ двухъ вертикальныхъ рядахъ въ шахматномъ порядкѣ, увеличивая ширину вертикальныхъ уголковъ до 130 мм., или можно повысить сопротивленіе заклепокъ (по швейцарскому способу, описанному на стр. 311), располагая стѣнку балки въ притыкъ къ полкѣ одного изъ вертикальныхъ уголковъ и прикрѣпляя ее посредствомъ двухъ накладокъ (фиг. 336 и 337). При этомъ заклепки, прикрѣпляющія стѣнку балки къ вертикальнымъ уголкамъ, работаютъ на тройное срѣзываніе и на двойное смятіе.

3) Расчетъ заклепокъ для прикрѣпленія поясовъ къ рыбкамъ (фиг. 344, 345). Та часть изгибающаго момента M , которая приходится на пояса продольной балки въ мѣстѣ ея прикрѣпленія къ поперечной балкѣ, $= M - M_c$. Этотъ моментъ уравнивается парю силъ H съ плечомъ h , равнымъ высотѣ продольной балки, такъ что горизонтальное усиліе, стремящееся оторвать верхній поясъ каждой балки отъ рыбки,

$$H = \frac{M - M_c}{h}$$

Растягивающее напряженіе въ рыбкѣ съ рабочей площадью сѣченія ω_n повѣряется по формулѣ $\frac{H}{\omega_n} < 750$ к./см.². Число n односрѣзныхъ заклепокъ діаметромъ d , прикрѣпляющихъ уголки верхняго пояса къ рыбкѣ, опредѣляется по формулѣ $n = \frac{H}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot R_t}$, гдѣ $R_t = 536$ к./см.²—допускаемое напряженіе на срѣзываніе.

По этому же способу можно рассчитать заклепки, служащія для прикрѣпленія къ опорной поперечной балкѣ кронштейновъ для сопряженія съ устоями.

Глава VIII. Конструкція поперечныхъ балокъ.

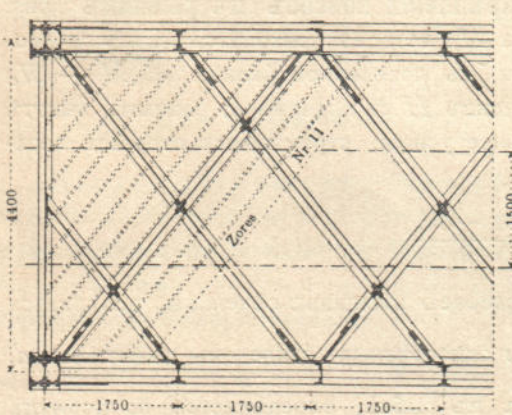
§ 58. Назначеніе поперечныхъ балокъ, ихъ расположеніе и правила для ихъ проектированія.

Поперечными балками называютъ тѣ расположенныя поперекъ моста балки, которыя поддерживаются фермами и черезъ которыя фермамъ передается вся нагрузка проѣзжей части. Это главное назначеніе поперечныхъ балокъ; но кромѣ того, ими пользуются какъ распорками продольныхъ и поперечныхъ связей между фермами.

По отношенію къ фермамъ моста, поперечныя балки могутъ имѣть разное положеніе, какъ въ планѣ, такъ и по высотѣ. Поперечныя балки могутъ размѣщаться или надъ верхнимъ поясомъ фермъ, или въ предѣлахъ высоты фермъ, или подъ нижнимъ поясомъ. Первый случай соответствуетъ мостамъ съ ѣздою по верху, а третій случай — мостамъ съ ѣздою по низу; между тѣмъ какъ второй случай встрѣчается въ мостахъ съ ѣздою по верху, по низу и по серединѣ.

Что касается положенія поперечныхъ балокъ по отношенію къ фермамъ въ планѣ, то эти балки обыкновенно располагаютъ перпендикулярно къ фермамъ. Даже въ косыхъ мостахъ стремятся сохранить такое положеніе, прибѣгая къ косымъ поперечнымъ балкамъ только по необходимости. Въ прямыхъ мостахъ косыя

Фиг. 449.



Жел.-дор. мостъ черезъ Эльбу въ Нидервартѣ.

поперечныя балки встрѣчаются очень рѣдко; намъ извѣстно только нѣсколько мостовъ въ Саксоніи, гдѣ поперечныя балки имѣютъ косое положеніе относительно фермъ (фиг. 449). Преимущество такой конструкціи состоитъ въ томъ, что можно обойтись безъ продольныхъ связей между фермами въ плоскости проѣзжей части. Зато усложняется конструкція въ мѣстахъ прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ фермамъ; кромѣ того пересѣченіе этихъ балокъ между собою усложняетъ ихъ сборку и вноситъ неопредѣленность въ распределеніе нагрузки между ними.

Разстояніе между поперечными балками обыкновенно равняется длинѣ панели фермъ и составляетъ отъ 3 до 8 м. Пролетъ поперечныхъ балокъ принимаютъ равнымъ разстоянію между осями поддерживающихъ ихъ фермъ, которое мѣняется въ очень широкихъ предѣлахъ, въ зависимости отъ ширины моста и расположенія ѣзды по верху или по низу.

Прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ къ фермамъ бываетъ жесткое или свободное. Преимущество свободного прикрѣпленія заключается въ томъ, что деформации фермъ, вызванныя нагрузкою и температурою, не оказываютъ вліянія на проѣзжую часть, и, наоборотъ, деформации проѣзжей части не вліяютъ на фермы. Въ соотвѣтствіи съ этимъ слѣдуетъ разсматривать пролетное строеніе моста какъ состоящее изъ двухъ основныхъ частей, представляющихъ

каждая одно самостоятельное и неизмѣняемое цѣлое, а именно: изъ главнаго строенія, состоящаго изъ фермъ и связей между ними, и изъ проѣзжей части, образующей жесткую самостоятельную систему, которая поддерживается главнымъ строеніемъ. На преимущества свободной проѣзжей части, имѣющія особенное значеніе въ большихъ мостахъ, въ послѣднее время обращено серіозное вниманіе, и практика уже выработала цѣлый рядъ образцовыхъ конструкцій, описанныхъ въ § 64 до 68. Преимущества и недостатки жесткаго и свободного прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ фермамъ будутъ рассмотрѣны въ § 64, но полезно теперь же установить слѣдующія правила.

Правила для проектированія балокъ проѣзжей части. 1) Въ случаѣ жесткаго прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ фермамъ, слѣдуетъ придавать этимъ балкамъ возможно бѣльшую высоту для того, чтобы увеличить ихъ жесткость и уменьшить изгибъ стоекъ изъ плоскости фермъ, вызываемый прогибомъ поперечныхъ балокъ.

2) Та же цѣль достигается устройствомъ прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ поперечнымъ, возможно болѣе жесткимъ, а еще лучше примѣненіемъ неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ. Это влечетъ за собою болѣе дѣйствительное распределеніе сосредоточенной нагрузки между смежными поперечными балками и уменьшеніе нагрузки, приходящейся на каждую поперечную балку, вслѣдствіе чего уменьшается прогибъ этихъ балокъ.

3) Въ большихъ мостахъ слѣдуетъ отдавать предпочтеніе свободной проѣзжей части, которая не только свободна отъ вышеуказанныхъ недостатковъ, но имѣетъ еще цѣлый рядъ преимуществъ, изложенныхъ въ § 64.

4) Для уменьшенія скручиванія поперечныхъ балокъ подъ дѣйствіемъ прогиба продольныхъ балокъ, слѣдуетъ дѣлать продольныя балки возможно жестче, что достигается, съ одной стороны, увеличеніемъ ихъ высоты, а съ другой стороны, увеличеніемъ жесткости ихъ прикрѣпленія къ поперечнымъ балкамъ.

5) Въ открытых мостахъ увеличеніе жесткости (высоты) поперечныхъ и продольныхъ балокъ (лучше всего неразрѣзныхъ) имѣетъ особенное значеніе, представляя наиболѣе дѣйствительное средство къ повышенію жесткости полурамъ, которыя необходимы для устойчивости свободного верхняго пояса фермъ.

6) Продольныя связи между фермами слѣдуетъ располагать возможно ближе къ проѣзжей части для того, чтобы уменьшить перегрузку балокъ проѣзжей части, а также фермъ, обусловленную эксцентрицитетомъ между плоскостью этихъ связей и давленіемъ вѣтра на временную нагрузку и на проѣзжую часть.

7) Для передачи силъ тормаженія на неподвижныя опоры, не слѣдуетъ пользоваться поперечными балками, заставляя ихъ работать на изгибъ въ горизонтальной плоскости, а слѣдуетъ устраивать особыя тормазныя связи.

§ 59. Типы поперечныхъ балокъ.

Можно различать разные типы поперечныхъ балокъ, смотря по устройству стѣнки и по очертанію ихъ поясовъ.

Стѣнка поперечныхъ балокъ бываетъ сплошною, сквозною и полусплошною. Чаще всего поперечныя балки исполняютъ въ видѣ клепаныхъ сплошныхъ балокъ, которыя отличаются простотою конструкціи. Стѣнка обыкновенно устраивается изъ цѣлаго вертикальнаго листа безъ стыковъ и въ

мѣстахъ дѣйствія на балку давленія продольныхъ балокъ, усиливается уголками жесткости. Прокатныя двутавровыя балки теперь примѣняются сравнительно рѣдко, такъ какъ онѣ выдерживаютъ лишь небольшую нагрузку и то только при маломъ разстояніи между фермами. Прокатныя балки невыгодны тѣмъ, что въ крупныхъ калибрахъ стѣнка имѣетъ большую толщину, вслѣдствіе чего матеріаль хуже использованъ, чѣмъ въ клепаныхъ балкахъ. Кромѣ того, вслѣдствіе внутреннихъ напряженій, вызванныхъ при прокаткѣ, приходится разсчитывать прокатныя балки по уменьшеннымъ допускаемымъ напряженіямъ, сравнительно съ клепаными балками.

Сквозныя поперечныя балки примѣняютъ преимущественно при наличности большой строительной высоты, когда желательно сдѣлать балки возможно выше и жестче. По вѣсу сквозныя балки легче сплошныхъ, но такъ какъ работа сквозныхъ балокъ обходится дороже, то примѣненіе сквозныхъ балокъ можетъ дать лишь небольшую экономію. Рѣшетка сквозныхъ балокъ устраивается или раскосной системы, или треугольной съ дополнительными стойками. Въ мостахъ съ ѣздой по верху и по срединѣ сквозныя поперечныя балки иногда комбинируютъ съ поперечными связями между фермами, причемъ получаютъ системы, показанныя въ фиг. 469 до 471.

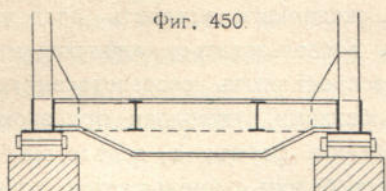
Полусплошными называютъ такія балки, концы которыхъ имѣютъ сплошную, а середина — сквозную стѣнку. Такія балки встрѣчаются въ однопутныхъ желѣзнодорожныхъ мостахъ, причемъ въ предѣлахъ между обѣими продольными балками, гдѣ поперечная сила = нулю, стѣнка поперечной балки устраивается сквозною. Помѣщаемые тамъ раскосы работаютъ только при перегрузкѣ одной изъ продольныхъ балокъ, вслѣдствіе колебаній паровоза, или если давленіе вѣтра на подвижной составъ приложено съ эксцентрицитетомъ относительно продольныхъ связей между фермами. Въ городскихъ мостахъ стѣнка поперечныхъ балокъ часто устраивается съ отверстиями для укладки вдоль моста водопроводныхъ и газовыхъ трубъ, электрическихъ кабелей и проч. Если поперечныя балки сквозныя, то можно пропустить эти принадлежности черезъ просвѣты между раскосами и стойками. При сплошныхъ поперечныхъ балкахъ устраиваютъ въ ихъ стѣнкѣ круглыя или овальныя отверстія, окаймленныя гнутымъ уголкомъ. Иногда удается помѣстить трубы и кабели подъ тротуарами снаружы фермъ.

Въ большинствѣ случаевъ поперечныя балки имѣютъ одиночную стѣнку, но встрѣчаются также двустѣнчатыя балки въ тѣхъ случаяхъ, когда стойки фермы, къ которымъ приклепываются поперечныя балки, имѣютъ трубчатое сѣченіе (фиг. 462); равнымъ образомъ въ старыхъ американскихъ мостахъ поперечныя балки часто дѣлались изъ спаренныхъ двутавровыхъ балокъ.

Очертаніе поясовъ поперечныхъ балокъ бываетъ или прямое, или криволинейное съ выпуклостью внизъ для нижняго пояса и вверхъ — для верхняго. Чаще всего устраиваютъ оба пояса прямыми, рѣже — одинъ поясъ прямымъ, а другой криволинейнымъ (фиг. 463), еще рѣже — оба пояса криволинейными (фиг. 543). Верхній поясъ устраиваютъ криволинейнымъ съ выпуклостью вверхъ въ мостахъ подъ обыкновенную дорогу, или въ желѣзнодорожныхъ мостахъ съ балластнымъ слоемъ, когда, для уменьшенія вѣса полотна, желаютъ сохранить толщину бетоннаго или балластнаго слоя одинаковою по всей ширинѣ моста (см. стр. 291), или когда желательно придать поперечный уклонъ нижнему желѣзному настилу полотна. При этомъ удобнѣе всего располагать стѣнку продольныхъ балокъ нормально къ очертанію верхняго пояса поперечной балки.

Нижній поясъ поперечныхъ балокъ получается криволинейнымъ или ломанымъ съ выпуклостью внизъ въ тѣхъ случаяхъ, когда скашиваютъ концы балокъ снизу, руководствуясь, главнымъ образомъ, соображеніями о прикрѣпленіи этихъ балокъ къ фермамъ. Въ мостахъ съ ѣздою по низу примѣненіе такихъ поперечныхъ балокъ можетъ быть вызвано желаніемъ понизить полотно моста, пользуясь для помѣщенія поперечныхъ балокъ высотой, занимаемую опорными частями фермъ и опуская низъ поперечныхъ балокъ до того же уровня, какъ верхъ подфер-

менныхъ камней (фиг. 450), который возвышается надъ горизонтомъ высокихъ водъ на 0,50 саж.



Фиг. 450.

Разумѣется, та-

кая конструкція имѣетъ смыслъ только въ тѣхъ случаяхъ, когда на рѣкѣ нѣтъ судоходства.

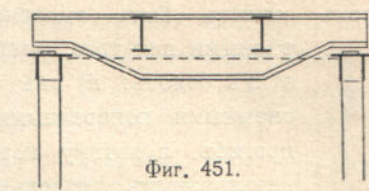
Высоту скошенныхъ концовъ поперечной балки слѣдуетъ назначать не менѣ высоты продольныхъ балокъ для того, чтобы діагонали горизонтальныхъ связей между фермами могли еще пройти подъ продольными балками. Это требованіе относится въ одинаковой степени къ мостамъ съ ѣздою по низу (фиг. 450) и по верху (фиг. 451). При скашиваніи концовъ поперечныхъ балокъ получается нѣкоторая экономія въ матеріалѣ, которая впрочемъ незначительна, такъ какъ нерѣдко приходится усиливать стѣнку по концамъ для того, чтобы получить достаточную прочность на скальваніе.

Преимущества скошенныхъ концовъ заключаются въ слѣдующемъ: 1) Вслѣдствіе расположенія опоръ балки близко отъ ея нейтральной оси, она при прогибѣ не распираетъ фермы, что имѣетъ мѣсто въ случаѣ установки балки на ея нижнемъ поясѣ, удлиняющемся при прогибѣ балки; 2) поперечная балка со скошенными концами болѣе устойчива, такъ какъ ея центръ тяжести находится ближе отъ ея опоръ.

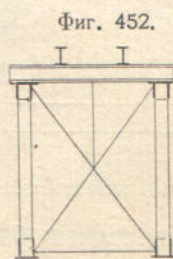
Нѣкоторыми конструктивными особенностями отличаются опорныя поперечныя балки, которыхъ поэтому посвященъ отдѣльный § 62.

Въ мостахъ съ ѣздою по верху и по серединѣ иногда пользуются поперечными связями между фермами для поддержанія середины поперечной балки (фиг. 452 и 453). Такія поперечныя балки работаютъ въ условіяхъ двухпролетной неразрѣзной балки съ упругою среднею опорю.

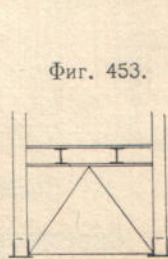
Если мостъ (преимущественно съ ѣздою по верху) имѣетъ болѣе двухъ фермъ, то поперечныя балки могутъ быть пропущены во всю ширину моста и устраиваются неразрѣзной или консольной системы. Предпочтеніе часто отдають консольной системѣ въ виду того, что неравномѣрный прогибъ фермъ не оказываетъ на нее вреднаго вліянія (см. § 61).



Фиг. 451.



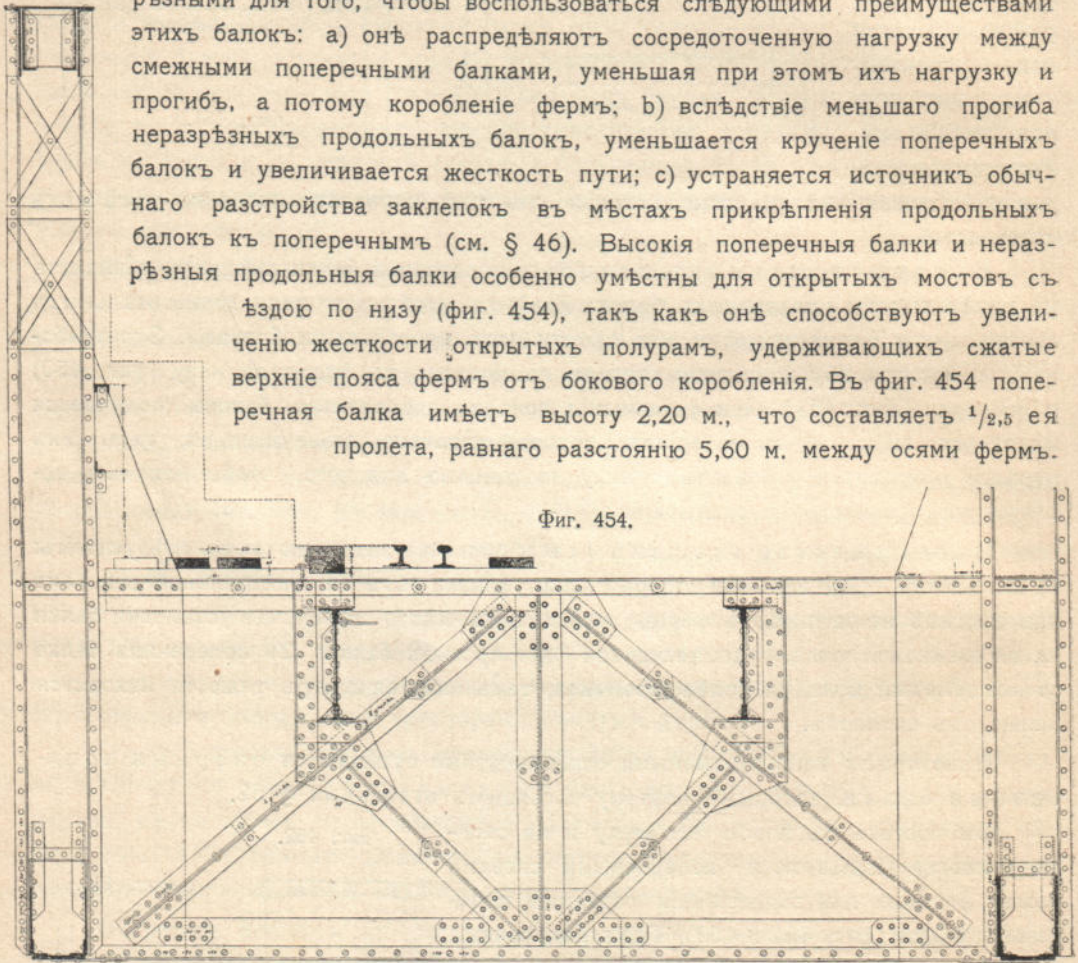
Фиг. 452.



Фиг. 453.

§ 60. Сквозныя поперечныя балки.

Сквозныя поперечныя балки примѣняются: 1) при очень большомъ разстояніи между фермами, когда высокія сплошныя балки получились бы чрезчуръ тяжелыми; 2) при желаніи увеличить высоту поперечныхъ балокъ и вмѣстѣ съ тѣмъ ихъ жесткость, имѣя въ виду, что увеличеніемъ высоты поперечныхъ балокъ можно лучше всего уменьшить, какъ прогибъ самихъ балокъ, такъ и вызываемое имъ коробленіе поясовъ фермъ; 3) наконецъ, примѣненіе сквозныхъ поперечныхъ балокъ можетъ быть вызвано желаніемъ устроить продольныя балки неразрѣзными для того, чтобы воспользоваться слѣдующими преимуществами этихъ балокъ: а) онѣ распредѣляютъ сосредоточенную нагрузку между смежными поперечными балками, уменьшая при этомъ ихъ нагрузку и прогибъ, а потому коробленіе фермъ; б) вслѣдствіе меньшаго прогиба неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ, уменьшается крученіе поперечныхъ балокъ и увеличивается жесткость пути; в) устраняется источникъ обычнаго разстройства заклепокъ въ мѣстахъ прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ поперечнымъ (см. § 46). Высокія поперечныя балки и неразрѣзныя продольныя балки особенно умѣстны для открытых мостовъ съ ѣздой по низу (фиг. 454), такъ какъ онѣ способствуютъ увеличенію жесткости открытых полурамъ, удерживающихъ сжатые верхніе пояса фермъ отъ бокового коробленія. Въ фиг. 454 поперечная балка имѣетъ высоту 2,20 м., что составляетъ $\frac{1}{2,5}$ ея пролета, равнаго разстоянію 5,60 м. между осями фермъ.



Поперечный разрѣзъ желѣзнодорожнаго моста прол. 30 мет. (проектъ).

Сквозныя поперечныя балки мостовъ съ ѣздой по низу. Для однопутныхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ шириною до 7 м. наиболѣе пригодны системы поперечныхъ балокъ, показанныя въ фиг. 455 до 458. Разница между первою и второю системою заключается только въ направленіи раскоса въ крайнихъ панеляхъ. Преимущество нисходящихъ раскосовъ, согласно фиг. 455 и 457, заключается въ томъ, что въ верхнихъ узлахъ поперечной балки, гдѣ прикрѣпляются продольныя балки, можно раздѣлить накладку въ плоскости поперечной балки на двѣ половины и устроить сквозною ту накладку, которая служитъ для прикрѣ-

пления продольныхъ балокъ къ поперечной, отчего увеличивается прочность этого прикрѣпленія. Съ другой стороны, устройство въ крайнихъ панеляхъ восходящаго раскоса имѣетъ то преимущество, что этимъ раскосомъ давление поперечной балки

Фиг. 455.

Фиг. 456.

Фиг. 457.

Фиг. 458.



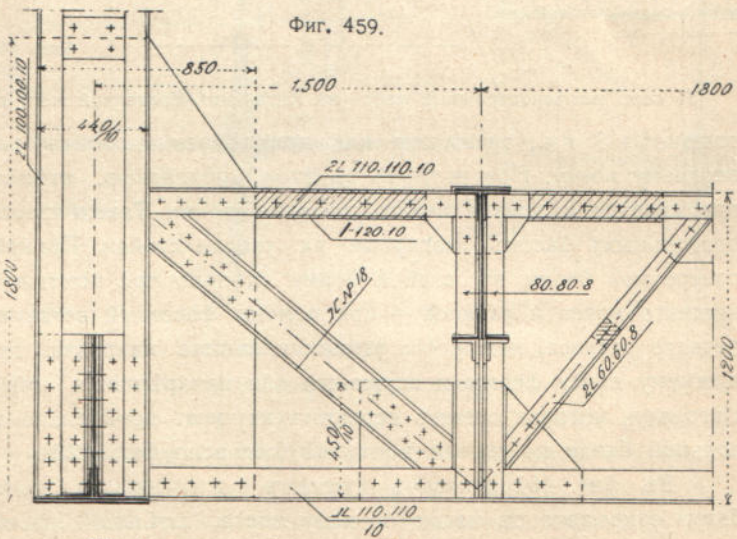
передается непосредственно въ узелъ фермы. Еще одна система изъ двухъ основныхъ раскосовъ и двухъ полураскосовъ, очень удобная для устройства неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ, показана въ фиг. 458, а детальная конструкция въ фиг. 454; прикрѣпленіе продольной балки показано детально въ фиг. 364. При очень широкихъ мостахъ подъ одинъ путь приходится добавлять еще пару раскосовъ, и получается схема, показанная въ фиг. 357. Чтобы упростить прикрѣпленіе сквозныхъ поперечныхъ балокъ къ фермамъ, иногда снабжаютъ концы этихъ балокъ сплошною стѣнкою (фиг. 459).

Въ мостахъ подъ обыкновенную дорогу полезно располагать верхній поясъ поперечныхъ балокъ параллельно выпуклой поверхности полотна; что же касается рѣшетки, то она устраивается раскосной или треугольной системы.

Сѣченіе поясовъ сквозныхъ поперечныхъ балокъ устраиваютъ изъ двухъ уголковъ, или изъ двухъ швеллеровъ, или изъ двухъ уголковъ съ вертикальнымъ листомъ. Раскосы и стойки дѣлаютъ преимущественно изъ уголковъ.

Разсмотримъ нѣсколько примѣровъ сквозныхъ поперечныхъ балокъ для мостовъ съ ъзду по низу.

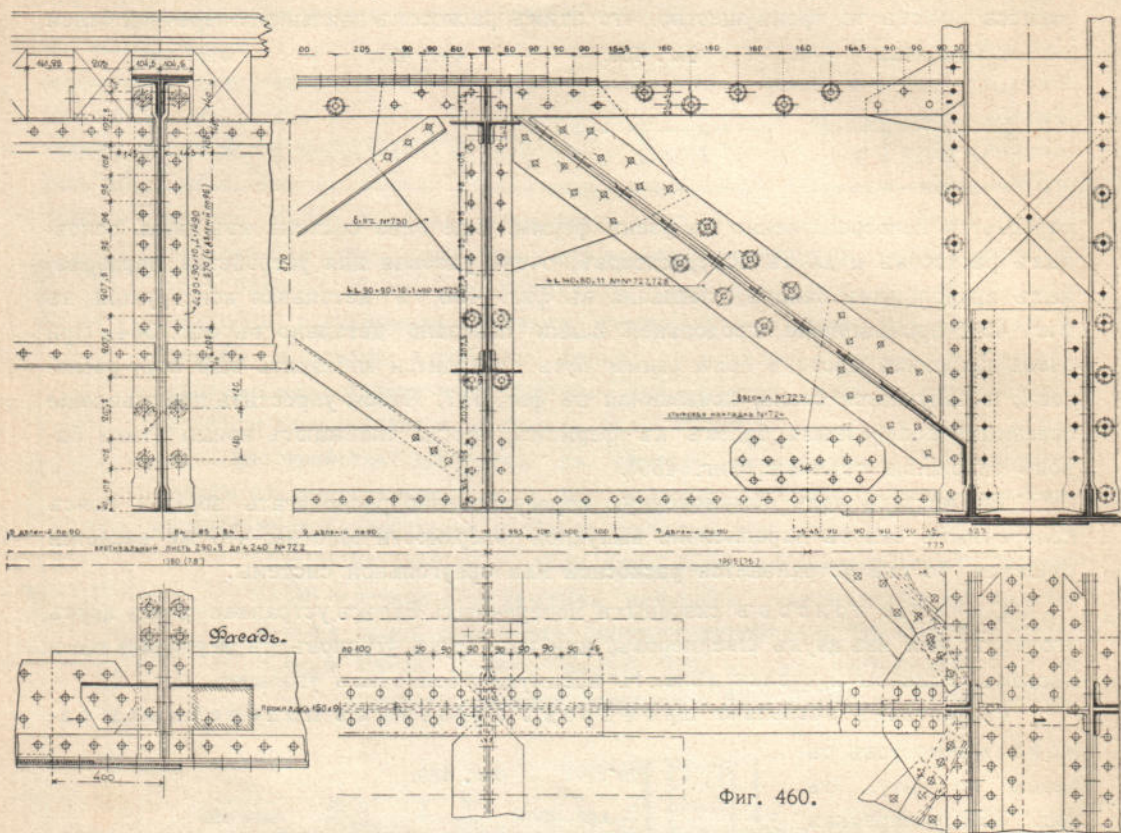
Въ фиг. 459 поперечная балка однопутнаго желѣзнодорожнаго моста устроена по типу фиг. 457 съ нисходящимъ раскосомъ въ каждой крайней панели. Прикрѣпленіе продольной балки въ поперечной сдѣлано весьма солидно при помощи фасонной вставки, заштрихованной въ фиг. 413 (§ 48), зажатой между уголками поперечной балки и снабженной на верху треугольнымъ вырѣзомъ для пропуска уголковъ верхняго пояса поперечной балки.



Желѣзнодорожный мостъ у Нейенга въ Швейцаріи.

Другой примѣръ одностѣнчатой сквозной балки по типу фиг. 456 показанъ въ фиг. 460. Верхній поясъ составленъ изъ 2 уголковъ 120 . 80 . 10 мм. и 2 горизонтальныхъ листовъ 200 . 10 и 11 мм. Нижній поясъ имѣетъ тавровое сѣченіе изъ вертикальнаго листа 290 . 9 мм. и 2 уголковъ 102 . 76 . 11 мм. Раскосъ крайнихъ панелей состоитъ изъ 4 уголковъ 140 . 80 . 11 мм. и каждая стойка

изъ 4 уголковъ 90 . 90 . 10 мм. Въ мѣстахъ прикрѣпленія продольныхъ балокъ узлы верхняго пояса поперечной балки снабжены большою фасонною прокладкою



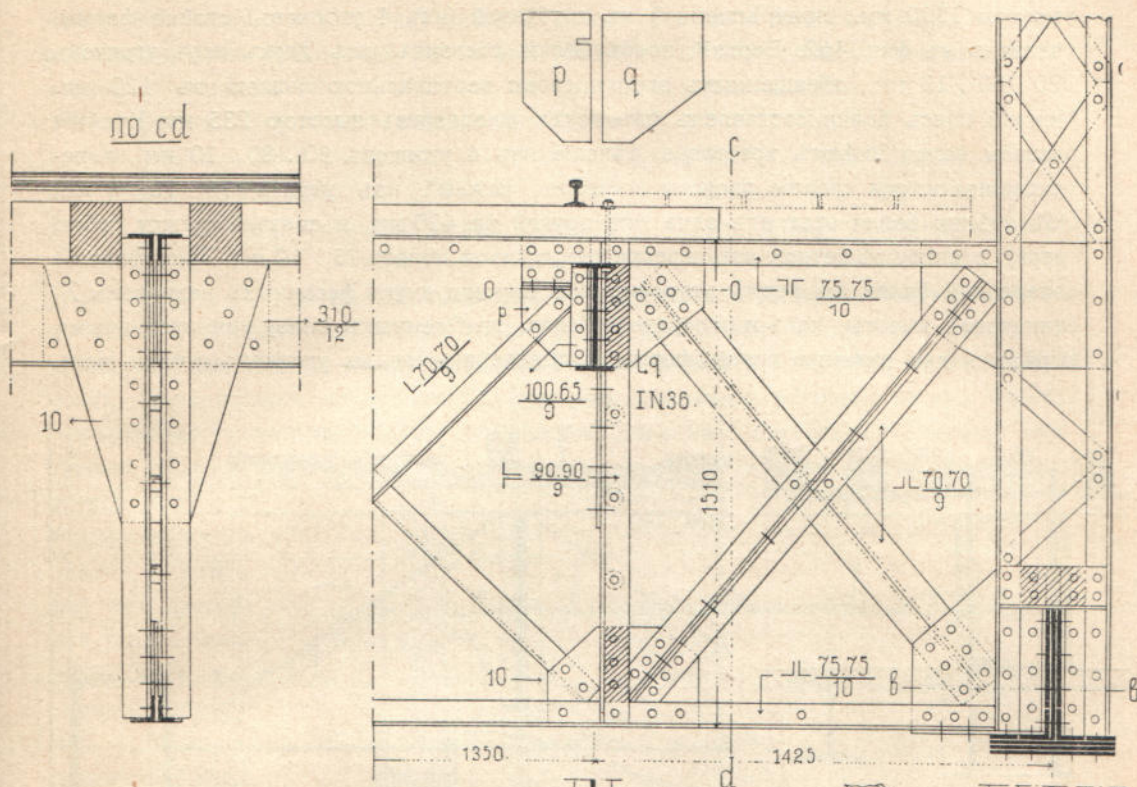
Фиг. 460.

35 саж. желѣзнодорожный мостъ на Китайской-Восточной жел. дор.

толщиною 9 мм., служащую для прикрѣпленія обоихъ раскосовъ и стойки къ верхнему поясу. При встрѣчѣ съ этою прокладкою, стѣнка продольныхъ балокъ прерывается и зажата между уголками стойки. Также прерываются поясные уголки продольныхъ балокъ, нагнутые на уголки стойки. Прикрѣпленіе верхняго пояса поперечной балки къ стойкѣ фермы сдѣлано при помощи фасонной прокладки, а нижняго пояса и раскоса — при помощи фасонной вставки. Въ нижнемъ концѣ перваго раскоса, между его уголками зажата накладка, приклепанная также къ нижнему поясу фермы и служащая для прикрѣпленія нижняго конца тормазной діагонали, которая своимъ верхнимъ концомъ приклепана къ верхнему поясу продольной балки по серединѣ панели (согласно фиг. 422).

Въ фиг. 461 показанъ примѣръ одностѣнчатой сквозной поперечной балки открытаго съ ѣздомъ по низу моста, имѣющей перекрестныя діагонали въ своихъ трехъ панеляхъ. Оба пояса балки составлены каждый изъ 2 уголковъ 75 . 75 . 10 мм., діагонали крайнихъ панелей—каждая изъ 2 уголковъ 70 . 70 . 9 мм., а діагональ средней панели — изъ уголка 70 . 70 . 9 мм. Стойки составлены каждая изъ 2 уголковъ 90 . 90 . 9 мм. Верхній поясъ и нисходящая діагональ поперечной балки прикрѣплены къ стойкѣ фермы при помощи фасонной прокладки, зажатой между 4 уголками стойки, которые расположены въ видѣ двутавра. Нижній поясъ и восходящая діагональ прикрѣплены къ нижнему поясу фермы при помощи вертикальной фасонной накладки, зажатой между двумя внутренними

уголками стойки и кромѣ того, приклепанной къ стѣнкѣ нижняго пояса при по-



Фиг. 461.

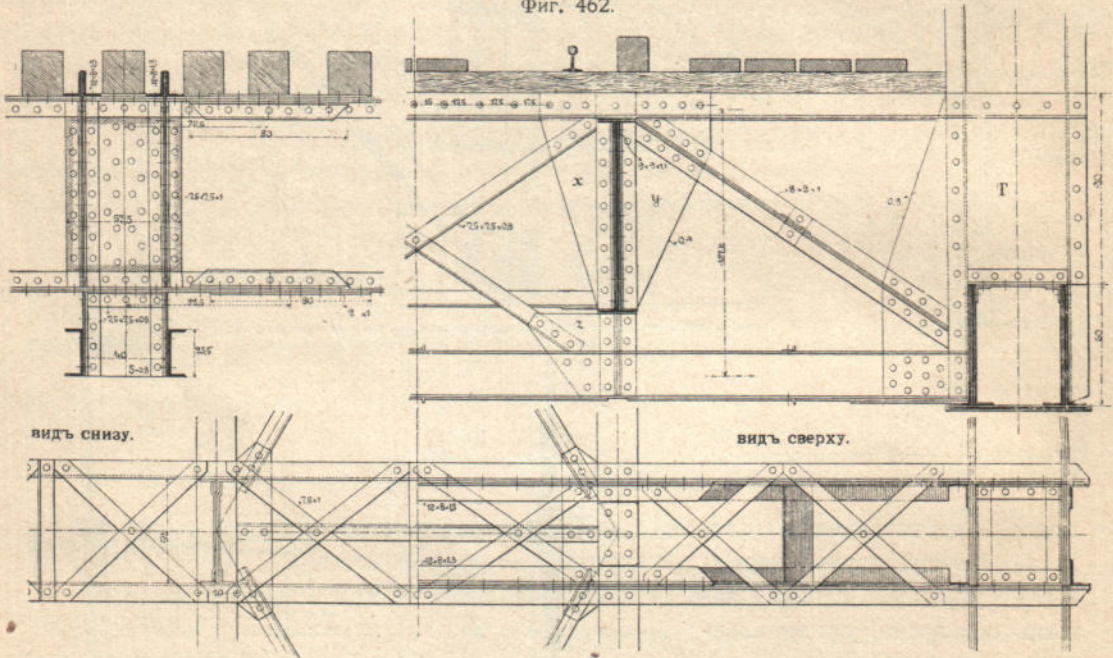
Железнодорожный мостъ черезъ Гленнеръ у Иланца въ Швейцаріи.

мощи 2 вертикальныхъ уголковъ. Между двумя наружными уголками стойки зажата прокладка, прикрѣпленная къ стѣнкѣ пояса двумя вертикальными уголками. Надъ стѣнкою пояса прокладка и накладка соединены между собою двумя неравнобокими горизонтальными уголками съ примѣненіемъ двухъ прокладокъ.

Неразрѣзная продольная балка изъ двутавроваго желѣза имѣетъ стыкъ по оси поперечной балки и прикрѣплена къ ея стойкѣ при помощи одной изъ стыковыхъ накладокъ, имѣющей трапециoidalное очертаніе (см. разрѣзъ по *cd*). Для пропуска этой накладки пришлось вырѣзать нижнюю горизонтальную полку продольной балки; съ той же стороны вырѣзана ея верхняя полка, чтобы пропустить уголки стойки поперечной балки. Другая накладка для перекрытія стыка продольной балки имѣетъ прямоугольное очертаніе и помѣщается между ея горизонтальными полками. Какъ видно изъ разрѣза по 0—0, къ этой накладкѣ, при помощи двухъ уголковъ 100 . 65 . 9 мм., прикрѣплена вертикальная накладка *p*, пропущенная между уголками верхняго пояса поперечной балки и служащая для прикрѣпленія средней діагонали поперечной балки, а также горизонтальныхъ связей между продольными балками.

Примѣръ двустѣнчатой или трубчатой сквозной поперечной балки, высоту 1500 мм., прикрѣпленной къ трубчатой (изъ 4 уголковъ) стойкѣ фермы, показанъ въ фиг. 462. Верхній поясъ балки состоитъ изъ двухъ паръ уголковъ 120 . 80 . 13 мм., обращенныхъ вверхъ своею вертикальною полкою въ 120 мм. Нижній поясъ балки составленъ изъ двухъ швеллеровъ высотой 235 мм. Крайніе раскосы балки имѣютъ крестовое сѣченіе изъ 4 уголковъ 80 . 80 . 10 мм., а перекрещивающіеся средніе раскосы состоятъ каждый изъ уголка 75 . 75 . 8 мм. Обѣ стѣнки балки отстоятъ одна отъ другой на 420 мм. и связаны между собою сверху и снизу рѣшеткою изъ перекрещивающихся полосъ 75 . 10 мм. Прикрѣпленіе поперечной балки къ фермѣ устроено при помощи двухъ фасонныхъ накладокъ *T*, одинаковой высоты, какъ и поперечная балка, снабженныхъ внизу прямоугольнымъ вырѣзомъ для нижняго пояса фермы и приклепанныхъ къ уголкамъ стойки. Надъ

Фиг. 462.



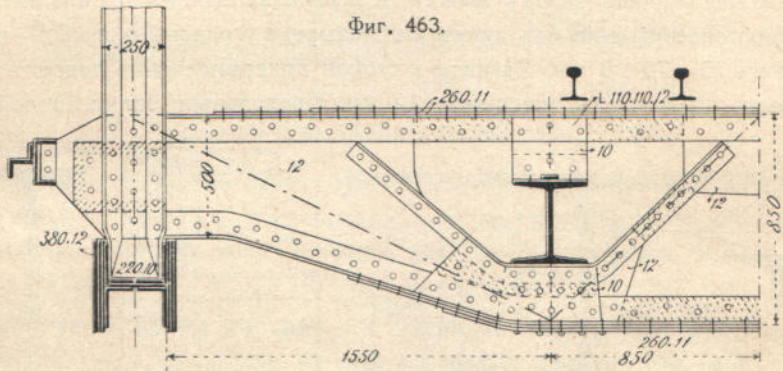
Жельзнодорожный мостъ черезъ Оку у Бѣлева, отверстіемъ 45 саж.

нижнимъ поясомъ фермы между накладками *T* имѣется прямоугольная горизонтальная діафрагма. Сплошныя двутавровыя продольныя балки устроены неразрѣзными и пропущены черезъ поперечныя балки полнымъ сѣченіемъ, причемъ стыкъ ихъ стѣнки устроенъ по оси поперечной балки и перекрытъ двумя заштрихованными накладками *a* шириною 575 мм., а стыки поясныхъ уголковъ продольной балки устроены на разстояніи 725 мм. отъ оси поперечной балки и перекрыты уголковыми накладками длиной 800 мм. Разсмотримъ теперь неподвижное прикрѣпленіе продольной балки къ поперечной. Своимъ нижнимъ поясомъ продольная балка опирается на стулъ *S* и приклепана къ нему. Стулъ состоитъ изъ вертикальнаго листа 400 . 8 мм. и двухъ горизонтальныхъ уголковъ 75 . 75 . 8 мм. При помощи четырехъ вертикальныхъ уголковъ 75 . 75 . 8 мм. и двухъ вертикальныхъ фасонныхъ накладокъ *x* этотъ стулъ приклепанъ къ швеллерамъ, образующимъ нижній поясъ поперечной балки. Отъ опрокидыванія продольная балка удерживается четырьмя фасонными накладками *x* и *y*, служащими одновременно узло-

выми накладками для прикрѣпленія раскосовъ поперечной балки къ ея верхнему поясу. Накладки *x* и *y* сверху зажаты между уголками верхняго пояса поперечной балки, а къ продольной балкѣ онѣ приклепаны при помощи восьми вертикальныхъ уголковъ 75 . 75 . 10 мм., по два на каждую накладку.

Примѣръ сквозной поперечной балки со скошенными снизу концами, снабженными сплошною стѣнкою, показанъ въ фиг. 463. Верхній и нижній поясъ балки высотой 850 мм. составлены каждый изъ двухъ уголковъ 110 . 110 . 12 мм., прокладки между ними 110 . 12 мм. и двухъ горизонтальныхъ листовъ 260 . 11 мм. Діагонали треугольной рѣшетки состоятъ каждая изъ двухъ уголковъ 75 . 75 . 12 мм. съ прокладкою между ними и прикрѣплены къ поясамъ помощью фасонныхъ прокладокъ толщиной 12 мм. Конецъ поперечной балки, высотой 500 мм. зажатъ между уголками стойки фермы и опирается на ея нижній поясъ. Прикрѣпленіе продольной балки къ поперечной устроено весьма просто. Неразрѣзная продольная балка изъ широко-полочнаго двутавроваго желѣза пропущена черезъ треугольный просвѣтъ между двумя первыми діагоналями поперечной балки и

опирается на ея нижній узелъ, для чего изогнутые уголки первыхъ двухъ диагоналей образуютъ горизонтальную площадку, а фасонная вставка этого узла усилена наклепкою на нее съ



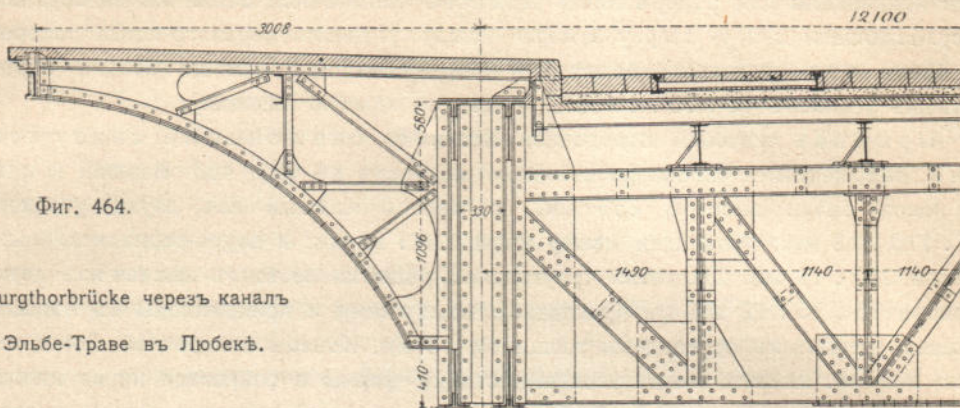
Фиг. 463.

Желѣзнодорожный мостъ черезъ Неккаръ у Гейдельберга. Продольный разрѣзъ къ этому чертежу помѣщенъ въ фиг. 369.

каждой стороны заштрихованной прокладкой толщиной 12 мм. и фасонной накладкой толщиной 10 мм. Къ этому узлу продольная балка приклепана четырьмя заклепками діаметромъ 20 мм., а отъ опрокидыванія она удерживается вертикальною прокладкою, зажатую между верхними уголками поперечной балки и приклепанною къ продольной балкѣ помощью горизонтальнаго уголка 100 . 65 . 11 мм. (см. прод. разрѣзъ на фиг. 369). Другіе примѣры сквозныхъ поперечныхъ балокъ со сплошными скошенными концами имѣются въ фиг. 363, а также на стр. 421 I тома (фиг. 530).

Разсмотримъ еще нѣсколько примѣровъ сквозныхъ поперечныхъ балокъ мостовъ подъ обыкновенную дорогу. Въ фиг. 464 показана сквозная поперечная балка пролетомъ 12,1 м. Верхній поясъ изъ двухъ швеллеровъ слѣдуетъ поперечному уклону мостовой и поддерживаетъ въ узлахъ продольныя балки изъ двутавроваго желѣза. Нижній поясъ изъ 2 уголковъ и горизонтальныхъ листовъ расположенъ горизонтально. Первые два раскоса составлены каждый изъ двухъ швеллеровъ, а остальные раскосы изъ уголковъ. Другой примѣръ сквозной поперечной балки, рѣшетка которой составлена изъ перекрестныхъ діагоналей, показанъ въ фиг. 153 на стр. 193.

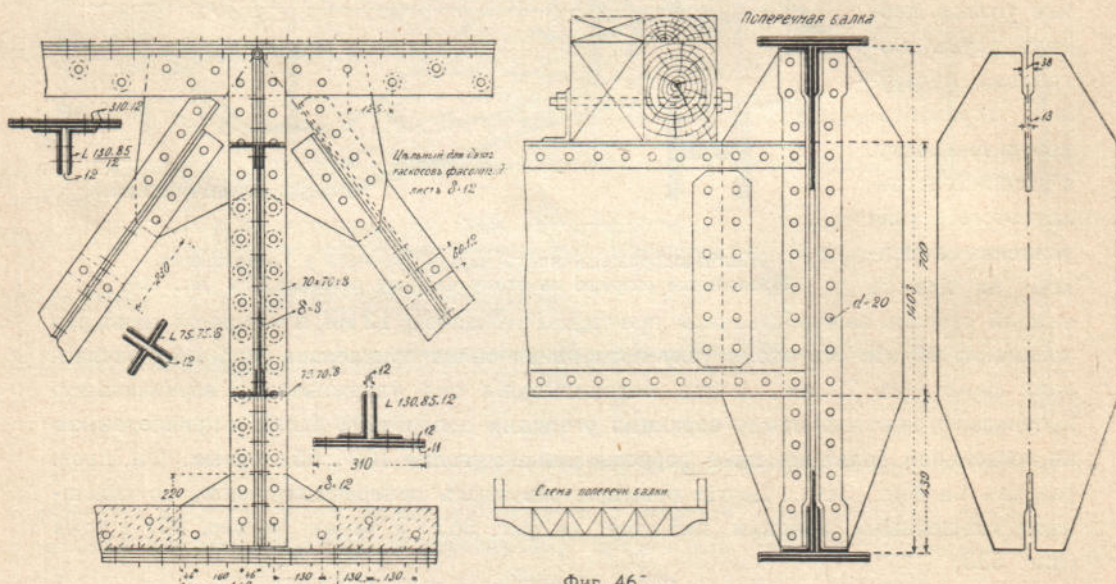
Въ фиг. 465 показанъ примѣръ одностѣнчатой сквозной поперечной балки съ треугольною рѣшеткою и со сплошными скошенными снизу концами



Фиг. 464.

Burghorbrücke черезъ каналъ
Эльбе-Траве въ Любекѣ.

(см. схему фиг. 465). Оба пояса балки имѣютъ тавровое сѣченіе изъ двухъ уголковъ 130 . 85 . 12 мм. и двухъ горизонтальныхъ листовъ шириною 310 мм. Въ нижнемъ поясѣ зазоръ между уголками заполненъ прокладкою. Раскосы имѣютъ крестовое сѣченіе изъ двухъ или четырехъ уголковъ, а стойки—изъ четырехъ уголковъ 70 . 70 . 8 мм. Раскосы и стойки прикрѣплены къ поясамъ при помощи фасонныхъ прокладокъ толщиною 12 мм. Продольныя балки, склепанныя изъ верти-



Фиг. 465.

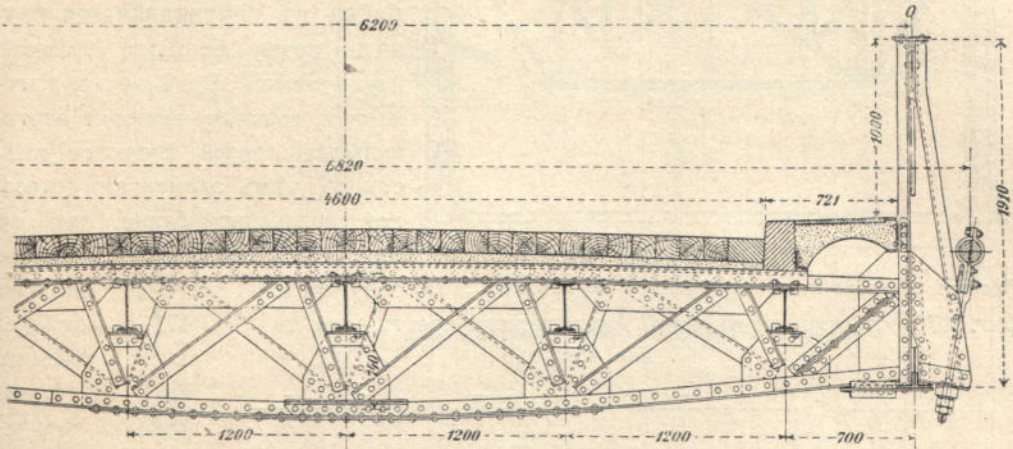
Шоссейный мостъ черезъ Русановскій протокъ у Кіева. Детальный чертежъ концовъ поперечной балки имѣется на фиг. 540.

кального листа и четырехъ уголковъ, прикрѣплены къ стойкамъ при помощи восьмиугольныхъ вставокъ, которая пропущены черезъ стойки поперечной балки и снабжены наверху и внизу вырѣзами для поясныхъ уголковъ и узловыхъ прокладокъ поперечной балки. Стѣнки продольныхъ балокъ приклепаны къ вставкамъ при помощи парныхъ стыковыхъ накладокъ. Концы поперечной балки имѣютъ сплошную стѣнку, скошены снизу и опираются на затяжку фермъ при помощи стальныхъ балансировъ съ шарниромъ (см. фиг. 540).

Примѣръ сквозной поперечной балки съ обоими криволинейными поясами показанъ въ фиг. 466. Нижний поясъ составленъ изъ двухъ уголковъ

и горизонтальнаго листа и снабженъ въ узлахъ фасонными прокладками, служащими, какъ для прикрѣпленія раскосовъ, такъ и опорой для неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ изъ двутавроваго желѣза. Верхній поясъ имѣетъ выпуклость кверху и состоитъ изъ двухъ уголковъ, обращенныхъ горизонтальною полкою

Фиг. 466.



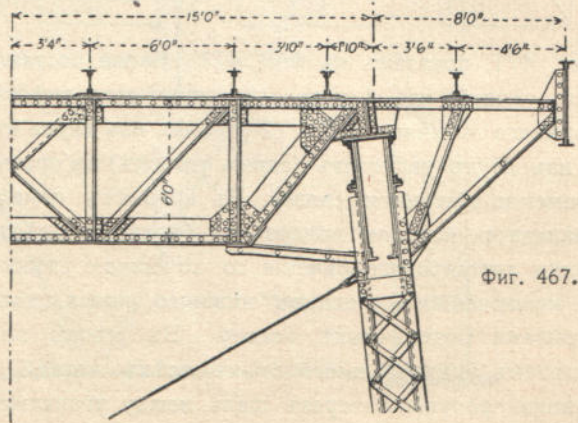
Шоссейный висячій мостъ черезъ Аргенъ у Ла-генаргена.

внизъ, и изъ вертикальнаго листа, который служитъ для прикрѣпленія раскосовъ и обрѣзается въ мѣстахъ встрѣчи съ продольными балками. На продольныхъ балкахъ уложенъ настилъ изъ желѣза Зоре, залитый бетономъ, служащимъ основаніемъ для деревянной мостовой.

Сквозныя поперечныя балки мостовъ съ ѣздою по верху могутъ представлять или самостоятельныя балки, или же онѣ образуютъ одну систему вмѣстѣ съ вертикальными связями между фермами.

Примѣръ самостоятельной сквозной балки двухпутнаго желѣзнодорожнаго моста показанъ въ фиг. 467. Въ предѣлахъ своихъ трехъ среднихъ панелей эта балка, высоту 1,8 м.

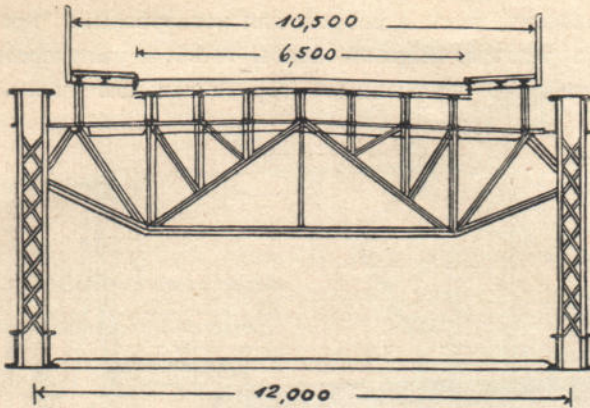
и пролетомъ 9,1 м., имѣетъ параллельные пояса тавроваго сѣченія, а въ концахъ нижній поясъ изогнуть вверхъ и соединяется непосредственно съ концомъ верхняго пояса для того, чтобы удобно было уложить поперечную балку на горизонтальныя верхніе пояса фермъ. Подъ каждою изъ продольныхъ балокъ поперечная балка снабжена стойкою. Другой примѣръ сквозной поперечной балки для однопутнаго желѣзнодорожнаго моста съ ѣздою по верху имѣется на стр. 266 (фиг. 258).



Двухпутный арочный мостъ черезъ Ниагару.

Въ фиг. 468 показанъ эскизъ поперечной балки съ рѣшеткою, составленною изъ основной треугольной системы и нѣсколькихъ треугольных шпренгелей. На

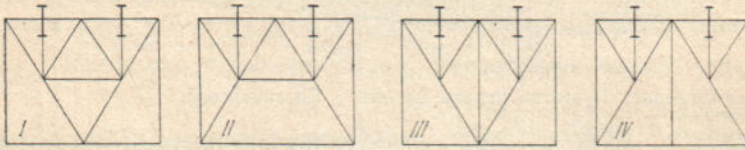
Фиг. 468.



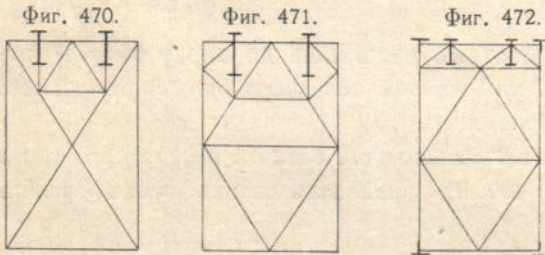
Проектъ висячаго моста чер. Рейнь въ Вормсѣ прол. 310 м.

фиг. 470 со связями въ видѣ Андреевскаго креста, или въ фиг. 471 съ ромбическими связями.

Фиг. 469.



которая можетъ быть или со сплошною стѣнкою (фиг. 475 и 476) или со сквозною



верхній поясъ поперечной балки опирается 9 продольныхъ балокъ, поддерживающихъ проѣзжую часть и тротуары.

Комбинаціи поперечной балки съ вертикальными связями между фермами бывають двухъ типовъ. Въ I типѣ діагонали и верхняя распорка вертикальныхъ связей являются вмѣстѣ съ тѣмъ элементами сквозной поперечной балки, какъ въ фиг. 469, гдѣ связи устроены

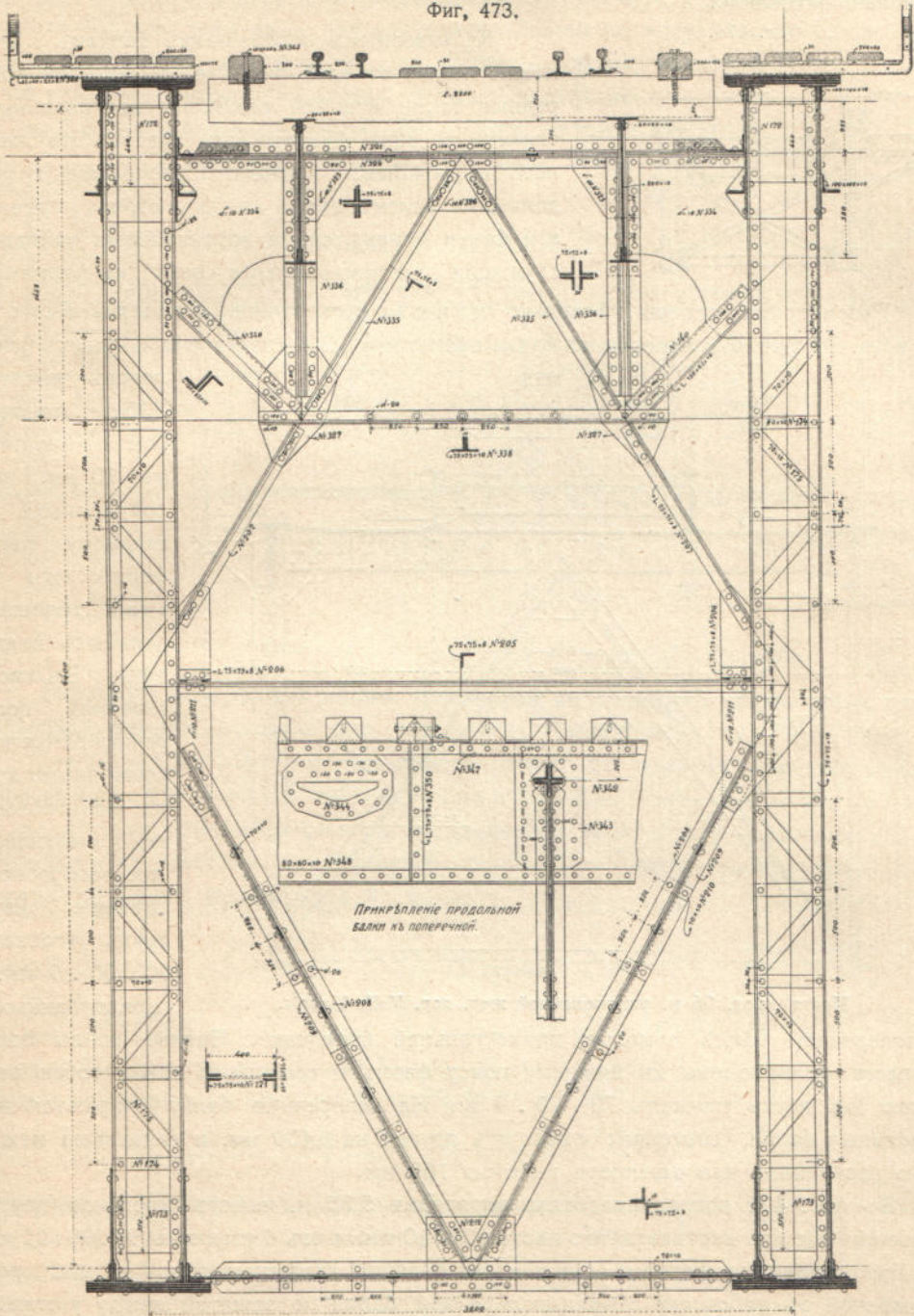
треугольной системы, или въ фиг. 470 со связями въ видѣ Андреевскаго креста, или въ фиг. 471 съ ромбическими связями. Во II типѣ діагонали вертикальныхъ связей поддерживають середину поперечной балки,

(фиг. 472), и работаетъ на изгибъ, представляя двухпролетную неразрѣзную балку съ упругою среднею опорю. Поперечныя балки II типа встрѣчаются очень часто во Франціи. Примѣръ сквозной поперечной балки I типа, соответственно

фиг. 471, показанъ въ фиг. 473. Балка составлена изъ верхняго пояса крестоваго сѣченія изъ 4 уголковъ, служащаго вмѣстѣ съ тѣмъ распоркою связей, изъ ломанаго нижняго пояса (2 уголка), изъ двухъ стоекъ крестоваго сѣченія (4 уголка) и изъ двухъ раскосовъ (одинъ уголокъ) въ средней панели, представляющихъ одновременно діагонали связей. Въ крайнихъ панеляхъ раскосы замѣнены фасонною накладкою, которою поперечная балка прикрѣпляется къ фермамъ. Продольныя балки двутавроваго сѣченія со сплошною стѣнкою спроектированы неразрѣзными, за исключеніемъ уголковъ нижняго пояса, которые обрываются при встрѣчѣ со стойками поперечныхъ балокъ. Въ мѣстѣ пересѣченія съ поперечною балкою устроенъ универсальный стыкъ всѣхъ частей продольной балки (фиг. 473). Ея стѣнка пропущена черезъ щель между уголками стойки поперечной балки, имѣя стыкъ какъ разъ по оси послѣдней. Стыкъ перекрытъ двумя накладками № 343, которыя такъ же, какъ и стѣнка продольной балки, снабжены квадратнымъ вырѣзомъ для пропуска верхняго пояса поперечной балки. Верхніе уголки продольной балки обрываются при встрѣчѣ со стыковыми накладками стѣнки и возмѣщаются уголковыми накладками № 347. Нижніе уголки продольной балки обрываются при

встрѣчѣ со стойкою поперечной балки. Верхнія продольныя связи между фермами расположены въ плоскости верхняго пояса поперечныхъ балокъ. Поясами этихъ

Фиг. 473.

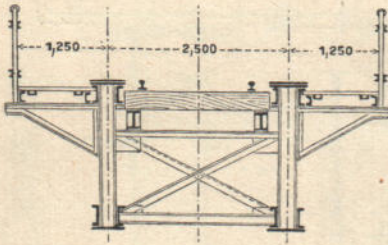


Жельзнодорожный мостъ черезъ Матыру на Юго-Вост. жел. дор.

связей служатъ верхніе пояса фермъ, а діагонали связей пропущены черезъ стѣнку продольныхъ балокъ, которая имѣетъ треугольныя отверстія, окаймленныя накладками. Такая поперечная конструкція спроектирована въ виду ограниченной строи-

тельной высоты данного моста съ тѣмъ, чтобы использовать эту высоту цѣликомъ для фермъ и не расходовать ее на проѣзжую часть, которая опущена насколько возможно.

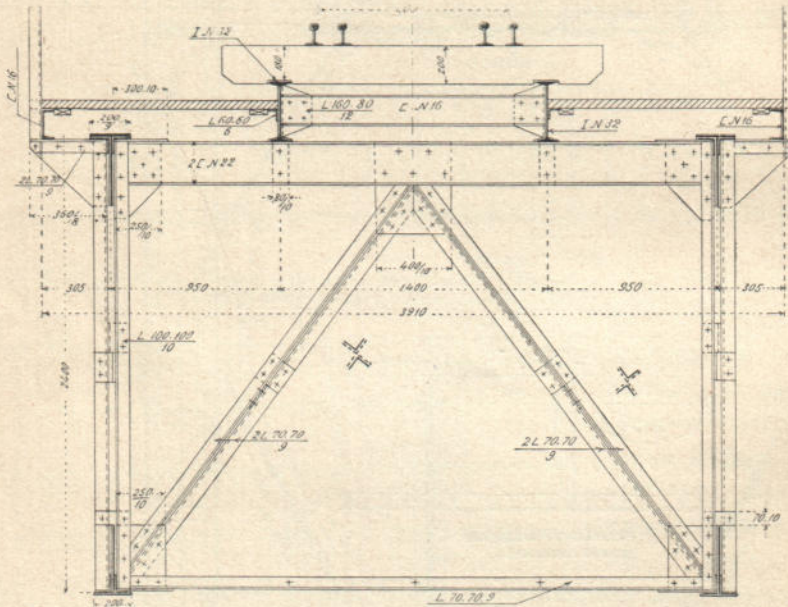
Фиг. 474.



Къ сквознымъ поперечнымъ балкамъ I типа можно также отнести фиг. 474, въ которой поперечныя балки всецѣло замѣнены вертикальными связями въ видѣ Андреевскаго креста. Это оказалось возможнымъ, вслѣдствіе расположенія продольныхъ балокъ около самихъ фермъ, причемъ эти балки опираются на вертикальныя накладки, служащія для прикрѣпленія связей къ фермамъ.

Разсмотримъ теперь нѣсколько примѣровъ поперечныхъ балокъ II типа. Въ фиг. 475 поперечная балка пролетомъ 3,3 м. составлена изъ двухъ швеллеровъ высотой

Фиг. 475.



220 мм. съ зазоромъ между ними въ 10 мм., прикрѣпленныхъ къ верхнему поясу фермъ при помощи трапециoidalныхъ накладокъ. Въ своей серединѣ поперечная балка поддерживается двумя полураскосами, имѣющими крестообразное сѣченіе изъ двухъ уголковъ 70 . 70 . 9 мм. и приклепанныхъ

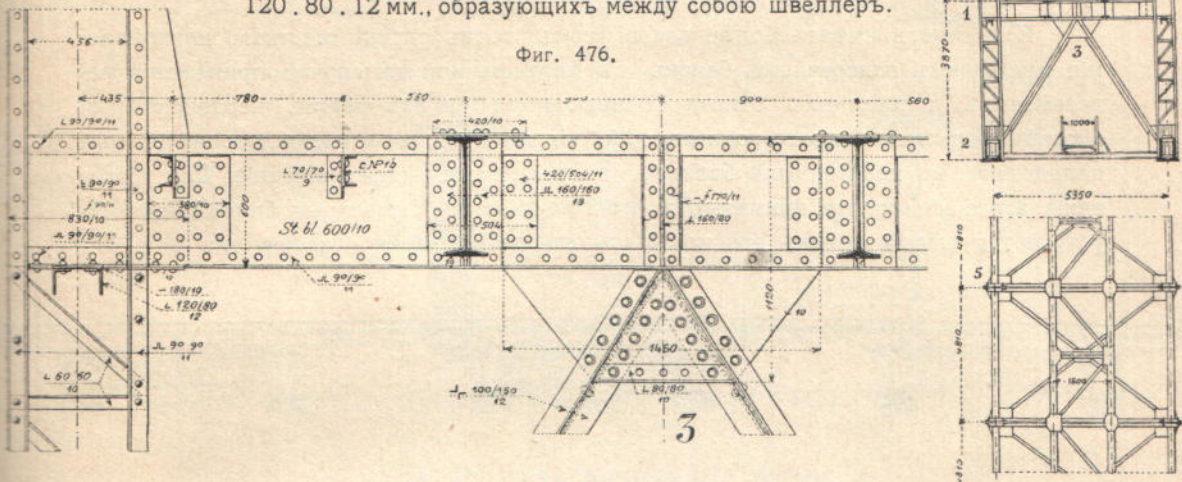
Мостъ прол. 26 м. узкоколейной жел. дор. Valle-Maggia.

къ поперечной балкѣ помощью прямоугольной прокладки. Нижніе концы полураскосовъ прикрѣплены къ нижнему поясу фермъ и соединены между собою распоркою изъ двухъ уголковъ 70 . 70 . 9 мм. На поперечную балку опираются двѣ продольныя балки, отстоящія одна отъ другой на 1400 мм. и связанныя между собою распорками изъ швеллера высотой 160 мм.

Въ фиг. 476 поперечная балка пролетомъ 5,35 м. имѣетъ клепаное двутавровое сѣченіе изъ вертикальнаго листа 600 . 10 мм. и изъ 4 уголковъ 90 . 90 . 11 мм. Она прикрѣплена къ фермамъ при помощи большой трапециoidalной вставки, расположенной въ плоскости стѣнки поперечной балки и зажатой между уголками стойки фермъ. Въ своей серединѣ поперечная балка поддерживается двумя полураскосами крестоваго сѣченія изъ двухъ уголковъ 100 . 150 . 12 мм. Въ мѣстѣ прикрѣпленія полураскосовъ стѣнка поперечной балки прервана и замѣнена шестиугольною вставкою, выпущенною внизъ. На разстояніи 900 мм. справа и слѣва отъ середины, къ поперечной балкѣ приклепаны двутавровыя продольныя балки.

Между фермою и ближайшею къ ней продольною балкою къ поперечной балкѣ прикрѣплена еще пара швеллерныхъ балокъ, поддерживающихъ досчатый настиль. Верхнія связи между фермами расположены въ плоскости нижняго пояса поперечныхъ балокъ; такъ какъ поясами этихъ связей не могутъ служить слишкомъ отдаленные верхніе пояса фермъ, то устроены особые вѣтровые пояса, пропущенные внутри стоекъ фермъ и состоящие изъ горизонтального листа 180 . 10 мм. и двухъ уголковъ 120 . 80 . 12 мм., образующихъ между собою швеллеръ.

Фиг. 476.



Желѣзнодорожный мостъ черезъ Рону у С. Мориса въ Швейцаріи.

Расчетъ поперечной балки, подпертой по серединѣ діагоналями вертикальныхъ связей (согласно фиг. 475 и 476). Такія поперечныя балки находятся въ условіяхъ двухпролетной неразрѣзной балки съ упругою среднею опорою. Пренебрегая упругостью средней опоры, можно расчитать ея давленіе D , которое передается обѣимъ діагоналямъ и вызвано двумя грузами P , дѣйствующими въ мѣстахъ прикрѣпленія продольныхъ балокъ на разстояніи x отъ ближайшей фермы (по формулѣ въ § 70).

$$D = P \cdot \frac{x}{l} \left[3 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right]$$

Усиліе діагоналей $S = - \frac{D}{\sin \alpha}$

Изгибающій моментъ поперечной балки: 1) въ ея серединѣ, отъ 2 силъ P , согласно формулѣ 84 на стр. 362.

$$M_B = - \frac{P \cdot x}{2} \left[1 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right]$$

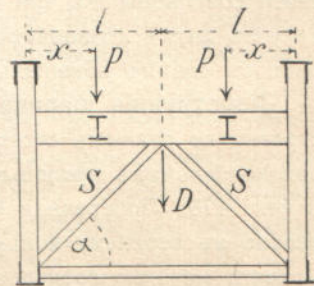
2) въ мѣстѣ прикрѣпленія продольныхъ балокъ, считывая его какъ сумму моментовъ по формуламъ 85 и 87 на стр. 363 и 364.

$$M_x = P \cdot x \left[1 - \frac{x}{l} - \frac{1}{4} \cdot \frac{x}{l} \left\{ 1 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right\} \right] - \frac{P \cdot x}{4} \cdot \frac{x}{l} \left[1 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right]$$

$$M_x = \frac{P \cdot x}{2} \left[2 - 3 \cdot \frac{x}{l} + \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right].$$

Въ эти формулы не введено вліяніе собственнаго вѣса поперечной балки.

Фиг. 476 bis.

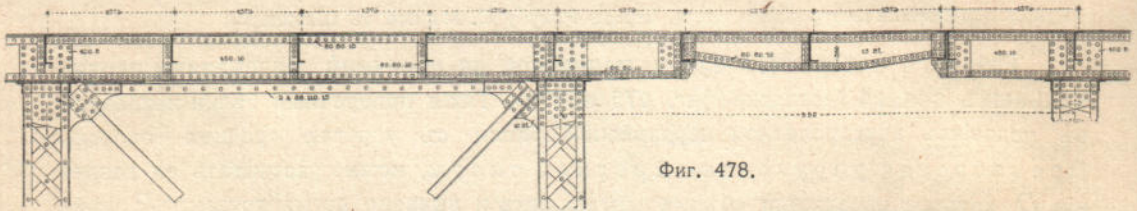
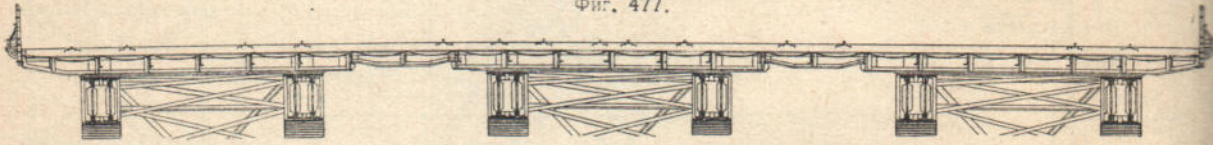


При желаніи ввести въ разсчетъ вліяніе упругаго прогиба средней опоры поперечной балки, вызваннаго упругимъ укороченіемъ обѣихъ сжатыхъ діагоналей S , можно вести разсчетъ по способу наименьшей работы деформации, или по другому способу подобно тому, какъ въ концѣ IV тома (II изданіе) разчитаны домкратныя балки, комбинированныя съ діагоналями опорныхъ рамъ.

§ 61. Консольныя поперечныя балки.

Если мостъ имѣетъ болѣе двухъ фермъ, то въ случаѣ жесткаго прикрѣпленія разрывныхъ поперечныхъ балокъ къ фермамъ или въ случаѣ примѣненія неразрывныхъ поперечныхъ балокъ, опирающихся на всѣ фермы, неравномерный прогибъ фермъ при одностороннемъ дѣйствіи нагрузки вызываетъ дополнительныя напряжения въ поперечныхъ балкахъ, а въ фермахъ—перекашивание. Для устранения этого недостатка примѣняютъ консольныя поперечныя балки. Примѣръ устройства такихъ балокъ для моста съ шестью фермами показанъ въ фиг. 477

Фиг. 477.



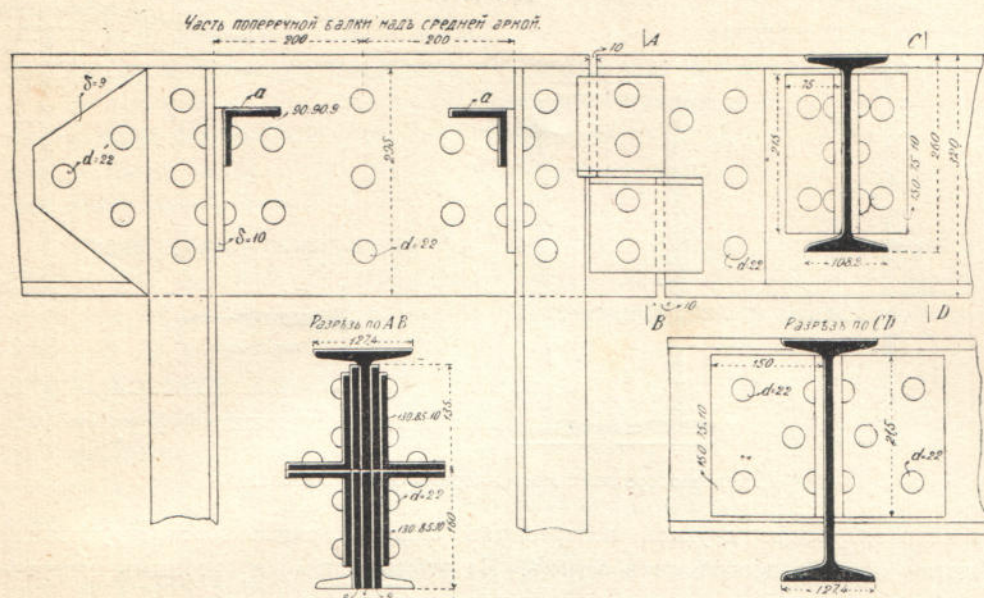
Фиг. 478.

Жел.-дор. мостъ черезъ Шпре am Schiffbauerdamm въ Берлинѣ.

и 478. Проѣзжая часть этого моста съ ѣздой по верху опирается на арочныя фермы при помощи вертикальныхъ стоекъ, которыя при помощи вертикальныхъ связей соединены въ три пары. Каждая пара стоекъ поддерживаетъ поперечную балку съ двумя свѣшивающимися концами, на которые опираются свободныя балочки съ однимъ подвижнымъ, а другимъ неподвижнымъ концомъ.

Конструкція шарнировъ допускаетъ большое разнообразіе и можетъ быть устроена по разнымъ способамъ, описаннымъ въ § 47, при разсмотрѣніи шарнировъ консольныхъ продольныхъ балокъ. Примѣръ простѣйшаго шарнира показанъ въ фиг. 479. Поперечная балка изъ двутавроваго желѣза высотой 320 мм. приклепана къ верхнему концу стойки изъ 4 уголковъ, для чего въ балкѣ пришлось вырѣзать нижнюю горизонтальную полку и усилить ея стѣнку двумя накладками 295 . 9 мм. Въ шарнирѣ концы обѣихъ сопрягаемыхъ балокъ снабжены вырѣзкомъ на половину ихъ высоты, такъ чтобы правая балка своимъ верхнимъ выступомъ опиралась на нижній выступъ лѣвой балки. Для удержанія концовъ балки отъ бокового сдвига, конецъ каждой балки снабженъ двумя короткими уголками 130 . 85 . 10 мм., которые однимъ концомъ приклепаны къ балкѣ, а другимъ концомъ захватываютъ край другой балки. Справа отъ шарнира показано прикрѣпленіе одной изъ продольныхъ балокъ къ поперечной.

Фиг. 479.



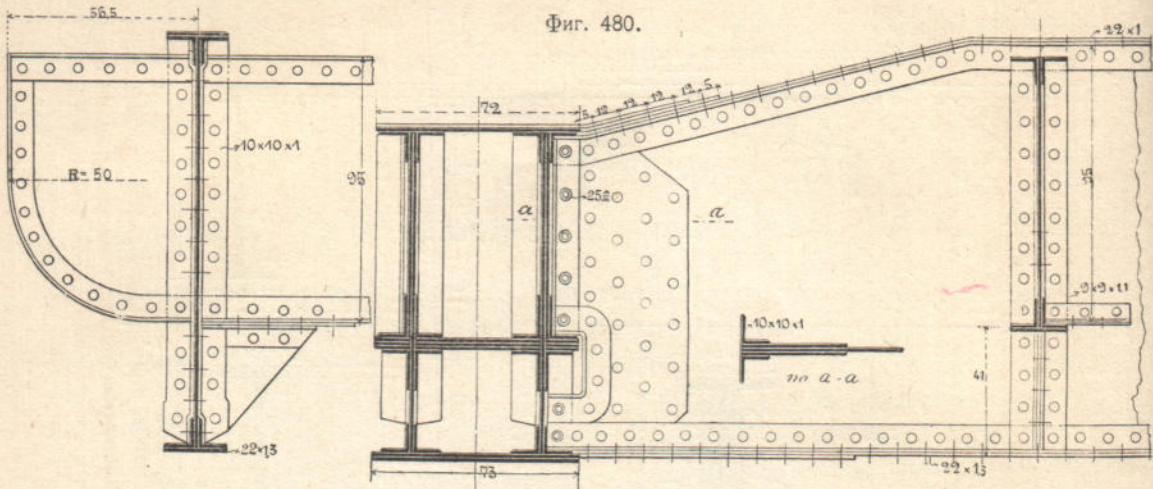
Арочный путепроводъ подѣ обыкновен. дор. на ст. Ковель и Брестъ Юго.-Зап. ж. д.

§ 62. Опорныя поперечныя балки.

Въ мостахъ съ ѣздою по верху опорныя поперечныя балки не отличаются конструктивными особенностями. Въ мостахъ съ ѣздою по низу конструкция опорныхъ поперечныхъ балокъ зависитъ отъ того, прикрѣпляются ли онѣ къ вертикальнымъ опорнымъ стойкамъ или къ острымъ опорнымъ узламъ фермъ. Если фермы заканчиваются опорными стойками, то опорныя поперечныя балки устраиваются съ параллельными поясами и прикрѣпляются къ опорнымъ стойкамъ, какъ можно жестче для того, чтобы увеличить жесткость опорныхъ рамъ между фермами (см. § 39, IV тома о связяхъ).

Если фермы заканчиваются острыми опорными узлами, то очертаніе верхняго пояса опорныхъ поперечныхъ балокъ зависитъ отъ того, имѣютъ ли опорные узлы высоту одинаковую съ этими балками, или меньше ихъ. Эта высота дѣлается одинаковою, если опорныя балки имѣютъ небольшую высоту (до 1100 мм.), и тогда ихъ устраиваютъ съ параллельными поясами (см. фиг. 586, 590, 591 на стр. 471 до 477 I тома). При бѣльшей высотѣ поперечныхъ балокъ, опорные узлы дѣлаютъ ниже этихъ балокъ для того, чтобы уменьшить размѣръ фасонныхъ листовъ въ узлѣ, и тогда концы верхняго пояса поперечныхъ балокъ скрываютъ на протяженіи отъ фермы до ближайшей продольной балки. Въ фиг. 480 высота поперечной балки уменьшается съ 1420 мм. до 1100 мм. Конецъ ея стѣнки усиленъ двумя накладками, приклепанъ къ опорному узлу помощью двухъ вертикальныхъ уголковъ 100 . 100 . 10 мм. (разрѣзъ по $a - a$) и снабженъ прямоугольнымъ вырѣзкомъ, окаймленнымъ двумя уголками. Верхній поясъ поперечной балки соединенъ съ крышкою опорнаго узла помощью горизонтальной накладки. Другой примѣръ имѣется на стр. 478 I тома (фиг. 593).

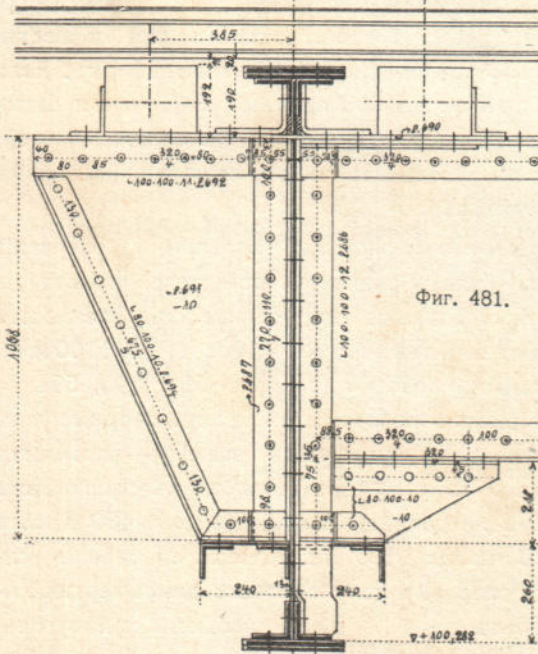
Сѣченіе опорныхъ поперечныхъ балокъ слѣдуетъ подбирать съ запасомъ,



Жельзнодорожный мостъ черезъ Оку у Бѣлева.

такъ какъ онѣ болѣе другихъ поперечныхъ балокъ страдаютъ отъ скручиванія, вслѣдствіе прогиба продольныхъ балокъ. На этомъ основаніи опорнымъ поперечнымъ балкамъ часто придаютъ то-же сѣченіе, какъ пролетнымъ балкамъ, несмотря на то, что онѣ несутъ почти вдвое меньшую вертикальную нагрузку, соответствующую только одной панели проѣзжей части.

Во многихъ случаяхъ опорныя поперечныя балки являются одновременно распорками связей между фермами. Если длина этихъ балокъ велика, то полезно усиливать тотъ ихъ поясъ, который расположенъ ближе къ плоскости связей.



Фиг. 481.

Въ фиг. 481 показанъ примѣръ усиленія нижняго пояса опорной поперечной балки двухпутнаго жельзнодорожнаго моста съ ѣздой по низу. Нижний поясъ балки разсматривается какъ распорка нижнихъ горизонтальныхъ связей между фермами, которая въ послѣдней панели устроены полураскосной системы, такъ что крайнія діагонали сведены въ середину опорной поперечной балки. Къ ея стѣнкѣ, при помощи двухъ уголковъ 80 . 80 . 10 мм., приклепано два горизонтальныхъ листа 240 . 10 мм., окаймленныхъ уголками 80 . 80 . 10 мм., такъ что распорка имѣетъ тавровое сѣченіе. Для усиленія нижняго пояса опорной поперечной балки, иногда приклепываютъ къ нему снизу швеллеръ или

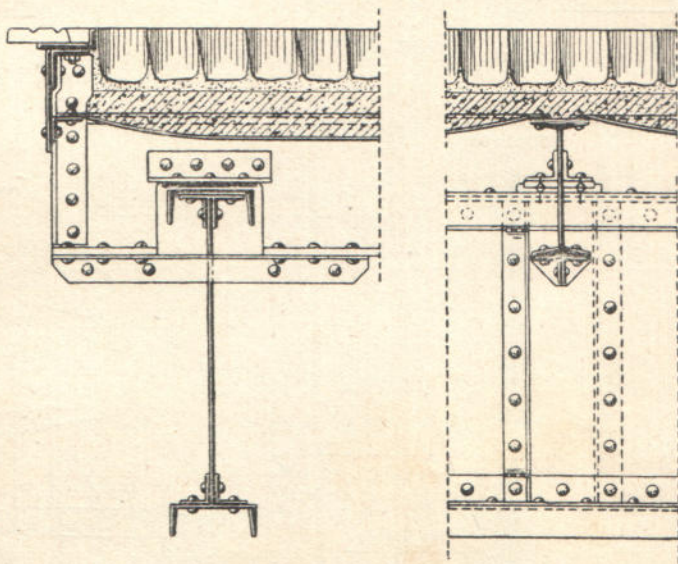
горизонтальные листы, окаймленные уголками (см. фиг. 394, а также фиг. 147 на стр. 183 IV тома).

Иногда опорными поперечными балками пользуются для устройства тор-

мазныхъ балокъ; при этомъ приходится усиливать ихъ такъ, чтобы онѣ оказывали достаточное сопротивление изгибу въ горизонтальной плоскости. Такія конструкции разсмотрѣны въ § 49 (фиг. 409 и 410). Въ мостахъ неразрѣзной и консольной системы съ отрицательными опорными реакціями пользуются опорными поперечными балками для закрѣпленія конца фермъ помощью желѣзныхъ анкерныхъ болтовъ, задѣланныхъ въ каменную кладку опоръ (см. фиг. 205 и 206 на стр. 213 и 214 II тома).

Кронштейны и сопрягающія балочки. Для сопряженія мостового полотна съ устоями или надъ быками, снабжаютъ опорныя поперечныя балки или кронштейнами, или сопрягающими балочками; тѣ и другія служатъ продолженіемъ продольныхъ балокъ. Если продольныя балки уложены на поперечныхъ, то проще всего выпускать немного концы продольныхъ балокъ (фиг. 227). То же самое можно сдѣлать, если надъ поперечною балкою возвышается только часть продольной балки. Тогда въ нижней половинѣ продольной балки можно сдѣлать прямоугольный вырѣзь (фиг. 482) и перерѣзанныя горизонтальныя полки или уголки нижняго пояса соединить между собою накладкою изъ уголковъ,

Фиг. 482.



Шоссейный мостъ черезъ Мозель въ Трарбахѣ.

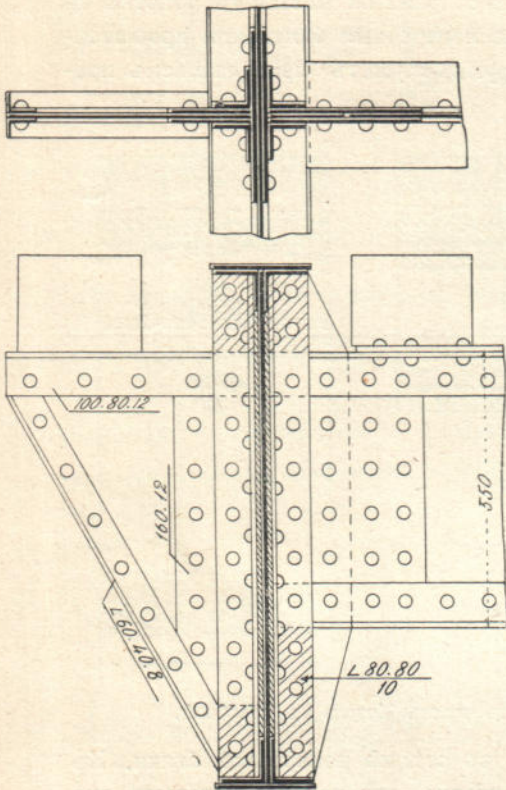
пропуская ихъ черезъ отверстіе, вырѣзанное въ стѣнкѣ поперечной балки. Къ стѣнкѣ продольной балки приклепываютъ два уголка, при помощи которыхъ она опирается на поперечную балку.

Если продольныя балки расположены въ предѣлахъ высоты поперечной, то къ послѣдней приклепываютъ особые кронштейны, которымъ лучше всего придавать простое треугольное очертаніе. Кронштейнъ составленъ изъ стѣнки, изъ двухъ вертикальныхъ уголковъ для прикрѣпленія къ поперечной балкѣ, и изъ двухъ горизонтальныхъ уголковъ для поддержанія полотна. Гипотенузу кронштейна лучше всего дѣлать прямою, а не изогнутою и окаймлять ее уголками для жесткости.

Разсмотримъ теперь **способы прикрѣпленія кронштейна** къ поперечной балкѣ. Простѣйшій способъ примѣненъ въ фиг. 480 и состоитъ въ томъ, что стѣнка кронштейна зажата между вертикальными уголками поперечной балки. Чтобы увеличить сопротивление на смятіе тѣхъ заклепокъ, которыми стѣнка кронштейна приклепана къ вертикальнымъ уголкамъ поперечной балки, полезно увеличивать толщину вертикальнаго края стѣнки, приклепывая къ ней прокладки и пропуская ихъ подъ вертикальные уголки, какъ въ фиг. 483, гдѣ на стѣнку толщиной 10 мм. наклепано двѣ подкладки толщиной по 12 мм., равную толщинѣ

верхнихъ горизонтальныхъ уголковъ кронштейна. Хотя по расчету достаточно было бы приклепать только одну подкладку, но примѣненіе въ данномъ случаѣ двухъ подкладокъ объясняется желаніемъ сохранить между вертикальными уголками одинаковое разстояніе,

Фиг. 483.

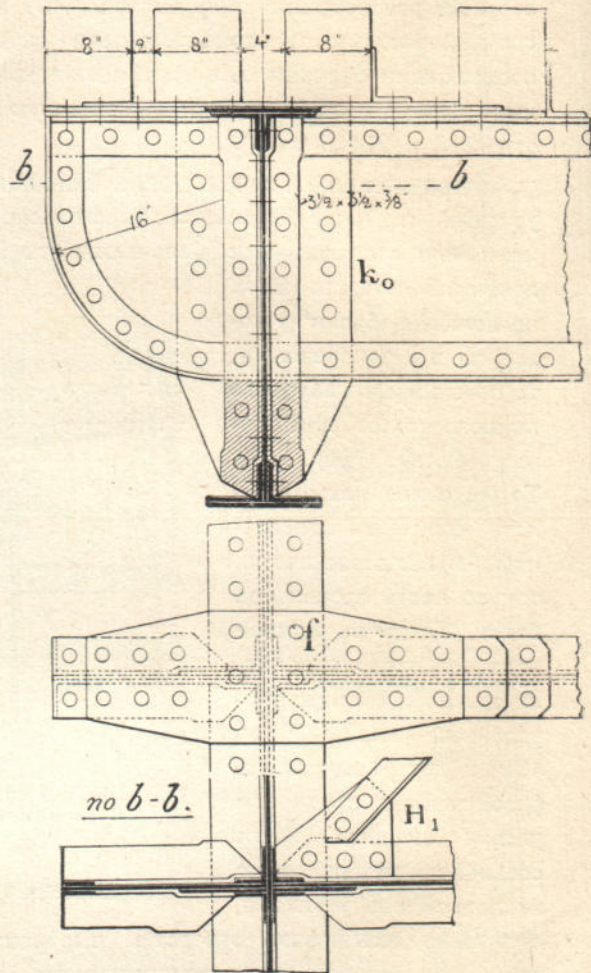


Ж.-д. мостъ черезъ Аргень въ Лангенаргенѣ.

какъ съ лѣвой, такъ и съ правой стороны, гдѣ обѣ накладкі, перекрывающія стыкъ стѣнки продольной балки со вставкою, также пропущены подъ вертикальные уголки.

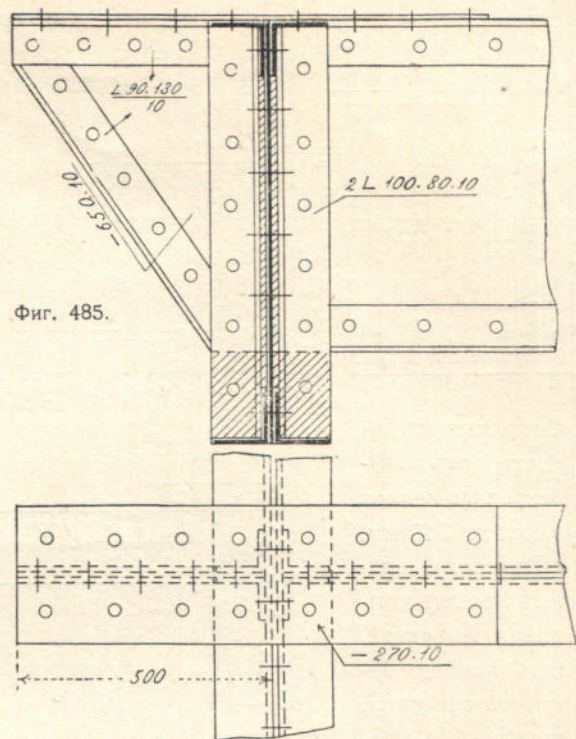
Если верхъ кронштейна расположенъ на одномъ уровнѣ съ верхомъ поперечной балки, то можно значительно увеличить прочность прикрѣпленія кронштейна, если связать кронштейнъ съ верхнимъ поясомъ продольной балки помощью горизонтальной накладкі (рыбки). Примѣръ такого прикрѣпленія имѣется въ фиг. 484; но прикрѣпленіе рыбки, съ примѣненіемъ двухъ подкладокъ съ каждой стороны, нельзя признать удачнымъ; можно было бы обойтись безъ подкладокъ, если поднять кронштейнъ и продольную балку до самаго верха поперечной балки, какъ въ фиг. 485. Что касается прикрѣпленія стѣнки къ вертикальнымъ уголкамъ поперечной балки, то въ фиг. 484 оно сдѣлано съ примѣненіемъ одной фасонной прокладки, продолженной до низу поперечной балки. Въ фиг. 485 показанъ другой примѣръ прикрѣпленія кронштейна при помощи горизонтальной рыбки; этотъ примѣръ отличается простотою и рациональностью конструкции.

Фиг. 484.



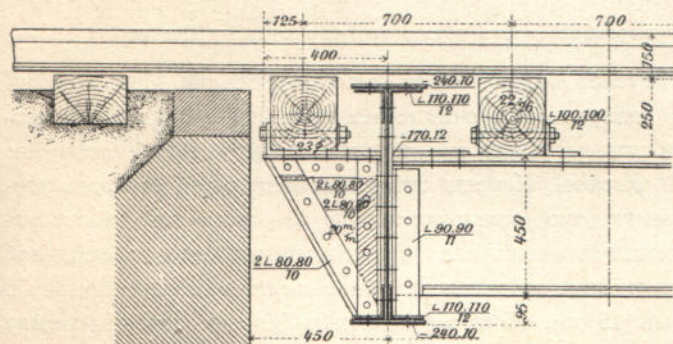
Ж.-д. мостъ черезъ Сару на М.-Я. ж. д.

Горизонтальная рыбка применяется также в тех случаях, когда верх кронштейна находится ниже верха поперечной балки; тогда рыбку пропускают через щель, вырезанную в стенке поперечной балки. Пример такого прикрепленья показан в фиг. 486 и 481. Горизонтальная рыбка увеличивает не только прочность прикрепленья кронштейна к поперечной балке, но придает сопряжению также жесткость в боковом направлении. В тех случаях, когда рыбки не делают, и кронштейн имеет длину больше 0,6 до 0,7 м., удерживают кронштейн от бокового изгиба, при помощи горизонтального подкоса из уголка (фиг. 487), приклепанного одним концом к стенке кронштейна, а другим концом — к стенке поперечной балки. Иногда ограничиваются менее действительною мѣрою и соединяют концы кронштейнов между собою



Фиг. 485.

Ж.-д. мостъ через Рейнь у Isla Bella.

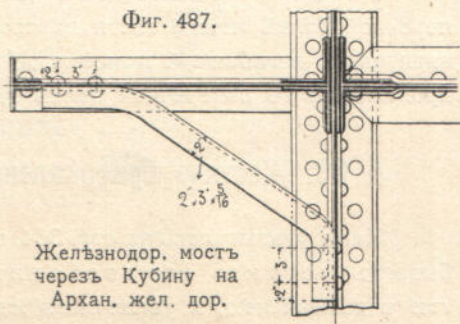


Фиг. 486.

Железнодорожный мостъ через Пену в Демминѣ.

помощью распорки изъ одного или двухъ уголковъ. В случае примѣненія одного уголка, можно приклепать его на кронштейн сверху и пользоваться имъ для прикрепленья послѣдней подрельсовой деревянной поперечины. В случае примѣненія двухъ уголковъ, приклепываютъ ихъ къ наклоннымъ уголкамъ по гипотенузѣ кронштейновъ и связываютъ между собою рѣшеткою, или лучше нѣсколькими планками.

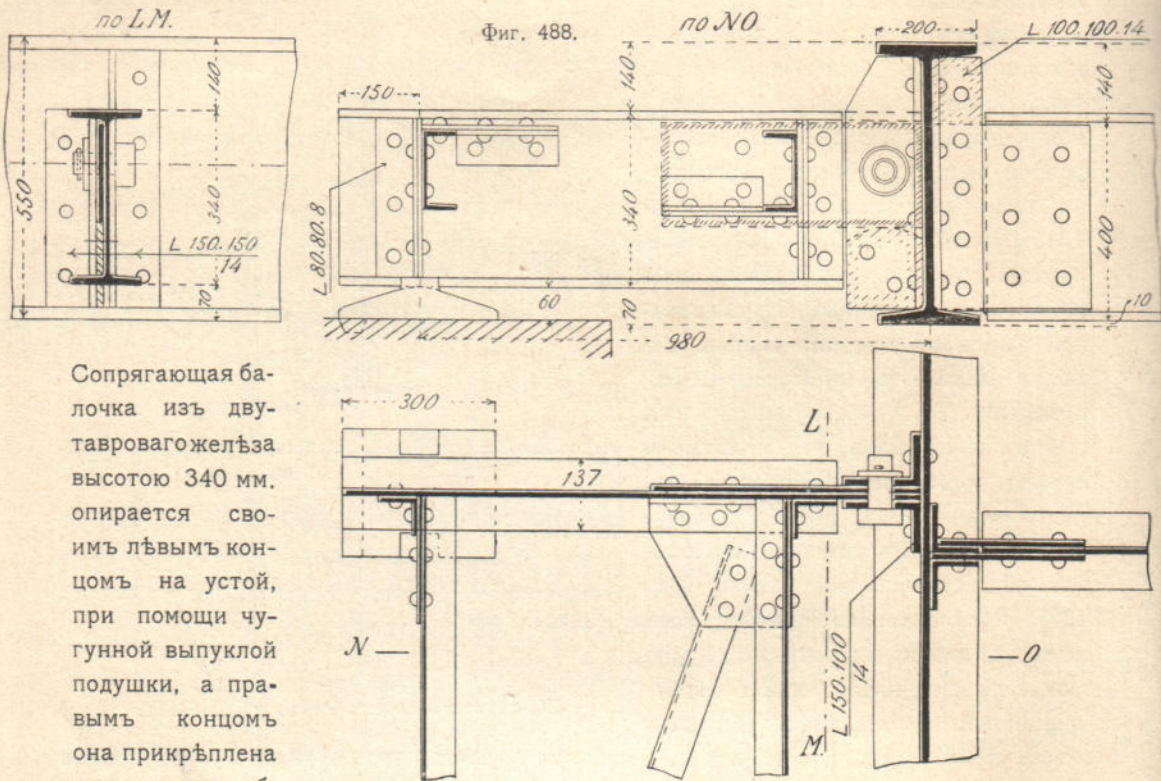
Сопрягающія балочки, съ которыми мы отчасти ознакомились на стр. 244 и 245, применяютъ гораздо рѣже чѣмъ кронштейны, въ виду ихъ болѣе сложнаго устрой-



Фиг. 487.

Железнодорож. мостъ черезъ Кубину на Архан. жел. дор.

ства. Поэтому ограничимся однимъ примѣромъ, представленнымъ въ фиг. 488.



Сопрягающая балочка изъ двутавраго желѣза высотой 340 мм. опирается своимъ лѣвымъ концомъ на устой, при помощи чугунной выпуклой подушки, а правымъ концомъ она прикрѣплена шарнирнымъ образомъ къ опор-

Желѣзнодорожный мостъ черезъ Аару въ Бруггѣ (Швейцарія).

ной поперечной балкѣ изъ двутавраго желѣза высотой 550 мм. При встрѣчѣ съ вертикальными уголками поперечной балки, горизонтальныя полки сопрягающей балочки обрѣзаны, а ея стѣнка доведена до стѣнки поперечной балки, но имѣеть внизу прямоугольный вырѣзь. Конецъ стѣнки сопрягающей балочки усиленъ приклепанною къ ней накладкою (заштрихованною) и опирается на закругленную сверху прокладку, зажатую между вертикальными уголками поперечной балки. Къ этимъ же уголкамъ стѣнка сопрягающей балочки прикрѣплена помощью шарнирнаго болта диаметромъ 45 мм. Обѣ сопрягающія балочки связаны между собою двумя распорками изъ швеллера высотой 160 мм. и двумя раскосами, изъ которыхъ одинъ расположенъ по верху, а другой—по низу указанныхъ распорокъ.

Расчетъ заклепокъ для прикрѣпленія кронштейновъ къ опорной поперечной балкѣ можно вести по способу, изложенному въ § 57, опредѣливъ предварительно изгибающій моментъ M и поперечную силу Q въ мѣстѣ прикрѣпленія кронштейна къ поперечной балкѣ, что не представляетъ никакихъ затрудненій.

§ 63. Жесткое прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ къ фермамъ.

Какъ указывалось на стр. 384, прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ къ фермамъ бываетъ жесткое или свободное. Жесткое прикрѣпленіе, отличаясь простою и дешевизною, и увеличивая жесткость поперечныхъ сѣченій моста, особенно при небольшой высотѣ фермъ, имѣеть тотъ недостатокъ, что прогибъ попереч-

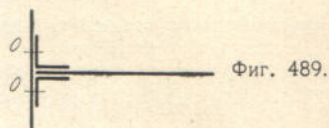
ныхъ балокъ вызываетъ вредныя деформациі въ фермахъ; съ другой стороны, измѣненія длины поясовъ фермъ отъ дѣйствія нагрузки и температуры вызываютъ искривленія поперечныхъ балокъ въ горизонтальной плоскости, въ случаѣ неподвижнаго прикрѣпленія къ нимъ продольныхъ балокъ.

Примѣняемые способы жесткаго прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ фермамъ могутъ быть раздѣлены на два типа; 1) непосредственное прикрѣпленіе помощью вертикальныхъ уголковъ и 2) прикрѣпленіе помощью фасонныхъ листовъ въ связи съ уголками. Примѣняется еще способъ укладки поперечныхъ балокъ непосредственно на пояса фермъ, но лучше разсмотрѣть его въ отдѣлѣ о свободныхъ поперечныхъ балкахъ потому, что жесткость такого прикрѣпленія, даже въ случаѣ примѣненія заклепокъ, настолько невелика, что нельзя отнести его къ жесткимъ прикрѣпленіямъ.

При разсмотрѣніи указанныхъ конструкцій будемъ исходить изъ того положенія, которое поперечная балка занимаетъ по отношенію къ верхнему или къ нижнему поясу фермъ; по отношенію къ нижнему поясу разсмотримъ случаи прикрѣпленія поперечной балки выше этого пояса, въ предѣлахъ его высоты и ниже пояса, а по отношенію къ верхнему поясу—только случаи расположенія балки въ предѣлахъ высоты пояса и ниже его.

I. Непосредственное прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ помощью вертикальныхъ уголковъ. Прикрѣпленіе стѣнки поперечной балки къ фермѣ можетъ быть одностороннее или двустороннее. При одностороннемъ прикрѣпленіи стѣнка балки доводится до стѣнки или до стойки фермы въ притыкъ и прикрѣпляется при помощи особыхъ вертикальныхъ уголковъ (фиг. 489 и 490, изъ которыхъ фиг. 489 соотвѣтствуетъ одностѣнчатому, а фиг. 490—двустѣнчатому поясу). При двустороннемъ прикрѣпленіи стѣнка поперечной балки пропускается въ зазоръ между уголками стойки и зажимается этими уголками (фиг. 491 и 492, изъ которыхъ фиг. 491 соотвѣтствуетъ одностѣнчатому, а фиг. 492 двустѣнчатому поясу). Одностороннее прикрѣпленіе значительно хуже двусторонняго потому, что заклепки, прикрѣпляющія вертикальные уголки къ поясу или къ стойкѣ и расположенныя выше нейтральной оси поперечной балки, работаютъ, кромѣ срѣзыванія, еще на отрываніе головки и это тѣмъ больше, чѣмъ дальше онѣ отстоятъ отъ этой оси. Эти вредныя усилія неизбежно повторяются при каждомъ проходѣ по мосту временной нагрузки и со временемъ расшатываютъ верхнія заклепки. Двустороннее прикрѣпленіе не имѣетъ вышеуказаннаго недостатка, такъ какъ заклепки работаютъ исключительно на срѣзываніе.

Что касается прикрѣпленія поясныхъ уголковъ поперечной балки, то ихъ обыкновенно нагибаютъ на вертикальные уголки фермы, но такое прикрѣпленіе не прочно и не конструктивно. Если требуется прочное прикрѣпленіе, то примѣняютъ способъ, показанный въ фиг. 493, при которомъ высадки уголка не требуется. Уголокъ *a* поперечной балки



Фиг. 489.



Фиг. 490



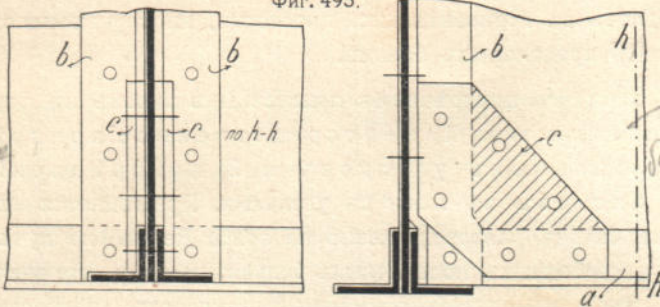
Фиг. 491.



Фиг. 492.

обрезают при встрече с вертикальным уголком b и наклепывают на уголки a и b накладку c , подкладывая под нее (заштрихованную) прокладку.

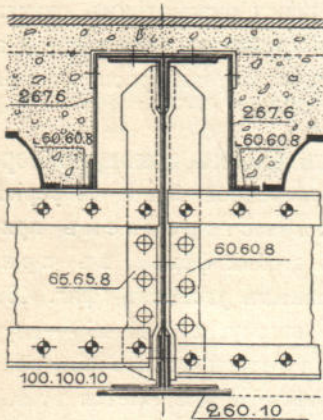
Фиг. 493.



Фермы со сплошной стѣнкою допускаютъ только одностороннее прикрѣпленіе къ нимъ поперечныхъ балокъ. Каждый конецъ балки прикрѣпляютъ обыкновенно двумя вертикальными уголками, которые пропускаютъ во всю высоту фермы или оба, или только одинъ, доводя другой уголокъ только до верхнихъ поясныхъ

уголковъ поперечной балки (фиг. 494) для того, чтобы уменьшить количество высадокъ въ уголкахъ.

Фиг. 494.



Чернышевскій мостъ черезъ Фонтанку въ Петербургѣ.

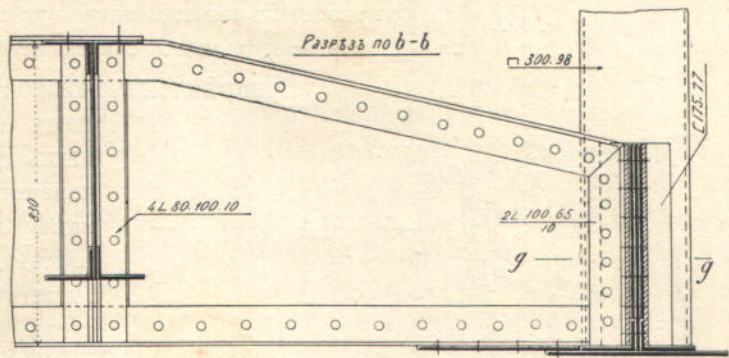
При фермахъ со сквозною стѣнкою непосредственное прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ можетъ быть одностороннимъ или двустороннимъ. Въ мостахъ съ ѣздою по низу концы поперечныхъ балокъ обыкновенно опираютъ на внутренній горизонтальный уголокъ нижняго пояса фермы. Конецъ поперечныхъ балокъ можетъ имѣть и большую высоту, чѣмъ стѣнка пояса фермы, но иногда скашиваютъ верхній поясъ поперечной балки до высоты пояса фермы (фиг. 495).

Если пояса фермы двустѣнчатые, то въ мѣстахъ прикрѣпленія къ нимъ поперечныхъ балокъ необходимо обѣ стѣнки пояса связать между собою помощью вертикальной листовой діафрагмы (фиг. 497) для того, чтобы давленіе поперечной балки равномерно распредѣлялось между обѣими стѣнками пояса.

Если рѣшетка фермы не имѣетъ стоекъ, то можно прикрѣплять поперечныя балки только къ стѣнкѣ поясовъ фермы. Недостатокъ такого прикрѣпленія заключается въ томъ, что при прогибѣ балокъ поясъ скручивается, испытывая при этомъ дополнительныя напряженія, которыя тѣмъ больше, чѣмъ выше стѣнка пояса.

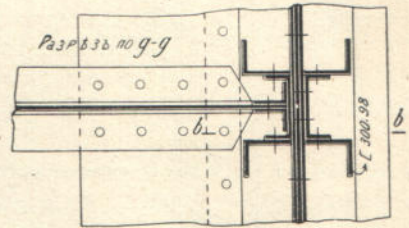
Примѣры непосредственнаго прикрѣпленія поперечныхъ балокъ. Въ фиг. 495 показано прикрѣпленіе поперечной балки моста съ ѣздою по низу къ тавровому нижнему поясу вмѣстѣ со стойкою фермы. Поперечная балка со сплошною стѣнкою имѣетъ по серединѣ высоту 830 мм., а по концамъ 540 мм., соответственно высотѣ тавроваго пояса фермы. Стойка фермы имѣетъ трубчатое сѣчаніе изъ двухъ швеллеровъ 300 . 98 мм., отстоящихъ одинъ отъ другого на 175 мм. и связанныхъ между собою двумя рѣшетками. Прикрѣпленіе трубчатой стойки къ тавровымъ поясамъ фермы устроено такъ: въ концѣ каждаго швеллера стойки, посерединѣ его стѣнки, вырѣзана щель шириною 40 мм. и длиною 540 мм. для того, чтобы можно было надѣть стойку на стѣнку пояса, состоящую въ узлѣ изъ вертикальнаго листа 560 . 16 мм. и двухъ накладокъ толщиною по 12 мм.

для перекрытия его стыка. Къ стѣнкѣ пояса оба швеллера стойки прикреплены при помощи двухъ вертикальныхъ швеллеровъ 175 . 77 мм., длиною 540 мм., приклепанныхъ своею стѣнкою къ стѣнкѣ пояса, а своими полками къ стѣнкамъ швеллеровъ стойки. Къ концу поперечной балки приклепано два вертикальныхъ уголка 100 . 65 . 10 мм., при помощи которыхъ балка опирается на уголокъ нижняго пояса фермы и приклепана къ стѣнкѣ этого пояса.

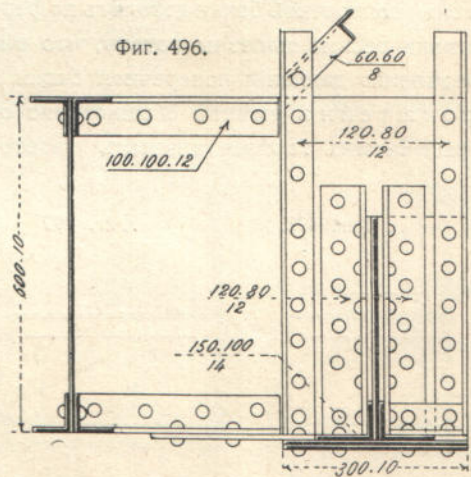


Фиг. 495.

Железнодорожный мостъ черезъ Рейнь у Isla Bella въ Швейцарии.



Другой примѣръ непосредственнаго прикрепленія поперечной балки моста съ ѣздою по низу, вмѣстѣ со стойкою, къ тавровому поясу фермы показанъ въ фиг. 496. Поясные уголки поперечной балки обрываются при встрѣчѣ съ внутренними уголками стойки, а стѣнка поперечной балки высотой 900 мм. проходитъ въ нижней своей части до стѣнки пояса фермы, между тѣмъ какъ ея верхняя часть, высотой 314 мм., пропущена дальше и зажата между наружными уголками стойки. Прямоугольный вырѣзъ въ концѣ стѣнки поперечной балки заполненъ прокладкою. Стѣнки пояса и балки склепаны между собою четырьмя вертикальными уголками 120 . 80 . 12 мм. Уголки стойки двутавроваго сѣченія шириною 500 мм. приклепаны съ внутренней стороны моста къ стѣнкѣ поперечной балки, а съ наружной стороны—отчасти къ концу этой стѣнки и отчасти къ замѣняющей ее прокладкѣ. Еще одинъ примѣръ непосредственнаго прикрепленія поперечной балки моста съ ѣздою по низу имѣется на стр. 418 I тома (фиг. 523).



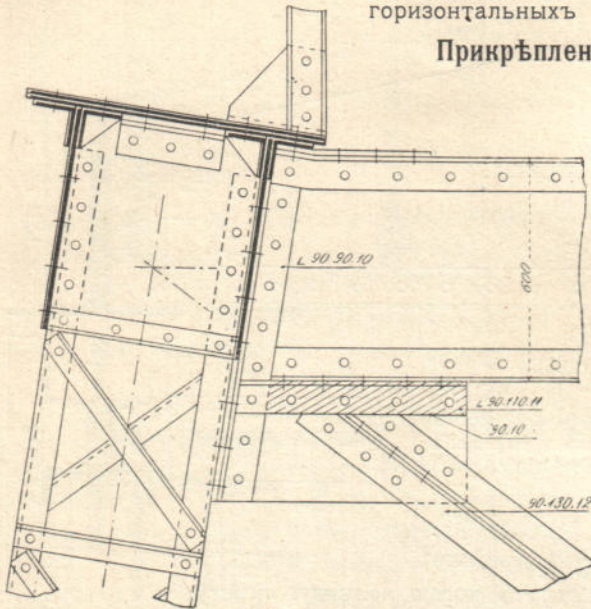
Фиг. 496.

Железнодорожный мостъ черезъ Рейнь въ Рейхенау (Швейцарія).

Разсмотримъ еще примѣръ непосредственнаго прикрепленія поперечной балки къ коробчатому верхнему поясу фермъ (фиг. 497), расположенныхъ наклонно. Стѣнка поперечной балки высотой 600 мм. доведена до внутренней стѣнки пояса, обрѣзана косо и зажата между двумя уголками 90 . 90 . 10 мм., которые приклепаны къ уголкамъ наклонной стойки и служатъ одновременно для прикрепленія накладки поперечныхъ связей между фермами. Въ плоскости поперечной балки обѣ стѣнки пояса связаны между собою листовою діафрагмою. Меж-

ду верхними уголками поперечной балки и уголкомъ верхняго пояса зажата горизонтальная накладка для прикрѣпленія верхнихъ горизонтальныхъ связей между фермами.

Фиг. 497.



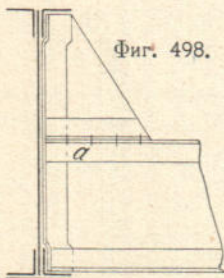
Желѣзнодорожный мостъ черезъ Зиттеръ на лин. Bodensee-Teggenburg.

Прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ къ фермамъ при помощи фасонныхъ листовъ.

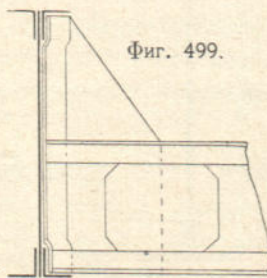
Прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ къ фермамъ дѣлаютъ при помощи фасоннаго листа для того, чтобы имѣть возможность помѣстить большее число заклепокъ и чтобы сдѣлать это прикрѣпленіе болѣе жесткимъ. Въ желѣзнодорожныхъ мостахъ, особенно съ ѣздой по низу, величина фасонныхъ листовъ часто опредѣляется размѣрами габарита. Въ мостахъ подъ обыкновенную дорогу слѣдуетъ придавать фасоннымъ листамъ такіе размѣры, чтобы они не выступали на полотно.

Фасонные листы бываютъ преимущественно двухъ типовъ: вставки и угловые кронштейны. Вставкою называютъ фасонный листъ, расположенный въ плоскости стѣнки поперечной балки, причемъ эта стѣнка обрывается при встрѣчѣ со вставкою и стыкъ этихъ частей перекрывается накладками (фиг. 499). Уголки поперечной балки доводятъ до фермы. Если фермы имѣютъ двустѣнчатые пояса, вставки весьма полезны потому, что онѣ способствуютъ болѣе равномерному распредѣленію давленія поперечной балки между обѣими стѣнками пояса. Угловой кронштейнъ имѣетъ обыкновенно очертаніе прямоугольнаго треугольника, который своимъ горизонтальнымъ катетомъ приклепанъ къ верхнему или нижнему

поясу поперечной балки, а вертикальнымъ катетомъ—къ фермѣ. При этомъ стѣнку и пояса поперечной балки доводятъ до фермы (фиг. 498). Недостатокъ такихъ кронштейновъ, приклепанныхъ къ поперечной балкѣ сверху, заключается въ томъ, что при прогибѣ поперечной балки вертикальныя заклепки *a* (фиг. 498) работаютъ на отрываніе головки, чего при



Фиг. 498.



Фиг. 499.

вставкѣ не можетъ быть. Свободный край фасонныхъ листовъ, выступающій изъ предѣловъ поперечной балки, полезно окаймлять уголкомъ, если размѣры листа не слишкомъ малы, особенно при расположеніи фасоннаго листа подъ поперечною балкою, такъ какъ тогда онъ работаетъ на сжатіе, между тѣмъ какъ листы, расположенные выше поперечной балки, работаютъ при прогибѣ послѣдней преимущественно на растяженіе.

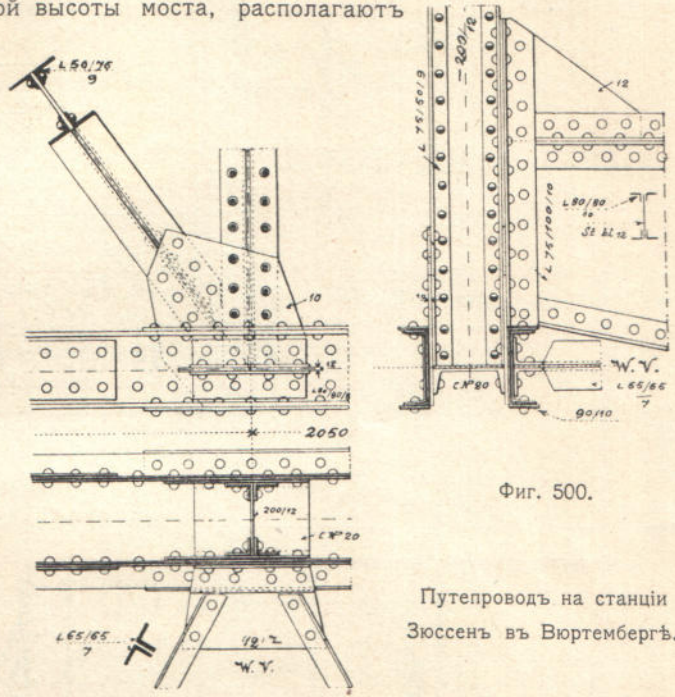
Для ознакомленія съ прикрѣпленіемъ поперечныхъ балокъ помощью фасонныхъ листовъ, рассмотримъ отдѣльно мосты съ ѣздой по низу, по серединѣ и по верху.

А. Мосты съ ъздою по низу. Въ этомъ случаѣ прикрепление поперечныхъ балокъ къ фермамъ можетъ производиться или выше, или ниже нижняго пояса фермъ, или въ предѣлахъ его высоты; но чаще всего прикрепление производится, какъ къ самому поясу, такъ и выше него, къ стойкѣ фермы.

1) **Прикрепление поперечной балки выше пояса.** Если въ мостъ съ ъздою по низу нижній поясъ фермъ имѣетъ такую форму сѣченія, которая затрудняетъ непосредственное прикрепление поперечной балки къ поясу, то ограничиваются ея прикрепленіемъ только выше пояса, а именно къ стойкѣ. Чтобы при этомъ не увеличивать строительной высоты моста, располагаютъ

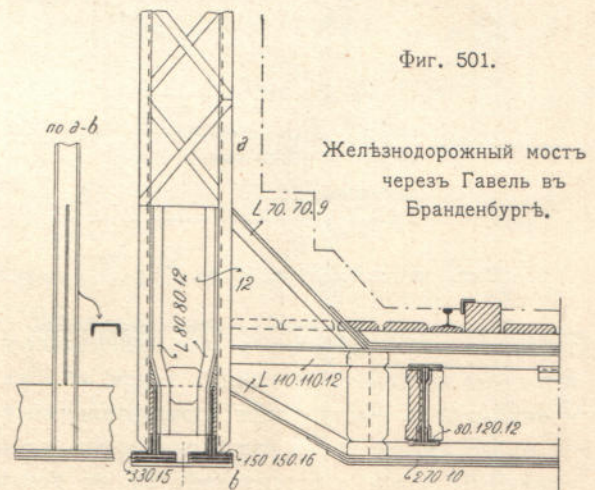
нижній поясъ поперечныхъ балокъ на уровнѣ низа фермъ и скашиваютъ концы балокъ снизу. Примѣръ такого прикрепленія при помощи верхняго углового кронштейна показанъ въ фиг. 500. Другой примѣръ того же типа имѣется въ фиг. 363. Такое же прикрепление поперечной балки, устроенное при помощи фасонной вставки, показано въ фиг. 500 и на стр. 194 (фиг. 154). Въ обоихъ примѣрахъ отрѣзанъ нижній уголъ вставки, соответственно высотѣ пояса фермы. Въ фиг. 501 фасонная вставка пропущена черезъ стойку

фермы, составленную изъ двухъ швеллеровъ, для чего во внутреннемъ швеллерѣ прорѣзана узкая щель (см. разрѣзъ по *a—b*). Къ швеллерамъ стойки вставка прикреплена при помощи внутреннихъ вертикальныхъ уголковъ, а къ діафрагмѣ нижняго пояса—помощью фасонныхъ накладокъ *). Въ фиг. 502 показанъ еще примѣръ прикрепленія поперечной балки только къ стойкѣ, примѣняемаго въ Америкѣ въ тѣхъ случаяхъ, когда нижній поясъ фермъ устроенъ цѣпного типа изъ полосъ съ проушинами, надѣтыми на шарнир-



Фиг. 500.

Путепроводъ на станціи
Зюссенъ въ Вюртембергѣ.



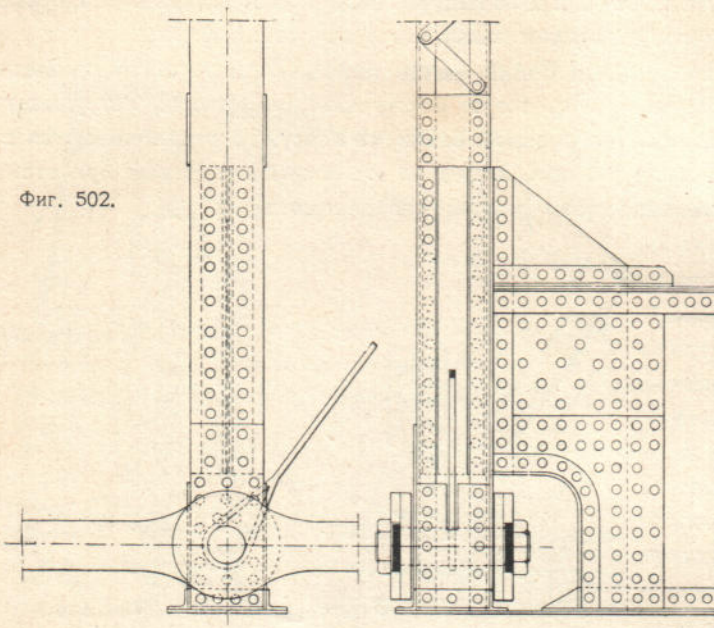
Фиг. 501.

Железнодорожный мостъ
черезъ Гавель въ
Бранденбургѣ.

* Указанный въ фиг. 501 способъ прикрепленія поперечныхъ балокъ имѣетъ слѣдующіе недостатки: 1) усложняется работа и 2) распорки нижнихъ связей, т. е. поперечныя балки, прикреплены къ поясу фермъ со значительною вѣнцентральностью.

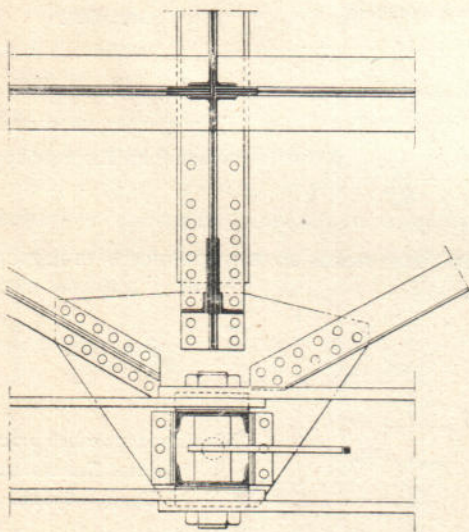
ный болтъ. Конецъ поперечной балки снабженъ фасонною вставкою, нижній уголъ которой вырѣзанъ противъ шарнира и окаймленъ двумя изогнутыми уголками.

Фиг. 502.



Стыкъ вставки со стѣнкою балки перекрытъ двумя накладками на всемъ протяженіи между поясными уголками балки. Кроме того, нижній уголъ балки усиленъ еще двумя накладками. Фасонная вставка пропущена черезъ вертикальную щель, вырѣзанную въ стѣнкѣ внутренняго швеллера трубчатой стойки и приклепана къ стойкѣ тремя парами уголковъ, изъ которыхъ двѣ находятся внутри стойки, а одна — снаружи.

2) Прикрепление поперечной балки въ предѣлахъ высоты пояса. Если по-

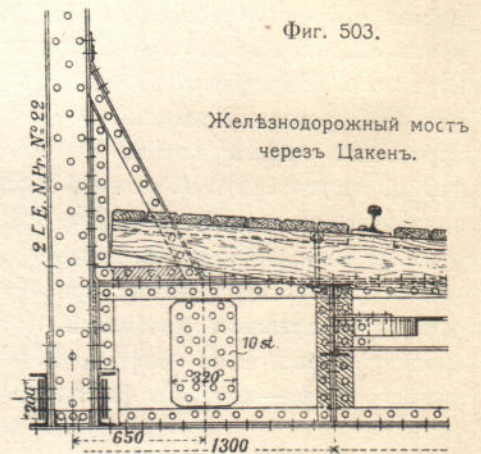


Типъ завода American Bridge Co.

то лучше всего примѣнять для прикрепленія балки фасонную вставку, приклепывая ее не только къ стѣнкѣ пояса, но и къ стойкѣ. Если высота пояса невелика и онъ имѣетъ выступающія горизонтальныя полки не только внизу, но и наверху, то въ послѣднее время часто снабжаютъ вставку прямоугольнымъ вырѣзомъ для помещенія пояса и ограничиваются ея прикрепленіемъ наверху къ стойкѣ, а внизу — къ горизонтальной накладкѣ (фиг. 503).

Если поясъ фермы двустѣнчатый, то не слѣдуетъ ограничиваться прикрѣ-

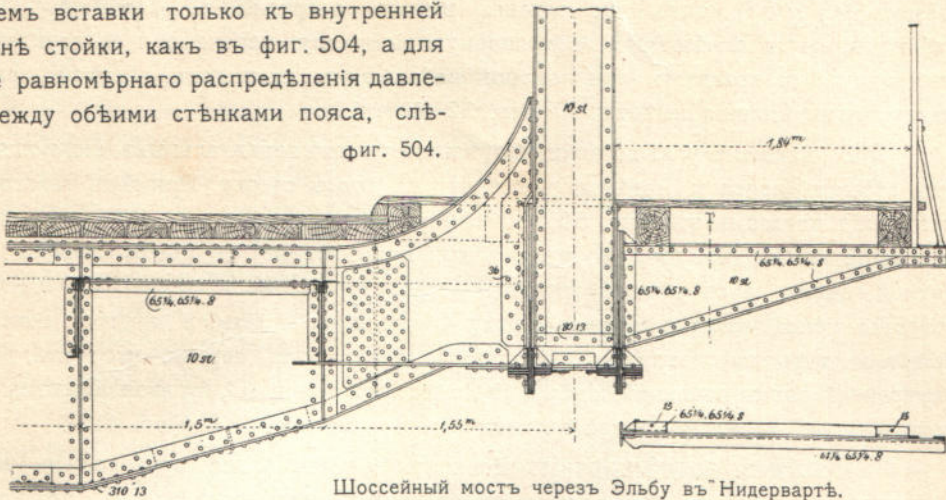
Фиг. 503.



перечная балка расположена въ предѣлахъ высоты нижняго пояса фермы,

плениемъ вставки только къ внутренней сторонѣ стойки, какъ въ фиг. 504, а для болѣе равномернаго распредѣленія давленія между обѣими стѣнками пояса, слѣ-

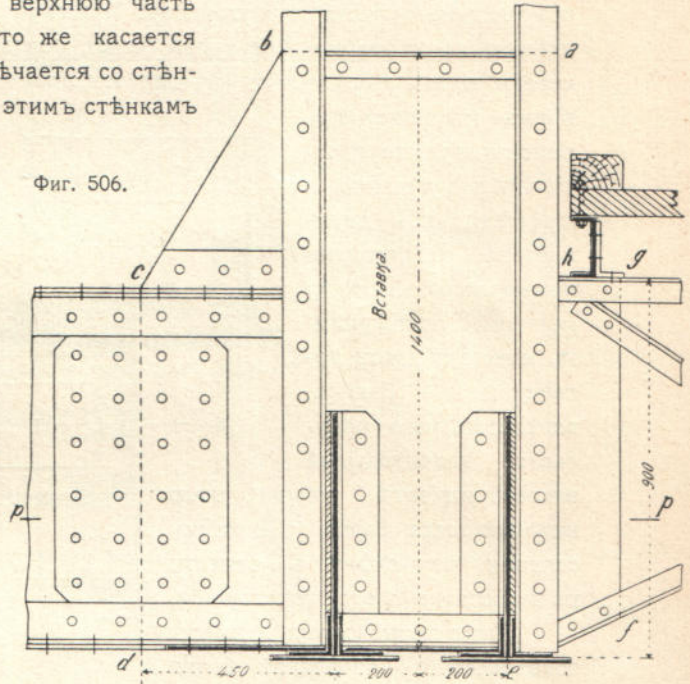
фиг. 504.



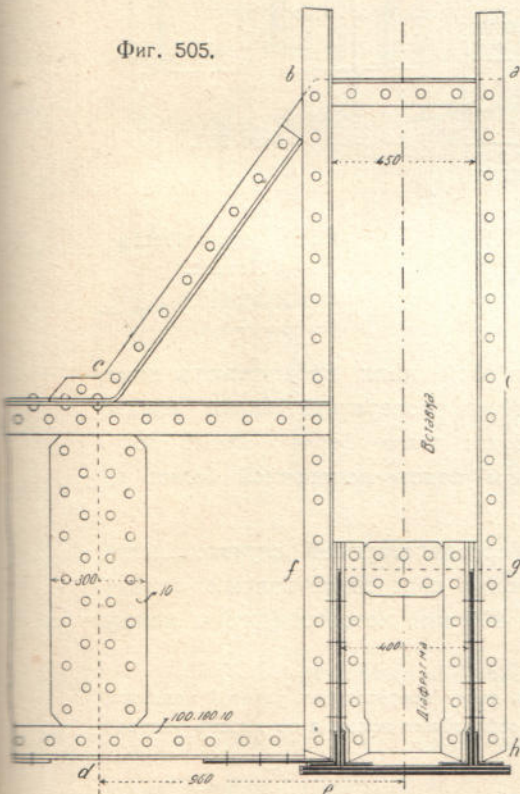
Шоссейный мостъ черезъ Эльбу въ Нидервартѣ.

дуетъ по возможности пропускать верхнюю часть вставки на всю ширину стойки. Что же касается нижней части вставки, которая встрѣчается со стѣнками пояса, то ея прикрѣпленіе къ этимъ стѣнкамъ дѣлають двояко. а) Доводятъ вставку только до внутренней стѣнки

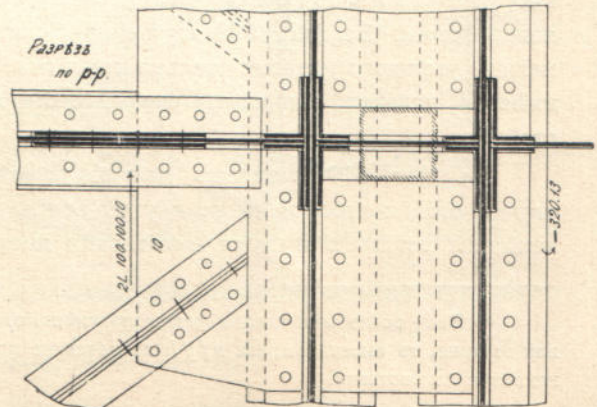
Фиг. 506.



Фиг. 505.



Желѣзнодорожный мостъ пролетомъ 78 м.

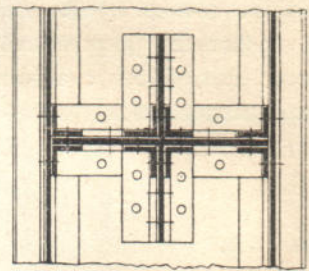
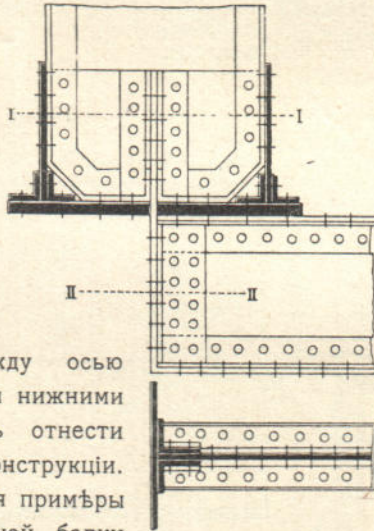


Жел.-дор. мостъ черезъ Циль на линіи Бернъ—Нейенбургъ.

рѣзомъ *efgh*³⁾, такъ что вставка имѣетъ очертаніе по *abcdefg*. Между стѣнками пояса помѣщаютъ вертикальную діафрагму, перекрывая ея горизонтальный стыкъ со вставкою при помощи небольшихъ накладокъ. Другой примѣръ такого прикрѣпленія имѣется на стр. 32 (фиг. 12).

б) Въ нижнемъ углѣ вставки прорѣзываютъ двѣ вертикальныхъ щели для обѣихъ стѣнокъ пояса и надѣваютъ вставку на поясъ сверху. Примѣръ такого прикрѣпленія показанъ въ фиг. 506. Фасонная вставка высотой 1400 мм. имѣетъ очертаніе по *abcdefgh* и служитъ для прикрѣпленія съ лѣвой стороны поперечной балки, а съ правой стороны — тротуарнаго кронштейна. Съ наружной стороны пояса вставка зажата между 4 уголками стойки, а внутри пояса она приклепана къ его стѣнкамъ, при помощи 4 короткихъ вертикал. уголковъ, и къ внутренней горизонтальной діафрагмѣ пояса, при помощи 2 горизонтальныхъ уголковъ. — Другой примѣръ такой вставки имѣется на стр. 348 (фиг. 415).

3) **Жесткое подвѣшиваніе.** Если поперечная балка расположена ниже нижняго пояса фермы, то можно подвѣсить балку жесткимъ образомъ, при помощи вертикальнаго листа или уголковъ. Примѣръ подвѣшиванія помощью листа, приклепаннаго къ торцу поперечной балки, показанъ въ фиг. 507. Листъ пропущенъ черезъ щель, вырѣзанную въ горизонтальномъ листѣ пояса фермы, и прикрѣпленъ къ поясу при помощи двухъ горизонтальныхъ уголковъ и діафрагмы изъ двухъ листовъ. Діагонали нижнихъ связей между фермами приклепаны къ нижнему поясу поперечныхъ балокъ, вслѣдствіе чего получается значительный эксцентрицитетъ между осью нижняго пояса фермъ и нижними связями, что слѣдуетъ отнести къ недостаткамъ этой конструкціи.



Фиг. 507.

Мостъ черезъ Trent у Newark.

Чаще встрѣчаются примѣры подвѣшиванія поперечной балки къ уголкамъ стойки фермы, которые для этой цѣли продолжаютъ ниже пояса фермы. Въ фиг. 508 скошенная снизу стѣнка поперечной балки зажата между уголками стойки, расположенными снаружи пояса фермы; кромѣ того, имѣется угловая накладка, связывающая верхній поясъ поперечной балки со стойкою.

Въ фиг. 509 показанъ другой примѣръ, соответствующій случаю, когда уголки стойки пропущены во внутрь пояса. Въ концѣ поперечной балки ея стѣнка замѣнена вставкою и двумя накладками высотой 400 мм., которыя зажаты между

³⁾ Если раскосы и стойка фермы прикрѣпляются къ поясу посредствомъ узловой накладки или вставки, то высота вырѣза *efgh* дѣлается не по высотѣ стѣнки пояса, а по высотѣ узловой накладки или вставки.

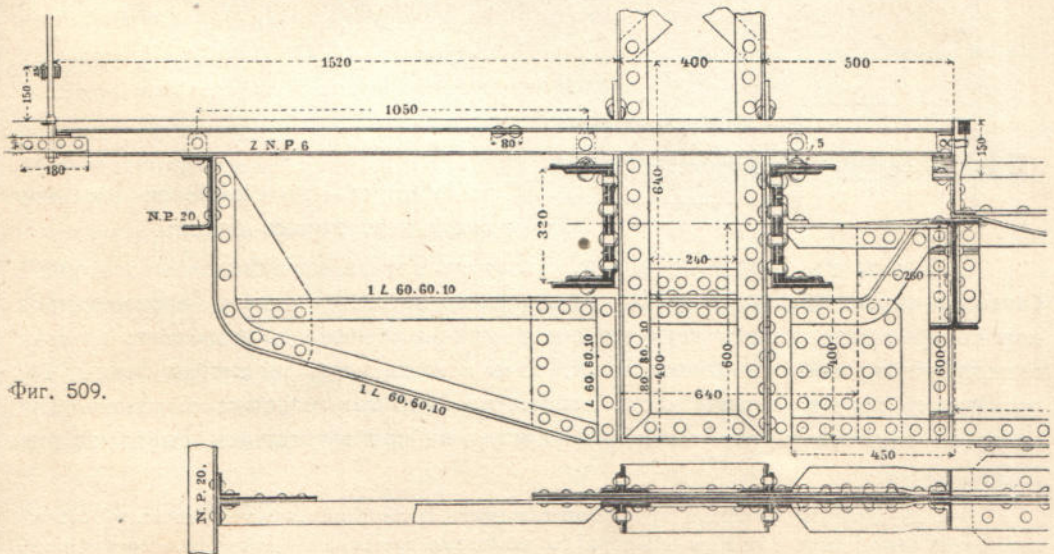
уголками стойки и, кромѣ того, приклепаны къ нимъ 4-мя вертикальными уголками 60 . 60 . 10 мм.

В. Мосты съ ѣздою по серединѣ.
 Въ этомъ случаѣ поперечныя балки прикрѣпляютъ только къ стойкамъ фермъ. При фермахъ со сплошною стѣнкою фасонная вставка или накладка, служащая для прикрѣпленія поперечной балки, можетъ быть доведена только до стѣнки фермы и зажата только между внутренними уголками стойки (фиг. 520 на стр. 418 I тома). При сквозныхъ фермахъ слѣдуетъ пропускать вставку на всю ширину стойки, зажимая ее между наружными и внутренними уголками стойки. При двустѣнчатыхъ поясахъ фермъ, когда стойка составлена изъ двухъ отдѣльныхъ половинъ,



Фиг. 508.

Городской мостъ черезъ Одеръ въ Козель.

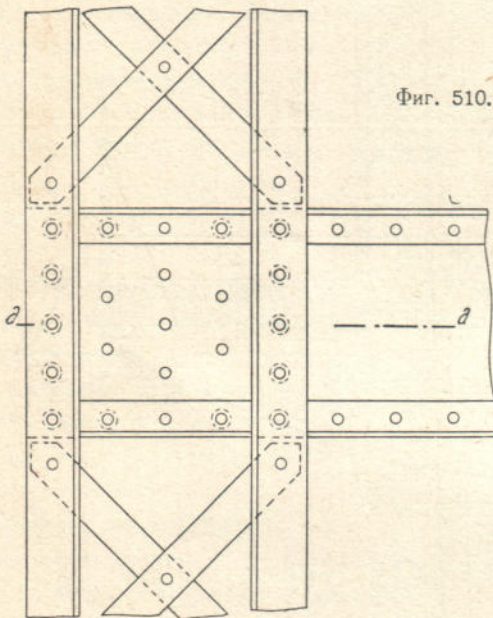


Фиг. 509.

Мостъ черезъ Эльбу въ Виттенбергъ.

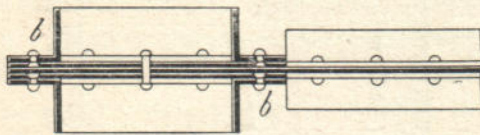
такое соединеніе имѣетъ тотъ недостатокъ, что давленіе распредѣляется нерав-

номѣрно между наружною и внутреннею половиною стойки. Болѣе равномерная передача давленія можетъ быть достигнута слѣдующею конструкціею (ф. 510). Зазоръ между уголками стойки увеличиваютъ настолько, чтобы, кромѣ стѣнки балки или вставки, въ немъ помѣщалось еще двѣ прокладки, каждую изъ которыхъ наглухо приклепываютъ только къ одной сторонѣ стойки ⁴⁾, дѣлая внутреннія головки этихъ заклепокъ потайными. Стѣнку поперечной балки или ея вставку приклепываютъ наглухо къ обѣимъ прокладкамъ, размѣщая эти заклепки симметрично къ вертикальной оси стойки. Подобный способъ прикрѣпленія, но съ устройствомъ заклепокъ *b* сквозными, согласно выноскѣ ⁴⁾, былъ примѣненъ въ мостѣ черезъ Сулу (фиг. 511), причемъ концы поперечныхъ балокъ снабжены вставкою, которая служитъ одновременно для прикрѣпленія діагоналей вертикальныхъ связей между фермами. Надъ вставкою, внутри стоекъ фермы, проходитъ вѣтровой поясъ верхнихъ горизонтальныхъ связей между фермами, рас-

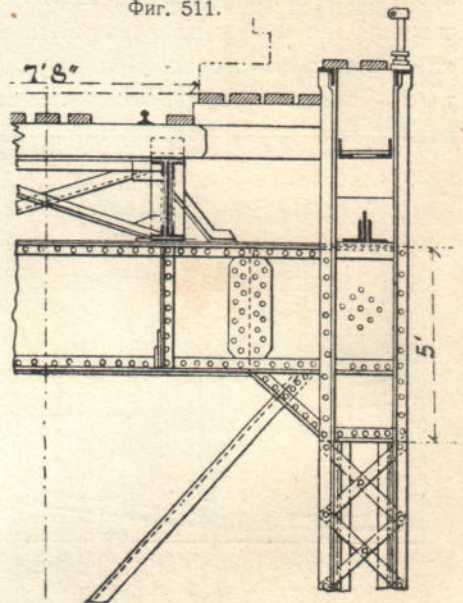


Фиг. 510.

Разрѣзъ по а-а.



Фиг. 511.



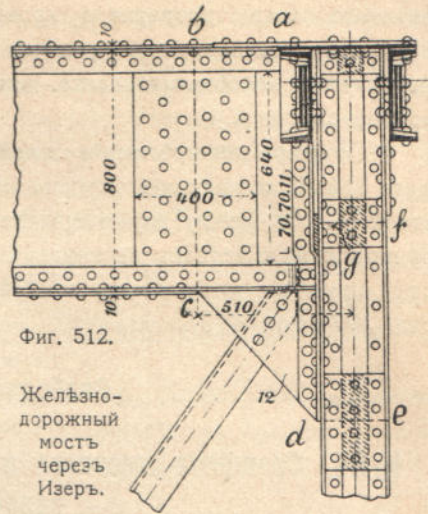
Железнодорожный мостъ черезъ Сулу на Ромны-Кременчугской желѣзной дорогѣ.

положенныхъ въ плоскости верхняго пояса поперечныхъ балокъ.

С. Мосты съ ѣздомъ по верху. Въ этомъ случаѣ прикрѣпленіе поперечной балки помощью фасоннаго листа (лучше всего вставки) можетъ производиться или въ предѣлахъ высоты верхняго пояса, или ниже него; но чаще всего вставку прикрѣпляютъ, какъ къ самому поясу, такъ и ниже него, къ стойкѣ фермы. Въ послѣднемъ случаѣ вставку часто снабжаютъ или треугольнымъ вырѣзомъ для пропуска нижняго уголка жесткости пояса, или прямоугольнымъ вырѣзомъ для

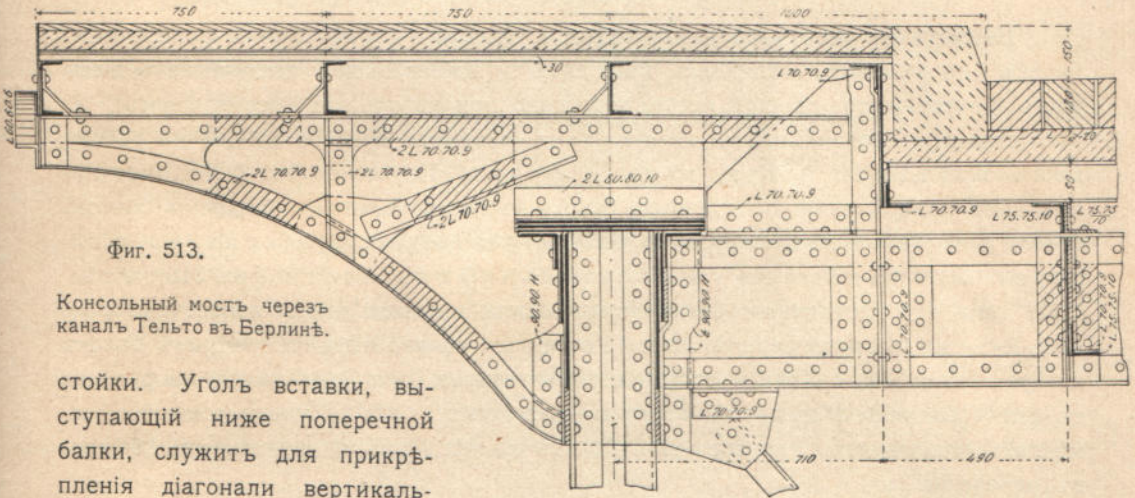
⁴⁾ Если склепать прокладки со стойкою сквозными заклепками съ устройствомъ въ стѣнкѣ поперечной балки дыръ большаго діаметра, то вслѣдствіе тренія между стѣнкою и прокладками, большая часть давленія будетъ передаваться внутреннимъ уголкамъ стойки.

пропуска всего сѣченія верхняго пояса, если оно имѣетъ небольшую высоту, какъ въ фиг. 512, гдѣ поперечная балка высотой 800 мм. прикрѣплена при помощи вставки *abcdefga*. Вставка имѣетъ прямоугольный вырѣзъ во всю высоту верхняго пояса фермы, составленнаго изъ 2 швеллеровъ, верхняго горизонтальнаго листа и 4 вертикальныхъ листовъ и прикрѣплена къ этому поясу только при помощи верхней горизонтальной накладки. На протяженіи *defg* вставка пропущена во всю ширину стойки и зажата между 4-мя ея уголками; кромѣ того, вставка зажата между двумя вертикальными уголками 70 . 70 . 11 мм., приклепанными къ внутреннимъ уголкамъ



Фиг. 512.

Желѣзнодорожный мостъ черезъ Изеръ.

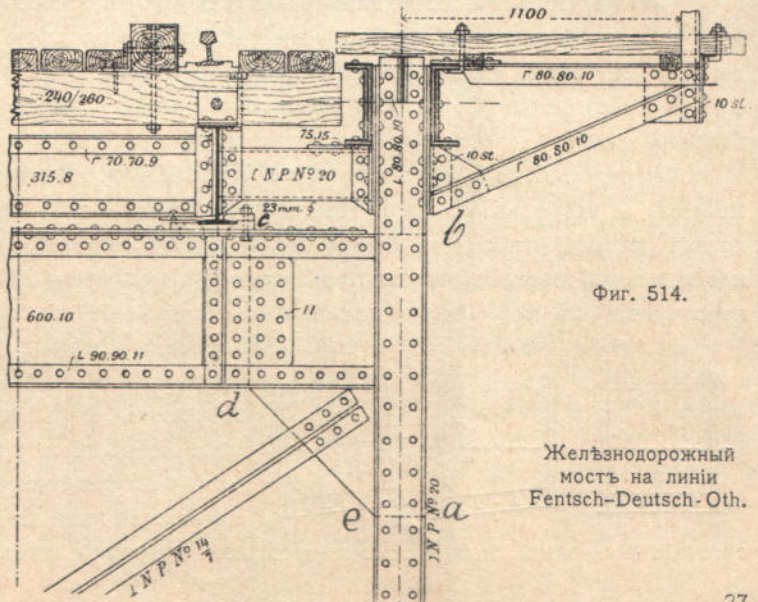


Фиг. 513.

Консольный мостъ черезъ каналъ Тельто въ Берлинѣ.

стойки. Уголь вставки, выступающій ниже поперечной балки, служитъ для прикрѣпленія діагонали вертикальныхъ связей между фермами.

Въ фиг. 513 поперечная балка моста подь обыкновенную дорогу прикрѣплена къ коробчатому верхнему поясу фермы при помощи фасонной вставки, отличающейся тѣмъ, что она выпущена вверхъ въ видѣ треугольной консоли, служащей для прикрѣпленія крайней продольной балки проѣзжей части, а также



Фиг. 514.

Желѣзнодорожный мостъ на линіи Fentsch-Deutsch-Oth.

верхняго пояса тротуарнаго кронштейна. Вставка зажата только между двумя короткими вертикальными уголками 90 . 90 . 11 мм., приклепанными къ внутренней стѣнкѣ коробчатаго пояса, между тѣмъ какъ уголки стойки фермы пропущены во внутрь пояса.

Примѣръ прикрѣпленія поперечной балки ниже верхняго пояса показанъ въ фиг. 514. Прикрѣпленіе сдѣлано при помощи вставки *abcde*, зажатой по всей своей высотѣ между двумя швеллерами, образующими стойку. Внизу къ вставкѣ прикрѣплена діагональ вертикальныхъ связей между фермами. Другіе относящіеся сюда примѣры имѣются на стр. 266 (фиг. 258), на стр. 312 (фиг. 354 bis) и на стр. 397 (фиг. 473).

Свободная проѣзжая часть.

§ 64. Сравненіе жесткаго и шарнирнаго прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ фермамъ.

Недостатки жесткаго прикрѣпленія. Жесткое прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ къ фермамъ, отличаясь простотою и дешевизною, увеличиваетъ жесткость поперечныхъ сѣченій моста (особенно при небольшой высотѣ фермъ), но зато страдаетъ несомнѣнными недостатками, оказывая вредное вліяніе на работу, какъ проѣзжей части, такъ и фермъ. Извѣстно (см. § 43), что при жесткомъ прикрѣпленіи поперечныхъ балокъ къ фермамъ, измѣненія длины поясовъ фермъ подъ дѣйствіемъ нагрузки и температуры вызываютъ искривленія поперечныхъ балокъ въ горизонтальной плоскости (фиг. 310), вслѣдствіе того, что продольныя балки удерживаютъ среднюю часть поперечныхъ балокъ отъ продольнаго перемѣщенія. Указанныя искривленія поперечныхъ балокъ влекутъ за собою, съ одной стороны, значительныя дополнительныя напряженія въ этихъ балкахъ, а съ другой стороны—разстройство заклепочныхъ соединений въ мѣстахъ прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ фермамъ и продольныхъ балокъ къ поперечнымъ.

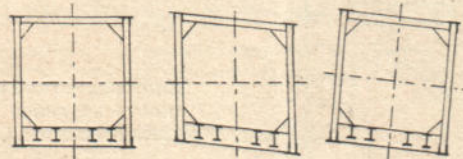
Что касается вреднаго вліянія закрѣпленныхъ поперечныхъ балокъ на фермы, то оно сводится: 1) къ скручиванію всего пролетнаго строенія въ тѣхъ случаяхъ, когда фермы неодинаково прогибаются, и 2) къ выгибу стоекъ и раскосовъ изъ плоскости фермъ, вслѣдствіе прогиба поперечныхъ балокъ.

Скручиваніе пролетнаго строенія. Извѣстно, что въ широкихъ мостахъ, и особенно въ двухпутныхъ желѣзнодорожныхъ мостахъ, временная нагрузка распредѣляется на фермы почти всегда неравномѣрно, вызывая въ нихъ неодинаковый прогибъ, вслѣдствіе чего, при жесткомъ прикрѣпленіи поперечной конструкции къ фермамъ, происходитъ скручиваніе всего пролетнаго строенія, причемъ фермы, расположенныя до деформации въ вертикальной плоскости, перестаютъ быть плоскими и работаютъ уже не въ тѣхъ условіяхъ, для которыхъ онѣ обыкновенно рассчитываются. Поперечное сѣченіе моста, имѣющее при отсутствіи временной нагрузки прямоугольное очертаніе, показанное въ фиг. 515, не

Фиг. 515.

Фиг. 516.

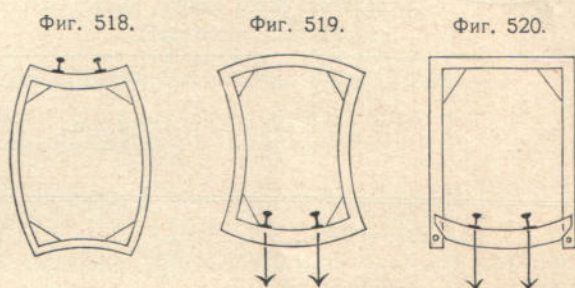
Фиг. 517.



прямоугольное очертаніе, показанное въ фиг. 515, не

можетъ принимать при дѣйствиі односторонней нагрузки видъ параллелограмма, который показанъ въ фиг. 516; этотъ видъ былъ бы желателенъ потому, что фермы прогибались бы въ вертикальной плоскости, оставаясь плоскими, и нагрузка дѣйствовала бы въ плоскости фермъ. При скручиваніи поперечнаго сѣченія, согласно фиг. 517, фермы поворачиваются изъ вертикальнаго положенія и перестаютъ быть плоскими. По мѣрѣ приближенія къ опорамъ, скручиваніе поперечныхъ сѣченій моста постепенно уменьшается. Деформація всего пролетнаго строения сводится къ его крученію относительно опорныхъ рамъ, которыя можно разсматривать какъ незыблемыя. Такое положеніе фермъ, при которомъ вертикальная нагрузка не дѣйствуетъ въ плоскости фермъ, не соотвѣтствуетъ тѣмъ условіямъ, при которыхъ принято производить расчетъ фермъ.

Выгибъ стоекъ и раскосовъ изъ плоскости фермъ, вызванный вертикальнымъ прогибомъ жестко прикрѣпленныхъ поперечныхъ балокъ, происходитъ внаружу моста при ѣздѣ по верху (фиг. 518) и во внутрь моста ^{в)}, при ѣздѣ по низу (фиг. 519), между тѣмъ какъ при шарнирныхъ поперечныхъ балкахъ (фиг. 520) получаютъ полурамы съ шарнирными нижними концами, которыя отъ прогиба поперечныхъ балокъ совсѣмъ не деформируются, а при неодинаковомъ вертикальномъ прогибѣ фермъ и при неравномѣрномъ нагрѣваніи частей рамы отъ солнца получаютъ значительно меньшія деформации и напряженія отъ изгиба, чѣмъ жесткія рамы.



Переходя къ вопросу о дополнительныхъ напряженіяхъ въ раскосахъ и стойкахъ фермъ, слѣдуетъ указать, что жесткое прикрѣпление поперечныхъ балокъ влечетъ за собою неодинаковое напряженіе внутренней и наружной половины раскосовъ и стоекъ, особенно если они имѣютъ двустѣнчатое сѣченіе.

Измѣренія, произведенныя на большихъ мостахъ черезъ Рейнъ въ Arnhem и черезъ Waal въ Nimègue (въ Голландіи) показали, что въ плоскихъ парныхъ раскосахъ фермъ напряженія внутренней полосы были до 30% и даже до 50% больше, чѣмъ наружной полосы. Вѣроятно, не вся эта разница относится за счетъ жесткаго прикрѣпленія поперечныхъ балокъ, такъ какъ есть и другія причины; на примѣръ, неодинаковое первоначальное натяженіе обѣихъ половинъ раскосовъ при сборкѣ, что влечетъ за собою неодинаковое распредѣленіе усилий въ обѣихъ половинахъ фермъ. Чтобы достигнуть болѣе равномѣрной работы обѣихъ половинъ раскосовъ и стоекъ, голландскіе инженеры примѣняютъ уже съ 1881 года шарнирныя поперечныя балки; но интересно указать, что въ 1883 году при постройкѣ моста черезъ Merwede въ Vaanhoeck ими примѣненъ еще слѣдующій приемъ: сохраняя жесткое прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ, внутреннія половины фермъ были усилены по сравненію съ наружными, такъ, на примѣръ, внутренней стѣнкѣ поясогъ была придана толщина 15 мм., вмѣсто 13 мм. для наружной; точно также внутреннимъ полосамъ раскосовъ придана толщина 15 мм., вмѣсто 13 мм. для наружныхъ.

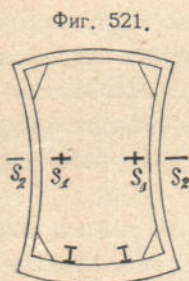
Измѣренія, произведенныя въ 1897 году инж. Пстрококонскимъ на консольномъ мосту черезъ Обь Сибирской жел. дороги, который имѣетъ шарнирныя поперечныя балки въ подвѣсныхъ пролетахъ и жесткія — на остальномъ протяженіи, показали, что уголки трубчатыхъ стоекъ напря-

^{в)} Чтобы судить о размѣрѣ этого прогиба, укажемъ, что для разсмотрѣннаго на стр. 420 моста черезъ Эльбу, середина 5-й стойки длиною 700 см. и шириною 30 см. при дополнительномъ напряженіи $\gamma = 154$ к/см.² прогибалась на 1,7 мм.

жены болѣе равномерно при шарнирномъ, чѣмъ при жесткомъ прикрѣпленіи поперечныхъ балокъ. Оказалось, что разница между наибольшимъ напряженіемъ наиболѣе напряженнаго уголка и среднимъ напряженіемъ всѣхъ уголковъ стойки составляла 90% при жесткомъ и 20% при шарнирномъ прикрѣпленіи поперечныхъ балокъ.

Большой интересъ представляютъ результаты измѣреній, произведенныхъ проф. Френкелемъ ⁶⁾ въ 1881 году на жел.-дор. съ вѣздой по низу мосту черезъ Эльбу въ Мейссенѣ съ двухраскосными фермами пролетомъ 53 м. Изъ 6 діаграммъ напряженій, снятыхъ для 5-й стойки при проходѣ трехъ поѣздовъ видно, что во всѣхъ трехъ опытахъ крайнее наружное волокно стойки испытывало исключительно сжимающія напряженія (фиг. 521); что же касается внутренней волокна, то знакъ его напряженія мѣнялся, смотря по положенію поѣзда. Изъ діаграммъ усматривается, что при проходѣ паровоза мимо стойки, ея внутренняя волокна растягивались, а наружныя сжимались; это ясно указываетъ на изгибъ стойки во внутрь моста (фиг. 521).

Напряженія s_1 и s_2 крайнихъ волоконъ 5-й стойки въ моментъ прохода паровоза мимо стойки, выписанныя изъ діаграммъ проф. Френкеля, помѣщены въ слѣдующей таблицѣ.

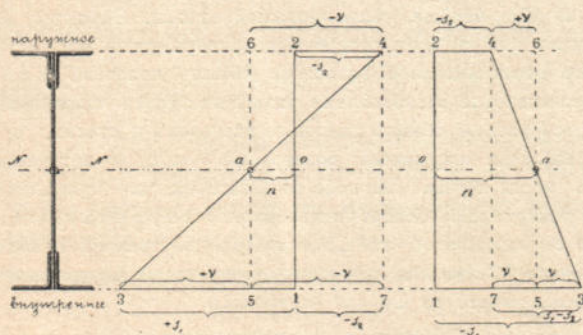


№ опыта.	Название поѣзда.	Растягивающее напряжение крайняго внутренняго волокна Fig. 7) s_1	Сжимающее напряжение крайняго наружнаго волокна Fig. 7) s_2	
			42 a.	43 a.
I	Товарный	42 b. +206 к./см. ²	42 a. -101 к./см. ²	
II	Пассажирскій	43 b. +191 „	43 a. -116 „	
III	Товарный	44 b. +108 „	44 a. -76 „	
IV	Паровозъ съ остановкою у стойки . .	45 +196 „	—	—

Расчетъ дополнительныхъ напряженій у стойки. Измѣренныя въ крайнихъ волокнахъ напряженія $+s_1$ и $-s_2$ представляютъ алгебраическую сумму основнаго, равномерно-распределеннаго сжимающаго напряженія $-n$ и искомаго дополнительнаго напряженія $\pm v$ отъ изгиба стойки, имѣющаго для обоихъ крайнихъ волоконъ одинаковую величину, но разные знаки. Расчетъ дополнительныхъ напряженій v , на основаніи измѣренныхъ напряженій s_1 и s_2 , усматривается изъ эпюръ напряженій, представленныхъ въ фиг. 522 для того случая, когда напряженія s_1 и s_2 имѣютъ разные знаки и въ фиг. 523, когда знаки у s_1 и s_2 одинаковые.

Фиг. 522.

Фиг. 523.



нейтральную ось NN сѣченія до пересѣченія съ 34 въ точкѣ a , тогда отрѣзокъ ao равенъ основному напряженію n . Проводимъ черезъ a прямую $56 \parallel 12$, тогда отрѣзокъ $46 =$ отрѣзку $35 =$ искомому дополнительному напряженію $\mp v$. Проводимъ еще $47 \parallel 12$, тогда отрѣзокъ $17 = 24 = s_2$, а отрѣзокъ $37 = 31 + 17 = s_1 + s_2 = 2v$, откуда

⁶⁾ Civilingenieur. 1881. Pag. 267.

⁷⁾ Номера фигуръ относятся къ діаграммамъ проф. Френкеля.

$$\nu = \frac{s_1 + s_2}{2} \dots \dots \dots (114)$$

Во II случаѣ, т. е. при одинаковыхъ знакахъ у s_1 и s_2 , получаемъ такимъ же образомъ, согласно фиг. 523, $oa = n$; $\nu = 46 = 35$; $37 = s_1 - s_2 = 2\nu$, откуда

$$\nu = \frac{s_1 - s_2}{2} \dots \dots \dots (115)$$

Во всѣхъ трехъ опытахъ s_1 и s_2 имѣютъ разные знаки, поэтому, пользуясь формулою (114), получаемъ дополнительное напряженіе крайнихъ волоконъ

для I опыта: $\nu = \frac{s_1 + s_2}{2} = \frac{206 + 101}{2} = 154 \text{ к./см.}^2$

для II опыта: $\nu = \frac{191 + 116}{2} = 154 \text{ к./см.}^2$

для III опыта: $\nu = \frac{108 + 76}{2} = 92 \text{ к./см.}^2$

Эти дополнительные напряженія очень велики, если сравнить ихъ съ основными равномерными напряженіями n , которыя рассчитываются по формулѣ $n = s - \nu$ и составляютъ

для опыта:	I	II	III
	$n = 52$	37	16 к./см.^2

Для устраненія указанныхъ недостатковъ въ современномъ мостостроеніи прибѣгаютъ къ свободной проѣзжей части, т. е. къ свободному прикрѣпленію поперечныхъ балокъ, которое должно обладать 1) шарнирностью, 2) подвижностью обоихъ концовъ вдоль моста и 3) подвижностью одного конца поперекъ моста. Шарнирность необходима для того, чтобы при прогибѣ поперечной балки въ вертикальной плоскости ея точки опоры сохраняли свое центральное положеніе относительно фермъ, и чтобы фермы на выгибались изъ вертикальной плоскости. Подвижность поперечныхъ балокъ вдоль фермъ необходима для того, 1) чтобы предупредить изгибъ балокъ въ горизонтальной плоскости, вслѣдствіе измѣненія длины поясовъ фермъ подъ дѣйствіемъ вертикальной нагрузки и температуры и 2) чтобы предохранить стойки фермъ отъ изгиба продольными силами, вызываемыми тормаженіемъ, сцѣпленіемъ колесъ и проч. (фиг. 406). Подвижность одного конца поперечныхъ балокъ поперекъ моста желательна для того, 1) чтобы при вертикальномъ своемъ прогибѣ поперечныя балки не распирали фермъ ⁸⁾ и 2) чтобы поперечныя балки не работали отъ горизонтальной нагрузки, что нежелательно въ виду значительнаго эксцентрицитета между горизонтальными связями и мѣстомъ прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ фермамъ, вызывающаго вредныя деформациі фермъ.

Кромѣ того, въ мостахъ со свободною проѣзжей частью прикрѣпленіе связей къ фермамъ должно быть устроено возможно менѣе жесткимъ въ вертикальной плоскости для того, чтобы каждая ферма могла самостоятельно прогибаться въ вертикальной плоскости, въ случаѣ неравномѣрнаго распредѣленія нагрузки на обѣ фермы, и чтобы не происходило искривленія фермъ изъ ихъ вертикальнаго положенія и скручиванія всего пролетнаго строенія (фиг 517). Указанныя требованія удовлетворяются, лучше всего, устройствомъ пролетнаго строенія изъ двухъ

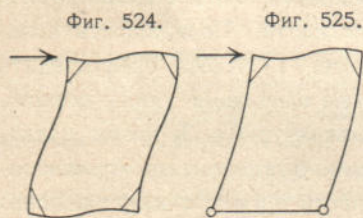
⁸⁾ Это устраняется, если концы поперечной балки скошены снизу настолько, что ея опоры находятся на уровнѣ ея нейтральной оси.

основныхъ частей, представляющихъ каждая одно самостоятельное и неизмѣняемое цѣлое, а именно: 1) изъ фермъ, соединенныхъ связями въ одну неизмѣняемую систему и 2) изъ проѣзжей части, также соединенной связями въ одно неизмѣняемое цѣлое, и поддерживаемой фермами свободнымъ образомъ.

Наибольшая независимость достигается при совершенномъ отдѣленіи проѣзжей части отъ главнаго строенія, т. е. при помѣщеніи проѣзжей части выше или ниже фермъ; въ первомъ случаѣ проѣзжую часть подпираютъ качающимися стойками, а во второмъ случаѣ ее подвѣшиваютъ къ фермамъ помощью длинныхъ и поэтому гибкихъ подвѣсокъ.

Въ зависимости отъ положенія проѣзжей части по отношенію къ фермамъ, будемъ различать три случая: 1) укладку поперечныхъ балокъ на верхній или нижній поясъ фермъ, 2) подвѣшивание поперечныхъ балокъ и 3) поддержаніе поперечныхъ балокъ качающимися стойками.

Устройство свободной проѣзжей части имѣетъ, кромѣ вышеуказанныхъ, еще слѣдующія преимущества. 1) Можно вести сборку фермъ независимо отъ проѣзжей части, и ускорить, такимъ образомъ, сборку. 2) Прогибъ поперечныхъ балокъ проѣзжей части, вызванный временною нагрузкою, не можетъ оказывать вліянія на связи между фермами, вслѣдствіе чего эти связи представляютъ болѣе неизмѣняемое соединеніе между фермами, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда поперечныя балки являются, вмѣстѣ съ тѣмъ, распорками связей. 3) Концы шарнирныхъ поперечныхъ балокъ, гдѣ изгибающій моментъ не великъ, могутъ быть скошены, руководствуясь исключительно прочностью стѣнки на скалываніе. 4) Свободныя поперечныя балки не участвуютъ въ деформации поперечныхъ сѣченій моста, вызванной вѣтромъ (фиг. 525). Закрѣпленныя балки,



хотя въ общемъ и испытываютъ отъ вертикальной нагрузки меньшіе изгибающіе моменты, чѣмъ свободныя балки, вслѣдствіе упругаго закрепленія ихъ концовъ, но зато онѣ искривляются при деформации поперечнаго сѣченія моста отъ вѣтра (фиг. 524), испытывая дополнительныя напряжения. Слѣдуетъ еще замѣтить, что простой способъ, примѣняемый для расчета поперечныхъ балокъ и соотвѣтствующій шарнирному прикрѣпленію ихъ концовъ, даетъ для свободныхъ поперечныхъ балокъ гораздо болѣе точные результаты, чѣмъ для закрепленныхъ.

Только для легкихъ мостовъ небольшого пролета, особенно подъ желѣзную дорогу, нельзя признать умѣстнымъ примѣненіе шарнирныхъ, свободно-лежащихъ поперечныхъ балокъ, въ виду сотрясеній, испытываемыхъ балками проѣзжей части при проходѣ поѣздовъ съ большою скоростью.

Перейдемъ теперь къ описанію разныхъ конструкцій свободной проѣзжей части, придерживаясь вышеуказанныхъ трехъ случаевъ расположенія проѣзжей части относительно фермъ.

§ 65. Укладка поперечныхъ балокъ на верхнемъ поясѣ фермъ.

При укладкѣ концовъ поперечныхъ балокъ на верхнемъ поясѣ фермъ центральность передачи давленія достигается наиболѣе просто и естественно.

Прикрѣпленіе поперечной балки можетъ быть глухое, если она приклепывается, или свободное, если она обладает шарнирностью, а иногда и подвижностью въ горизонтальной плоскости. Поперечныя балки могутъ имѣть или параллельные пояса на всемъ ихъ протяженіи, или же онѣ скашиваются по концамъ снизу для того, чтобы уменьшить высоту балокъ надъ ихъ опорами и, такимъ образомъ, повысить ихъ устойчивость и уменьшить распоръ, передающійся фермамъ при прогибѣ поперечныхъ балокъ. При скашиваніи концовъ слѣдуетъ имѣть въ виду возможность пропустить горизонтальныя связи подъ продольными балками (фиг. 451).

Въ виду незначительнаго эксцентрицитета между точками опоры поперечныхъ балокъ и между плоскостью верхнихъ горизонтальныхъ связей, можно пользоваться поперечными балками въ качествѣ распорокъ указанныхъ связей, если прикрѣпленіе балокъ къ фермамъ рассчитано на передачу поперечной силы отъ горизонтальной нагрузки. Несмотря на это, обыкновенно предпочитаютъ устраивать подъ поперечными балками особыя распорки или примѣнять для связей такую систему съ жесткими діагоналями, которая не требуетъ распорокъ.

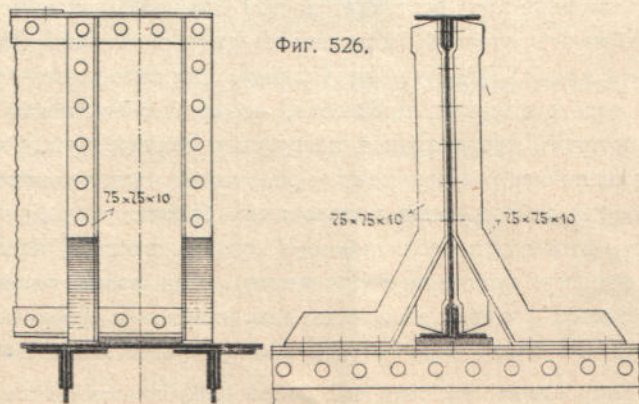
Глухое прикрѣпленіе. Поперечная балка приклепывается къ верхнему поясу фермы. Если поясъ широкій, то при прогибѣ поперечной балки, она надавливаетъ на внутренній край пояса, вызывая коробленіе послѣдняго. Во избѣжаніе этого, полезно подкладывать подъ конецъ поперечной балки подкладку небольшихъ размѣровъ, прикрѣпляя ее по оси пояса (фиг. 526). Если въ поясѣ фермы число горизонтальныхъ листовъ мѣняется, то положеніе всѣхъ поперечныхъ балокъ на одинаковомъ уровнѣ достигается путемъ измѣненія толщины указанной подкладки. Наименьшую ея толщину принимаютъ на нѣсколько мм. больше высоты заклепочныхъ головокъ на горизонтальныхъ листахъ пояса, т. е. около 13 мм.

Для удержанія поперечныхъ балокъ отъ опрокидыванія подъ дѣйствіемъ силъ, направленныхъ вдоль моста, слѣдуетъ принимать особыя мѣры въ тѣхъ случаяхъ, если высота поперечныхъ балокъ надъ ихъ опорами превышаетъ 30 см., и если продольныя балки связываютъ поперечныя балки недостаточно прочно, напримѣръ при расположеніи продольныхъ балокъ далеко отъ фермъ, или при свободной укладкѣ продольныхъ балокъ на поперечныхъ. Примѣняютъ слѣдующія мѣры для удержанія поперечныхъ балокъ отъ опрокидыванія.

1) Отгибаютъ нижній конецъ вертикальныхъ уголковъ, образующихъ опорную стойку поперечной балки, и приклепываютъ этотъ конецъ къ поясу фермы (фиг. 526).

Если поясъ имѣетъ коробчатое сѣченіе, то конецъ поперечной балки иногда снабжаютъ двумя парами такихъ уголковъ (фиг. 526), располагая ихъ надъ внутренними уголками пояса.

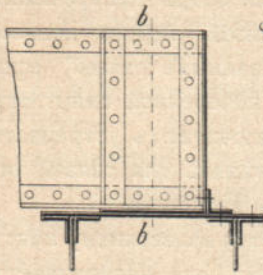
2) Удерживаютъ конецъ поперечной балки одною или двумя фасонными вертикальными накладками. При одной накладкѣ ее приклепываютъ



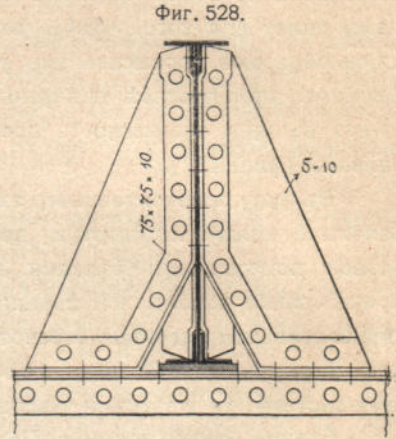
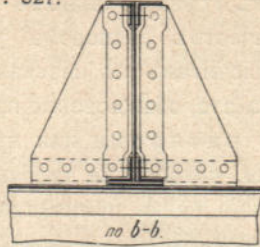
Желѣзнодорожный мостъ отвер. 25 саж. на II Екатерин. ж. д.

къ торцу поперечной балки (фиг. 527). При двухъ накладкахъ ихъ прикрѣпляютъ къ поперечной балкѣ сбоку, по одной накладкѣ съ каждой стороны (фиг. 528), производя прикрѣпление или изогнутымъ уголкомъ, какъ въ фиг. 528, или при помощи двухъ отдѣльныхъ уголковъ, изъ которыхъ вертикальный приклепанъ къ стѣнкѣ поперечной балки, а горизонтальный—къ поясу фермы (фиг. 534).

3) Концы поперечныхъ балокъ соединяютъ между собою легкою продольною балочкою



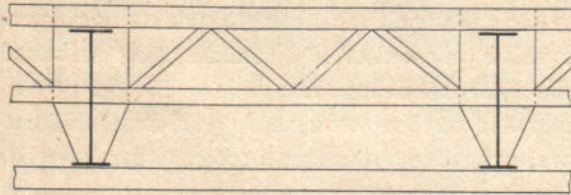
Фиг. 527.



25 саж. мостъ на II Екатерин. ж. д.

со сквозною стѣнкою и съ поясами изъ одного уголка. Если можно, приклепываютъ эту балочку къ торцу поперечныхъ балокъ. Въ противномъ случаѣ пропускаютъ верхній поясъ продольной балочки надъ поперечными балками (фиг. 529).

Фиг. 529.



Свободное прикрѣпление поперечныхъ балокъ къ верхнему поясу фермъ¹⁾ должно обладать не только шарнирностью, допускающею вращение концовъ поперечной балки при ея прогибѣ въ вертикальной плоскости, но и подвижностью, допускающею перемѣщение обоихъ концовъ балки вдоль фермъ, а одного конца—поперекъ фермъ.

Шарнирность необходима для того, чтобы точки опоры поперечной балки сохраняли центральное положеніе относительно фермъ и не измѣняли своего положенія при прогибѣ балокъ. Это важно для того, чтобы предупредить вредныя деформации фермъ при прогибѣ поперечныхъ балокъ. Обыкновенно шарнирность достигается при помощи цилиндрической выпуклости, которою снабжаютъ опорныя подушки поперечной балки. **Подвижность** поперечныхъ балокъ вдоль фермъ необходима для того, чтобы предупредить изгибъ балокъ въ горизонтальной плоскости, вслѣдствіе измѣненія длины поясовъ фермъ подъ дѣйствіемъ вертикальной нагрузки и температуры. Такая подвижность достигается оставленіемъ зазора между опорными частями поперечныхъ балокъ. Подвижность одного конца поперечныхъ балокъ поперекъ моста желательна для того, чтобы при вертикальномъ своемъ прогибѣ поперечныя балки не распирали фермъ, что впрочемъ устраняется, если концы поперечной балки скошены снизу настолько, чтобы ея опоры находились на уровнѣ нейтральной оси балки. На практикѣ такая подвижность рѣдко осуществляется.

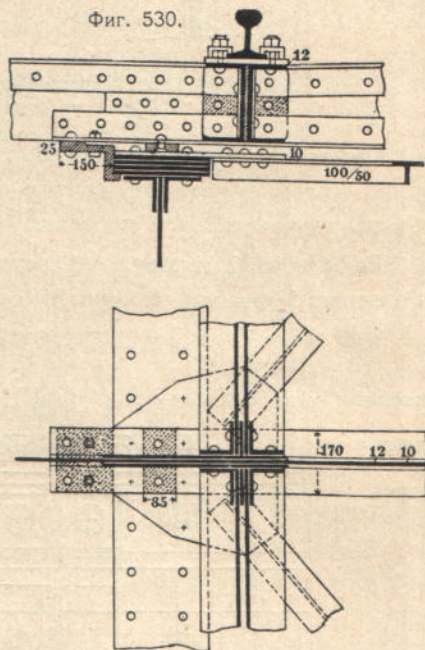
¹⁾ Еще въ 1865 году инж. Calcott Reilly предложилъ шарнирное прикрѣпление поперечныхъ балокъ при помощи чугунной подушки съ шарниромъ (Vol. XXIV Minutes of Instit. of Civ. Eng.).

Въ случаѣ примѣненія неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ, или разрѣзныхъ съ очень жесткимъ прикрѣпленіемъ къ поперечнымъ балкамъ, слѣдуетъ убедиться не могутъ ли возникнуть отрицательныя реакціи въ шарнирныхъ опорахъ поперечныхъ балокъ, стремящіяся приподнять балки. Въ этихъ случаяхъ слѣдуетъ отдавать предпочтеніе глухому прикрѣпленію поперечныхъ балокъ.

Если высота шарнирныхъ поперечныхъ балокъ надъ ихъ опорами превышаетъ 30 см. и если продольныя балки расположены далеко отъ фермъ, то слѣдуетъ для удержанія отъ опрокидыванія подѣ дѣйствіемъ силъ, направленныхъ вдоль моста, соединять концы поперечныхъ балокъ легкою продольною балочкою изъ двухъ уголковъ (фиг. 529 и 540).

Примѣры укладки поперечныхъ балокъ на верхнемъ поясѣ фермъ

Въ фиг. 530 поперечная балка изъ стѣнки и 4 уголковъ опирается на тавровый верхній поясъ фермы при помощи узкой подкладки изъ полосового желѣза 85 . 15 мм., приклепанной къ нижнимъ уголкамъ поперечной балки двумя заклепками съ потайными нижними головками. Эта подкладка опирается на горизонтальную фасонную накладку, приклепанную къ поясу фермы и служащую для прикрѣпленія діагоналей горизонтальныхъ связей между фермами. Чтобы удержать поперечную балку отъ поперечнаго сдвига и отъ поднятія, къ ней прикрѣпленъ зажимъ, имѣющій внизу крючекъ, которымъ онъ захватываетъ край горизонтальныхъ листовъ пояса. Зажимъ приклепанъ къ поперечной балкѣ двумя заклепками, а чтобы прижать его къ фермѣ, имѣется еще два вертикальныхъ болта. Описанное прикрѣпленіе допускаетъ перемѣщеніе поперечныхъ балокъ вдоль фермъ; но чтобы предупредить продольный угонъ всей проѣзжей части, пришлось двѣ среднія поперечныя балки наглухо приклепать къ фермамъ.

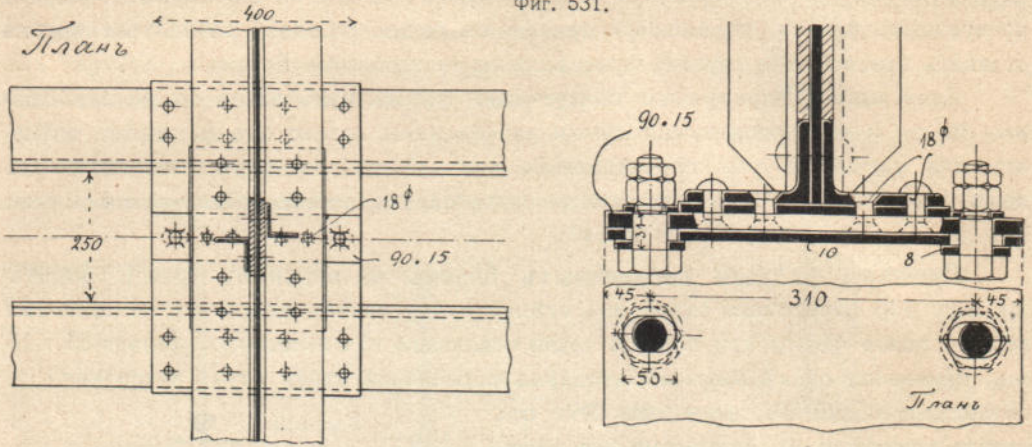


Разрѣзъ по серединѣ продольной балки. Glasträgerbrücke d. Schwarzwaldbahn.

Въ фиг. 531, которую слѣдуетъ разсматривать вмѣстѣ съ фиг. 257 на стр. 265, поперечная балка изъ сплошной стѣнки и 4 уголковъ шарнирнымъ образомъ опирается на верхній поясъ фермы, имѣющій коробчатое сѣченіе безъ горизонтальныхъ листовъ, которое составлено изъ двухъ стѣночекъ, отстоящихъ одна отъ другой на 250 мм., и изъ 4 наружныхъ уголковъ (фиг. 257). Поясъ фермы покрытъ въ узлѣ горизонтальною накладкою 400 . 10 мм., приклепанною къ верхнимъ уголкамъ пояса. Къ нижнему поясу балки, снабженному опорнымъ листомъ 260 . 10 мм., длиною 350 мм., приклепана помощью 4-хъ заклепокъ діам. 18 мм. съ потайными (кромѣ двухъ) головками поперечная подкладка изъ полосового желѣза 90 . 15 мм., длиною 400 мм. При помощи этой подкладки поперечная балка опирается на поясъ фермы вполне центрально. Чтобы удержать балку отъ сдвига поперекъ моста и отъ приподнятія, концы подкладки 90 . 15 мм. прикрѣплены къ накладкѣ фермы двумя болтами діам. 32 мм.,

снабженными сверху и снизу шайбами толщиной 8 мм. Дыры для этихъ болтовъ устроены круглыми въ подкладкѣ и овальными въ накладкѣ (длина овала = 50

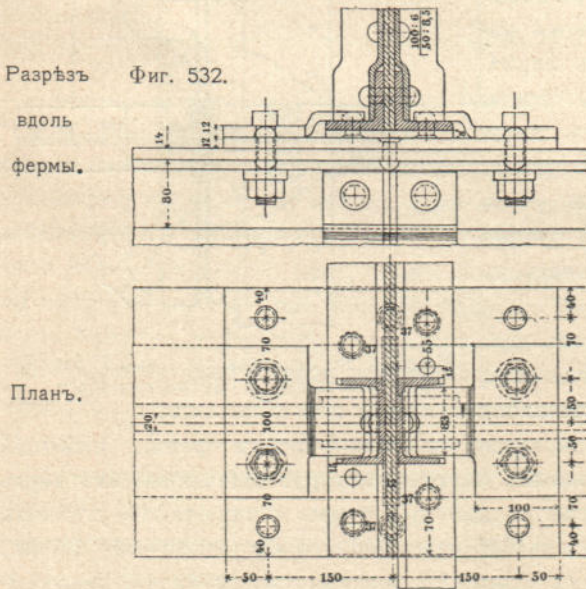
Фиг. 531.



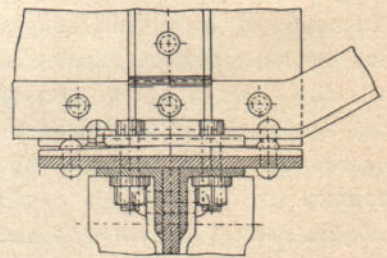
Шоссейный мостъ черезъ каналъ Эльбе-Траве въ Мельнъ-Шварценбекѣ.
(Сюда же относится фиг. 257 на стр. 265).

мм.) для того, чтобы измѣненія длины верхняго пояса фермъ подѣ дѣйствіемъ нагрузки и температуры не передавались поперечнымъ балкамъ, вызывая ихъ изгибъ въ горизонтальной плоскости.

Въ фиг. 532, которую слѣдуетъ разсматривать вмѣстѣ съ фиг. 66 на стр. 99 поперечная балка изъ стѣнки и 4 уголковъ опирается на тавровый верхній поясъ



Разрѣзъ поперекъ фермы.



Желѣзнодорожный мостъ черезъ Дунай у Штейнбаха.

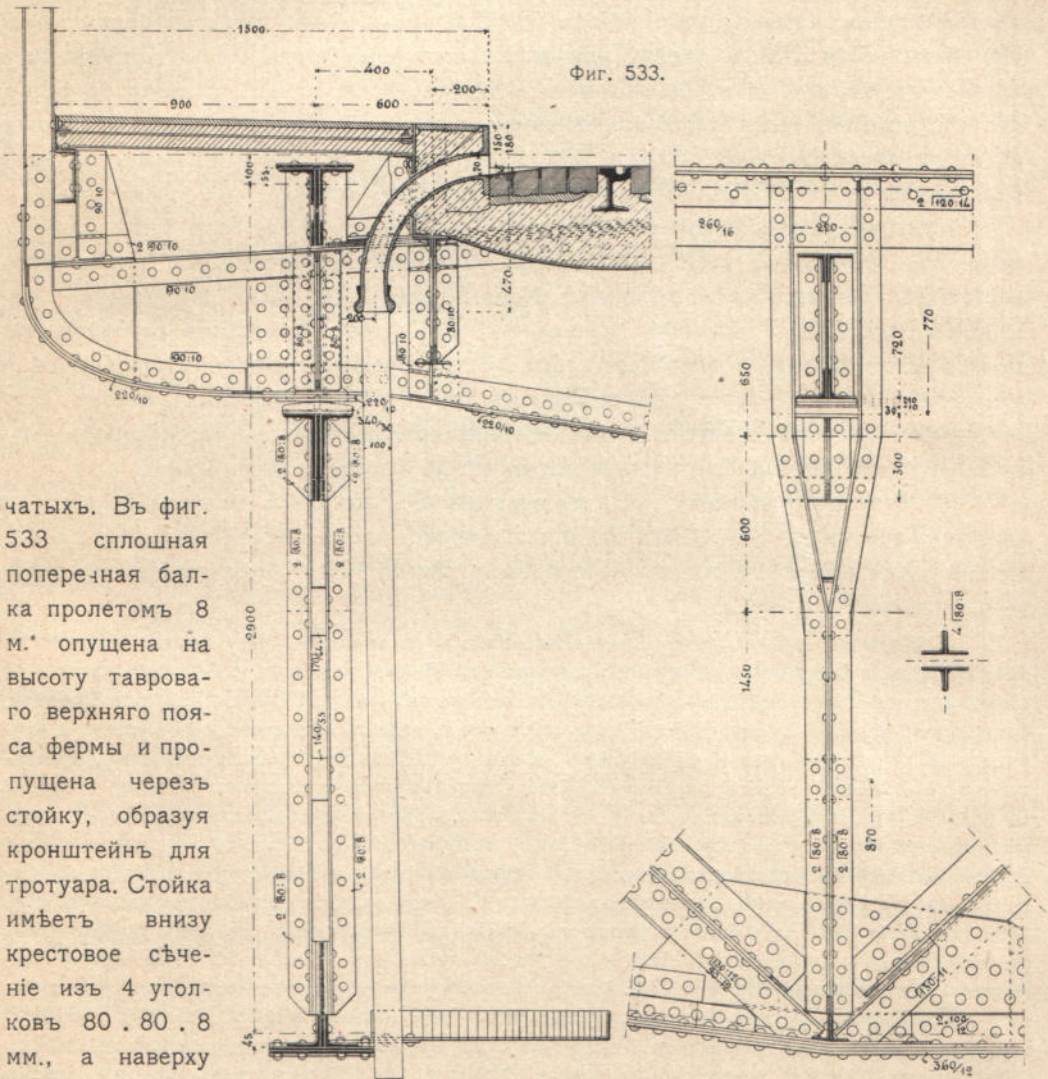
(сюда же относится фиг. 66 на стр. 99).

фермы. Четырьмя заклепками съ потайными нижними головками къ нижнему поясу поперечной балки приклепанъ опорный листъ, который опирается на тонкую желѣзную плиту размѣромъ 320 × 400 мм. съ цилиндрическою выпуклостью, приклепанную шестью заклепками къ свѣсамъ горизонтальнаго листа верхняго пояса фермы. Отъ сдвига поперекъ моста и отъ поднятія поперечная балка удерживается двумя прижимами съ лапкою, приболченными къ уголкамъ пояса, между тѣмъ

какъ лапки прижимаютъ уголки поперечной балки, помѣщаясь внутри вертикальныхъ швеллеровъ, которые служатъ опорною стойкою балки. Ширина лапокъ подобрана такъ, чтобы онѣ не препятствовали перемѣщенію поперечной балки вдоль фермы. Чтобы предупредить продольный угонъ всей проѣзжей части, три среднія продольныя балки закрѣплены къ поясу фермы вертикальными болтами, по два на конецъ каждой балки.

Если строительная высота моста недостаточна для укладки поперечныхъ балокъ на верхнемъ поясѣ фермы, можно помѣщать ихъ подъ этимъ поясомъ, опирая ихъ шарнирнымъ образомъ на стойки фермы. При этомъ нѣтъ надобности придавать стойкамъ трубчатое сѣченіе, такъ что рассматриваемая конструкция примѣнима не только при двустѣнчатыхъ фермахъ, но и при одностѣн-

Фиг. 533.



чатыхъ. Въ фиг. 533 сплошная поперечная балка пролетомъ 8 м. опущена на высоту таврового верхняго пояса фермы и пропущена черезъ стойку, образуя кронштейнъ для тротуара. Стойка имѣетъ внизу крестовое сѣченіе изъ 4 уголковъ 80 . 80 . 8 мм., а наверху уголки стойки вилкообразно раздваиваются

Шоссейный мостъ черезъ Эльбу въ Гарбургѣ. (Сюда же относятся фиг. 160 до 163 на стр. 170 и 171 II тома).

для того, чтобы пропустить поперечную балку и устроить для нее опору. Балка при помощи опорнаго листа 220 . 10 мм. опирается на стальную плитку съ цилинд-

рической выпуклостью, снабженною въ своемъ центрѣ шипомъ для удержанія балокъ отъ сдвига и для того, чтобы поперечныя балки могли служить распорками между сжатыми верхними поясами фермъ. Плитка уложена на вертикальной накладкѣ высотой 300 мм. и на двухъ неравнобокихъ уголкахъ, зажатыхъ между уголками стойки. Обѣ фермы моста пролетомъ 31,1 м. соединены между собою продольными связями въ плоскости нижняго пояса и вертикальными связями только надъ опорами (см. фиг. 161 на стр. 170 II тома). Роль верхнихъ продольныхъ связей исполняетъ сплошной желѣзный настилъ проезжей части.

§ 66. Укладка поперечныхъ балокъ на нижнемъ поясѣ фермъ.

Укладка поперечныхъ балокъ на нижнемъ поясѣ фермъ особенно удобна въ тѣхъ случаяхъ, когда фермы имѣютъ простую треугольную рѣшетку безъ стоекъ. При наличности стоекъ, уголки или другія составныя части стоекъ должны быть раздвинуты настолько, чтобы пропустить между собою конецъ поперечной балки; это достигается, чаще всего, примѣненіемъ трубчатыхъ стоекъ: но въ послѣднее время встрѣчаются также стойки двутавроваго сѣченія изъ 4 уголковъ, которые раздваиваются въ своемъ нижнемъ концѣ (фиг. 539 и 540).

Прикрѣпленіе поперечной балки можетъ быть глухое, если балка приклепана, или свободное, если прикрѣпленіе обладаетъ шарнирностью²⁾ и подвижностью въ горизонтальной плоскости. Концы поперечной балки обыкновенно скашиваютъ снизу, съ одной стороны, для того, чтобы уменьшить строительную высоту, а съ другой стороны, для того, чтобы повысить устойчивость балокъ и уменьшить распоръ, передающійся фермамъ при прогибѣ поперечныхъ балокъ. При скашиваніи концовъ слѣдуетъ имѣть въ виду возможность пропустить подъ продольными балками горизонтальныя связи между фермами (фиг. 450).

Поперечными балками, уложенными на нижній поясѣ фермъ и прикрѣпленными къ нимъ наглухо или шарнирно, очень рѣдко пользуются въ качествѣ распорокъ нижнихъ продольныхъ связей между фермами, желая избѣ-

²⁾ Шарнирное прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ къ нижнему поясу фермъ получило въ Россіи широкое примѣненіе. Однимъ изъ первыхъ примѣровъ укладки поперечныхъ балокъ на нижнемъ поясѣ фермъ является городской (Александровскій) мостъ черезъ Вислу въ Варшавѣ, построенный въ 1858 г. Поперечныя балки этого моста имѣютъ скошенные снизу концы, и опираются на коробчатый нижній поясѣ фермъ черезъ посредство вертикальной діафрагмы, приклепанной къ стѣнкамъ пояса и окаймленной сверху горизонтальными уголками, которые склепаны съ нижними уголками поперечной балки. Этотъ способъ прикрѣпленія поперечныхъ балокъ получилъ дальнѣйшее развитіе въ мостѣ черезъ Вислу на Ивангородо-Домбровской жел. дор. (1882 г.), причемъ для центральной и болѣе равномерной передачи давленія на обѣ стѣнки пояса примѣнена небольшая прокладка между поперечною балкою и между опорною площадкою (фиг. 534). Съ 1886 года проф. Бѣлелюбскій начинаетъ примѣнять выработанный имъ типъ укладки поперечныхъ балокъ на нижніе пояса фермъ при помощи чугунныхъ балансировъ и цилиндрическаго шарнира между ними (фиг. 535 и 536). Этотъ типъ шарнирныхъ поперечныхъ балокъ примѣняется проф. Бѣлелюбскимъ послѣдовательно для слѣдующихъ мостовъ: на Николаевской жел. дор. черезъ Волгу въ Твери длиной 84 саж.; на Самаро-Златоустовской ж. д. черезъ Бѣлую длиной 300 саж. и черезъ Уфу длиной 150 саж.; на Сибирской жел. дор. черезъ Томь длиной 80 саж., черезъ Ишимъ длиной 100 саж., черезъ Тоболь длиной 200 саж., черезъ Иртышъ длиной 300 саж. и черезъ Обь длиной 372 саж.; на Забайкальской жел. дорогѣ черезъ Селенгу длиной 240 саж., черезъ Ононъ и черезъ Ингоду; на Закаспійской жел. дорогѣ черезъ Сыръ-Дарью. Шарнирныя поперечныя балки того же типа примѣнены еще на многихъ другихъ русскихъ жел. дорогахъ, а также на цѣломъ рядѣ мостовъ подъ обыкновенную дорогу.

жать вредныя послѣдствія того значительнаго эксцентрицитета, который имѣется между плоскостью нижнихъ связей и мѣстомъ прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ поясу фермъ. Заставляя поперечныя балки работать на вѣтеръ, мы вызвали бы крученіе поясовъ фермъ и выпучиваніе ихъ стоекъ и раскосовъ. Для устраненія указанной внѣцентричности и для передачи поперечнымъ балкамъ вѣтрового усилія въ плоскости связей, снабжаютъ иногда скошенный снизу конецъ поперечной балки небольшою распоркою (фиг. 541) или кронштейномъ (мос. чер. Рейнъ въ Рененѣ); но эти конструкціи нельзя признать удачными, потому что онѣ парализуютъ шарнирность прикрѣпленія поперечной балки.

Гораздо лучше устраивать связи между фермами независимо отъ поперечныхъ балокъ, которыя деформируются при дѣйствіи временной нагрузки. При этомъ можно помѣщать подъ поперечными балками отдѣльныя распорки³⁾ или обходиться вовсе безъ распорокъ, примѣняя для связей двухрѣшетчатую систему съ жесткими діагоналями. Недостатокъ устройства отдѣльныхъ распорокъ заключается въ увеличеніи вѣса связей, а также строительной высоты моста, т. е. возвышенія полотна надъ низомъ фермъ. Въ случаѣ примѣненія связей двухрѣшетчатой системы съ жесткими діагоналями, можно избѣжать указанные недостатки.

Опорная площадка. Если пояса фермъ имѣютъ тавровое сѣченіе, поперечныя балки опираются непосредственно на верхній край стѣнки пояса, которую, во избѣжаніе смятія, иногда окаймляютъ полосовымъ желѣзомъ. При коробчатомъ сѣченіи поясовъ нельзя опирать поперечную балку на стѣнки пояса, во избѣжаніе перегрузки внутренней стѣнки, а необходимо устраивать опорную площадку, которая распредѣляла бы давленіе поперечной балки равномерно между обѣими стѣнками пояса. Опорную площадку можно устроить по одному изъ слѣдующихъ способовъ. 1) Между стѣнками пояса вставляютъ вертикальную поперечную діафрагму, окаймленную сверху двумя горизонтальными уголками. 2) На эту діафрагму приклепываютъ сверху горизонтальный листъ и опираютъ его двумя краями на уголки, приклепанные къ стѣнкамъ пояса (фиг. 536) или къ замѣняющимъ ихъ узловымъ вставкамъ (фиг. 538). 3) Укладываютъ на края стѣнокъ или приболчиваютъ къ стѣнкамъ балансиръ, отлитый изъ чугуна или стали (фиг. 542).

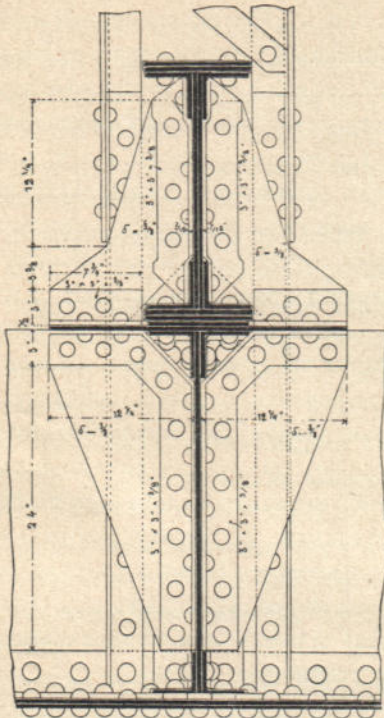
Мѣры противъ опрокидыванія. Если высота поперечныхъ балокъ надъ ихъ опорами превышаетъ 30 см., и если продольныя балки расположены далеко отъ фермъ, слѣдуетъ принимать мѣры для удержанія поперечныхъ балокъ отъ опрокидыванія подъ дѣйствіемъ силъ, направленныхъ вдоль моста. Не слѣдуетъ пользоваться для этой цѣли уголками стоекъ, обхватывающими поперечныя балки, чтобы не вызывать изгиба этихъ стоекъ вдоль моста. Лучше воспользоваться однимъ изъ способовъ, описанныхъ на стр. 424, отдавая, по возможности, предпочтеніе легкой продольной балочкѣ со сквозною стѣнкою, связывающей между собою концы всѣхъ поперечныхъ балокъ (фиг. 540).

Глухое прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ къ нижнему поясу фермъ имѣетъ мѣсто въ томъ случаѣ, если онѣ приклепаны къ опорной площадкѣ, при помощи которой онѣ опираются на поясъ. Чтобы при коробчатомъ сѣченіи поясовъ давленіе поперечной балки распредѣлялось равномерно между обѣими стѣнками пояса, полезно подкладывать подъ конецъ поперечной балки подкладку не-

³⁾ Въ большинствѣ случаевъ распоркамъ придаютъ трубчатое сѣченіе такой же ширины какъ трубчатая стойка фермъ.

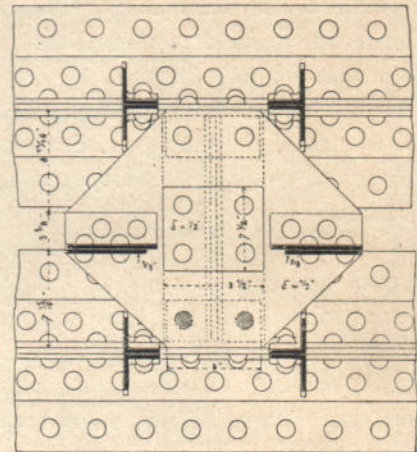
большихъ размѣровъ, прикрѣпляя ее по оси пояса. Такое прикрѣпление поперечныхъ балокъ примѣнено въ Россіи на мостахъ черезъ Вислу на Ивангородо-Домбровской ж. д. и черезъ Великую на Псково-Рижской ж. д. съ тою разницею, что въ первомъ случаѣ поперечная балка служитъ одновременно распоркою нижнихъ связей между фермами, а въ мостѣ черезъ Великую (фиг. 534) имѣются отдѣльныя распорки изъ 4 уголковъ, которые прикрѣплены къ поясамъ помощью особыхъ короткихъ уголковъ, помѣщенныхъ между уголками трубчатыхъ стоекъ.

Разсмотримъ глухое прикрѣпление поперечныхъ балокъ моста черезъ Великую (фиг. 534). Между стѣнками коробчатого пояса фермы вставлена вертикальная діафрагма изъ листа, окаймленного снизу и сверху горизонтальными угол-



Фиг. 534.

П л а н ъ.



Железнодорожный мостъ отверстіемъ
30 саж. черезъ Великую на
Псково-Рижской жел. дор.

ками. На діафрагму положенъ горизонтальный опорный листъ, углы котораго отрѣзаны для того, чтобы пропустить внутренніе уголки трубчатой стойки. Поперечная балка опирается на этотъ листъ при помощи небольшой прямоугольной плитки размѣромъ $7\frac{1}{2} \times 8\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ дм. и приклепана четырьмя заклепками. Стойка фермы имѣетъ трубчатое сѣченіе изъ 8 уголковъ, раздвинутыхъ по фасаду фермы настолько, чтобы можно было пропустить между ними поперечную балку. Для удержанія поперечной балки отъ опрокидыванія, каждый ея конецъ снабженъ двумя накладками, приклепанными къ стѣнкѣ балки и къ опорному листу, который для этой цѣли поддерживается снизу двумя кронштейнами.

Свободное прикрѣпление поперечныхъ балокъ къ нижнему поясу фермъ должно обладать не только шарнирностью, допускающею вращеніе концовъ поперечной балки при ея прогибѣ въ вертикальной плоскости, но и подвижностью, допускающею перемѣщеніе обоихъ концовъ балки вдоль фермъ, а одного конца — поперекъ фермъ.

Шарнирность необходима для того, чтобы точки опоры поперечной балки

имѣли центральное положеніе относительно фермъ и не измѣняли своего положенія при прогибѣ балокъ. Это важно для того, чтобы предупредить вредныя деформации фермъ при прогибѣ поперечныхъ балокъ. Шарнирность достигается двумя способами, или закругленіемъ головки балансировъ по цилиндрической или шаровой поверхности въ мѣстахъ ихъ взаимнаго соприкасанія, или помѣщеніемъ между балансиромъ отдѣльнаго шарнира — вкладыша цилиндрическаго или шарового вида (см. стр. 67 до 104 II тома). Шаровые шарниры⁴⁾, имѣя вообще большія преимущества передъ цилиндрическими, страдаютъ, въ данномъ случаѣ, тѣмъ недостаткомъ, что они лишаютъ поперечныя балки подвижности какъ вдоль, такъ и поперекъ моста, что по изложеннымъ далѣе соображеніямъ не всегда желательно.

Подвижность поперечныхъ балокъ вдоль фермъ необходима для того, 1) чтобы предупредить изгибъ балокъ въ горизонтальной плоскости, вслѣдствіе измѣненія длины поясовъ фермъ подъ дѣйствіемъ вертикальной нагрузки и температуры и 2) чтобы предохранить стойки фермъ отъ изгиба продольными силами, вызываемыми тормажениемъ, сцѣплениемъ колесъ и проч. (фиг. 406). Продольная подвижность достигается оставленіемъ зазора между балансиромъ или другими опорными частями поперечныхъ балокъ.

Подвижность одного конца поперечныхъ балокъ поперекъ моста желательна для того, 1) чтобы при вертикальномъ своемъ прогибѣ поперечныя балки не распирала фермъ, что впрочемъ устраняется, если концы поперечной балки скошены снизу настолько, чтобы ея опоры находились на уровнѣ нейтральной оси балки и 2) чтобы поперечныя балки не работали отъ горизонтальной нагрузки. Послѣднее нежелательно, въ виду значительнаго эксцентриситета между нижними связями и мѣстомъ прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ фермамъ, вслѣдствіе чего вызываются вредныя деформации фермъ. Слѣдуетъ, однако, замѣтить, что на практикѣ подвижность поперечныхъ балокъ поперекъ моста обыкновенно не осуществляется.

Въ случаѣ примѣненія неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ, или разрѣзныхъ съ очень жесткимъ прикрѣпленіемъ ихъ къ поперечнымъ балкамъ, слѣдуетъ убѣдиться, не могутъ ли возникать отрицательныя реакціи на шарнирныхъ опорахъ поперечныхъ балокъ, стремящіяся приподнять балки. Въ этомъ случаѣ слѣдуетъ отдавать предпочтеніе глухому прикрѣпленію поперечныхъ балокъ.

Если высота шарнирныхъ поперечныхъ балокъ надъ ихъ опорами превышаетъ 30 см., и если продольныя балки расположены далеко отъ фермъ, слѣдуетъ соединять концы поперечныхъ балокъ легкою продольною балочкою изъ двухъ уголковъ (фиг. 529 и 540).

Примѣры шарнирныхъ поперечныхъ балокъ. Разсмотримъ сперва случаи, когда пояса фермъ имѣютъ коробчатое сѣченіе, а затѣмъ случаи тавровыхъ поясовъ. Въ фиг. 535 показанъ типъ шарнирной поперечной балки съ трубчатую распоркою подъ нею, примѣненный проф. Вѣлелюбскимъ для многихъ изъ мостовъ, перечисленныхъ на стр. 428. Скошенный снизу конецъ поперечной балки пропущенъ между уголками трубчатой стойки фермы и опирается на коробчатый нижній поясъ фермы при помощи чугунныхъ опорныхъ частей, состоя-

⁴⁾ Поперечныя балки съ шаровыми шарнирами примѣнены для моста отверстіемъ 50 саж. черезъ Инютенку на Козлово-Воронежской жел. дор.

шихъ изъ верхняго и нижняго балансира и изъ цилиндрическаго шарнира между ними, пригнаннаго безъ зазора, вслѣдствіе чего прикрѣпленіе поперечной балки

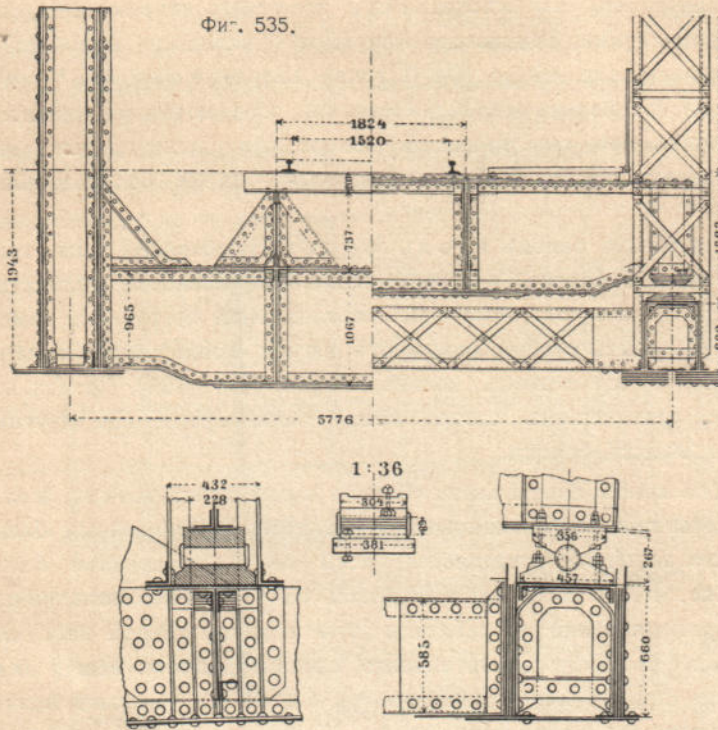
не допускаетъ перемѣщенія ни вдоль, ни поперекъ моста. Опорная площадка, поддерживающая нижній балансиръ, состоитъ изъ горизонтальнаго листа, уложеннаго: 1) на вертикальной діафрагмѣ, окаймленной двумя изогнутыми въ видѣ подковы уголками, и 2) на двухъ горизонтальныхъ уголкахъ, которые приклепаны къ верхнему краю стѣнокъ пояса. Къ нижнимъ концамъ уголковъ трубчатой стойки, обхватывающимъ нижній поясъ фермы

снаружи, приклепана трубчатая распорка нижнихъ связей высотой 585 мм., составленная изъ 4 уголковъ. Лѣвая половина фиг. 535 изображаетъ опорную поперечную балку, приклепанную къ опорной стойкѣ фермы съ примѣненіемъ углового кронштейна. Опорная балка расположена ниже промежуточныхъ балокъ, такъ чтобы можно было уложить на нее концы продольныхъ балокъ.

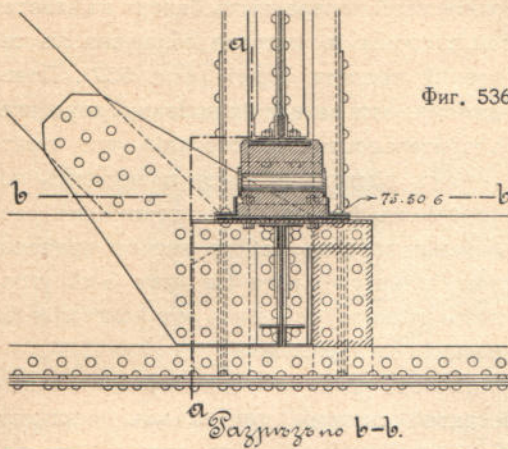
Другой примѣръ шарнирной поперечной балки того же типа, какъ въ фиг. 535, показанъ на фиг. 536. Опишемъ только тѣ детали конструкции, которыя разнятся отъ предыдущаго примѣра. Чугунные балансиры шарнира имѣютъ меньшіе размѣры и болѣе удобную форму. Вертикальная діафрагма между стѣнками пояса состоитъ изъ вертикальнаго листа, окаймленнаго сверху и снизу двумя горизонтальными уголками и приклепаннаго къ каждой стѣнкѣ пояса двумя вертикальными уголками, которые прерываются при встрѣчѣ съ верхними горизонтальными уголками и прикрѣплены къ нимъ 4-мя трапециoidalными накладками. Трубчатая распорка нижнихъ связей прикрѣплена къ стойкѣ фермы при помощи двухъ фасонныхъ накладокъ, которыя имѣютъ большіе размѣры и въ верхней своей части пропущены во всю ширину стойки. Эти накладки неудобны въ конструктивномъ отношеніи, такъ какъ при маломъ разстояніи между ними установка поперечныхъ балокъ на опоры крайне затруднительна, вслѣдствіе чего на практикѣ приходится у одной изъ накладокъ отрѣзать ея верхнюю часть.

Противники шарнирныхъ поперечныхъ балокъ разобраннаго типа усматри-

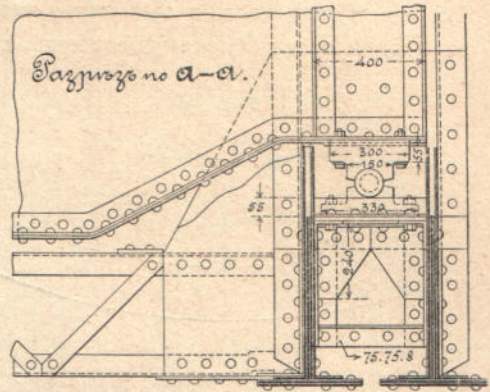
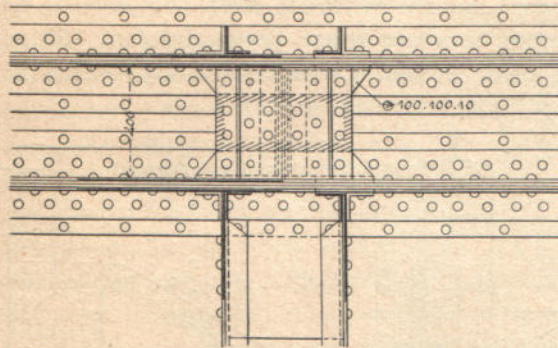
Опорная поперечная балка. Промежуточная



вають ихъ недостатки въ томъ, что устройство особыхъ распорокъ подъ поперечными балками увеличиваетъ въ сѣ связей и строительную высоту моста.



Фиг. 536.



Желѣзнодорожный мостъ отверстіемъ 40 саж. на Уссурійской и на Занѣманской жел. дор.

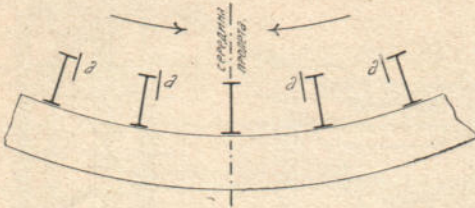
Этотъ недостатокъ можно устранить, проектируя нижнія связи между фермами двухрѣшетчатой системы безъ распорокъ, но съ жесткими діагоналями, что те-

перь часто практикуется. Что касается опорныхъ подушекъ, которыми снабжаютъ концы шарнирныхъ поперечныхъ балокъ, то онѣ не увеличиваютъ въ сѣ конструкции, такъ какъ онѣ идутъ за счетъ угловыхъ фасонныхъ листовъ, которые примѣняютъ для жесткаго прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ стойкамъ фермъ. Другой недостатокъ усматриваютъ въ томъ, что шарнирныя балки обладаютъ ничтожною массою по сравненію со значительною живою силою, развиваемою движущимся поѣздомъ. Очевидно, что массу каждой поперечной балки нельзя разсматривать въ отдѣльности, такъ какъ продольныя балки связываютъ поперечныя въ рамы, которыя обладаютъ значительною массою. Къ недостаткамъ шарнирныхъ балокъ относятъ еще то, что при тормаженіи поѣздовъ на мосту концы балокъ качаются вдоль моста, въѣдаясь при этомъ въ уголки стоекъ, между тѣмъ какъ опорныя поперечныя балки, прилепанныя къ опорнымъ стойкамъ, испытываютъ значительныя напряженія, вслѣдствіе изгиба въ горизонтальной плоскости. Этотъ недостатокъ падаетъ при устройствѣ тормазныхъ связей, которыя при современныхъ условіяхъ движенія поѣздовъ должны представлять необходимую принадлежность всякаго желѣзнодорожнаго моста.

Качаніе концовъ шарнирныхъ поперечныхъ балокъ вызывается также прогибомъ продольныхъ балокъ при проходѣ поѣздовъ. Замѣчено, что при движеніи поѣздовъ только по одному направленію концы балокъ наклоняются въ ту сторону, откуда идутъ поѣзда, и съ этой стороны они въѣдаются въ уголки стоекъ

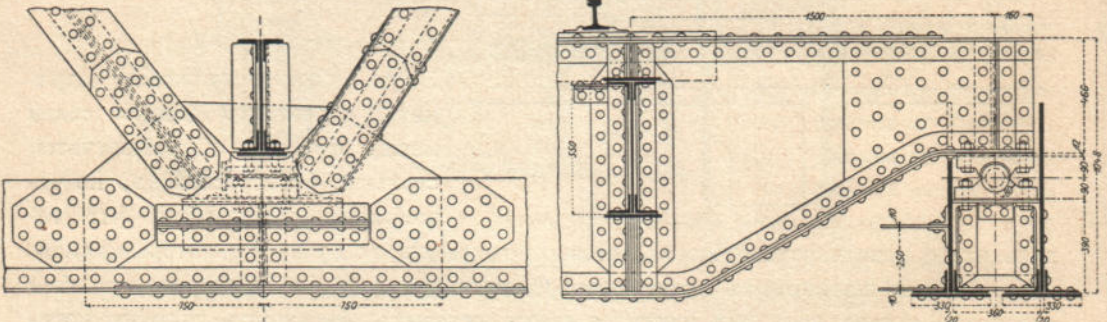
(мостъ Николаевской ж. д. черезъ Волгу у Твери). На мосту черезъ Здвигъ на Кіевъ-Ковельской ж. д., по которому движеніе происходитъ въ обоихъ направле- нійхъ, мнѣ удалось измѣрить отклоненія верхняго конца поперечныхъ балокъ до 1,5 мм. Кромѣ того, я замѣтилъ, что верхній край поперечныхъ балокъ въѣдается въ уголки стоекъ преимущественно съ той стороны *a*, которая обращена къ се- рединѣ пролета фермъ (фиг. 537). Пови- димому, эти колебанія вызваны неудовле- творительностью конструкціи, т. е. отсут- ствіемъ продольной связи по концамъ по- перечныхъ балокъ. При взаимномъ соеди- неніи концовъ балокъ легкою продоль- ною балочкою, хотя бы изъ 2-хъ угол- ковъ, можно уменьшить эти колебанія до незамѣтнаго размѣра.

Фиг. 537



Разсмотримъ теперь нѣсколько примѣровъ, когда нижнія горизонтальная связи между фермами устроены двухрѣшетчатой системы только изъ жесткихъ діагоналей. Въ виду отсутствія распорокъ, можно опустить низъ поперечныхъ балокъ до уровня горизонтальныхъ листовъ нижняго пояса фермъ. Въ фиг. 538 по- казанъ узелъ двухрѣшетчатой фермы безъ стоекъ. Скошенный снизу конецъ по-

Фиг. 538.

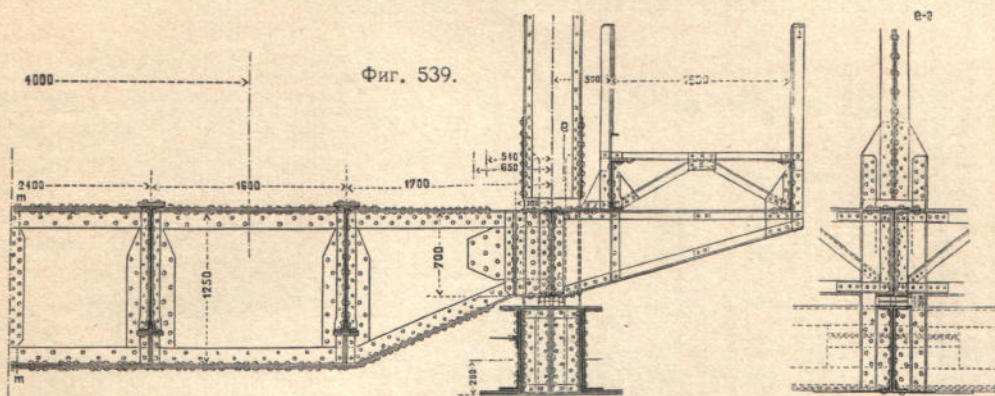


Жельзнодорожный мостъ черезъ Аргень въ Лангенаргенѣ.

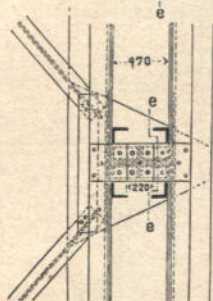
перечной балки опирается на узловыя вставки нижняго пояса при помощи двухъ чугунныхъ балансировъ и цилиндрическаго шарнира между ними. Опорная площадка, поддерживающая нижній балансиръ, состоитъ изъ горизонтальнаго листа, уложеннаго на вертикальной діафрагмѣ и на двухъ неравнобокихъ горизонтальныхъ уголкахъ, которые приклепаны къ узловымъ вставкамъ. Внутренняя вставка имѣетъ трапециoidalный вырѣзь для пропуска поперечной балки. Діагонали нижнихъ связей имѣютъ двутавровое сѣченіе высотой 250 мм., составлены каждая изъ 4 уголковъ и прикрѣплены къ узлу помощью двухъ горизонтальныхъ накладокъ, толщиной 10 мм., изъ которыхъ верхняя зажата между двумя горизонтальными уголками, а нижняя приклепана къ уголку нижняго пояса фермы.

Въ фиг. 539 поперечная балка опирается на затяжку, подвѣшенную къ возвышенной арочной фермѣ помощью подвѣски двутавроваго сѣченія изъ листа и 4-хъ уголковъ. При встрѣчѣ съ поперечною балкою сѣченіе подвѣски, раздваивается, переходя при помощи двухъ фасонныхъ накладокъ въ трубчатое сѣченіе изъ 4 уголковъ, между которыми проходитъ поперечная балка. Опорныя части балки состоятъ изъ двухъ стальныхъ балансировъ, соприкасающихся по цилинд-

рической поверхности большой кривизны, причем ось цилиндра направлена вдоль фермы. Кроме шарнирности, эти балансиры допускают перемещение балок вдоль



фермы. Только по серединѣ пролета фермы балансиры поперечной балки закрѣплены между собою помощью вертикальнаго штыря. Верхній балансиръ снабженъ боковыми ребрами для того, чтобы силы, дѣйствующія на проезжую часть поперекъ моста, могли передаваться нижнимъ связямъ черезъ поперечныя балки. Балансиры поперечной балки опираются черезъ посредство горизонтальнаго листа на вертикальную діафрагму, приклепанную къ стѣнкамъ затяжки. Надъ затяжкой поперечныя балки связаны между собою продольною балкою со сквозною стѣнкою высотой 700 мм. Въ мѣстѣ соединенія поперечной балки съ продольными, верхніе горизонтальные листы послѣднихъ пропущены надъ поперечною балкою, а нижніе горизонтальные листы пропущены черезъ стѣнку поперечной балки, усиленную въ этихъ мѣстахъ накладками (см. § 45, фиг. 349).

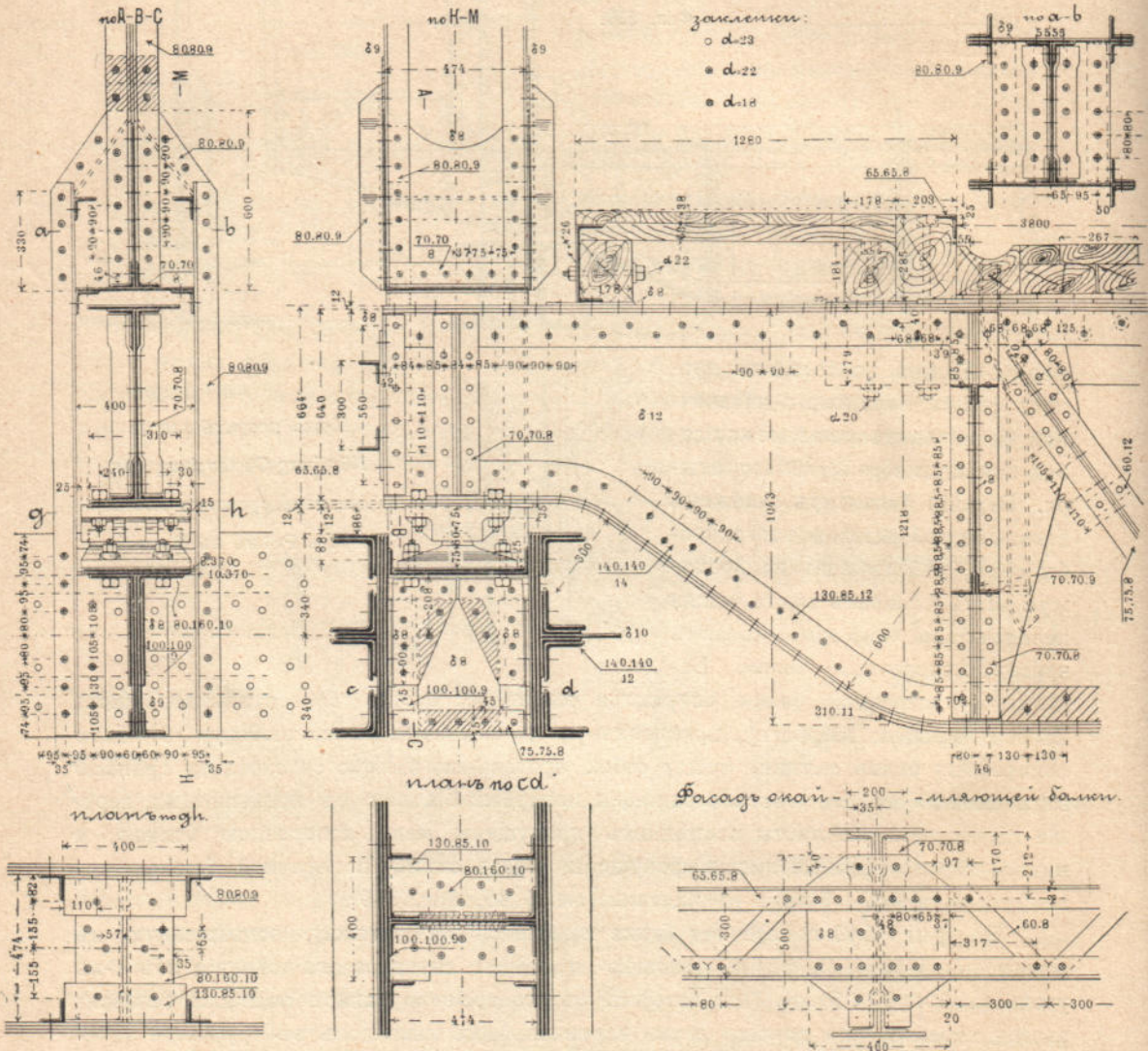


Конк. проектъ завода Nürnberg-Gustavsburg для желѣзнодорожнаго моста черезъ Рейнь въ Вормсѣ.

Въ фиг. 540 поперечная балка опирается на затяжку, подвѣшенную къ возвышенной арочной фермѣ помощью подвѣски двутавроваго сѣченія изъ 4-хъ уголковъ 80 . 80 . 9 мм. При встрѣчѣ съ поперечною балкою подвѣска раздваивается, переходя при помощи двухъ вертикальныхъ накладокъ въ трубчатое сѣченіе изъ 4 уголковъ, между которыми пропущена поперечная балка. Концы поперечныхъ балокъ соединены между собою сквозною продольною балочкою высотой 300 мм. изъ двухъ уголковъ 65 . 65 . 8 мм., прикрѣпленную къ торцамъ поперечныхъ балокъ. Опорныя части поперечной балки состоятъ изъ верхняго балансира съ цилиндрическимъ гнѣздомъ и изъ нижняго балансира съ такою же выпуклостью. Опорная площадка состоитъ изъ горизонтальнаго листа, уложеннаго на 2-хъ горизонтальныхъ уголкахъ 130 . 85 . 10 мм., приклепанныхъ къ стѣнкамъ затяжки (пояса фермы) и на вертикальной діафрагмѣ, которая состоитъ изъ листа толщиной 8 мм., окаймленнаго сверху и снизу горизонтальными уголками и приклепаннаго къ каждой стѣнкѣ затяжки двумя вертикальными уголками. Эти уголки доведены только до верхнихъ горизонтальныхъ уголковъ діафрагмы и соединены съ ними помощью 4-хъ трапецидальныхъ накладокъ толщиной 8 мм. Связи между

затяжками обѣихъ фермъ спроектированы статически опредѣлимой двухрѣшетчатой системы съ одною только распоркою по серединѣ пролета, каковою служить поперечная балка, наглухо приклепанная къ затяжкѣ.

Фиг. 540.

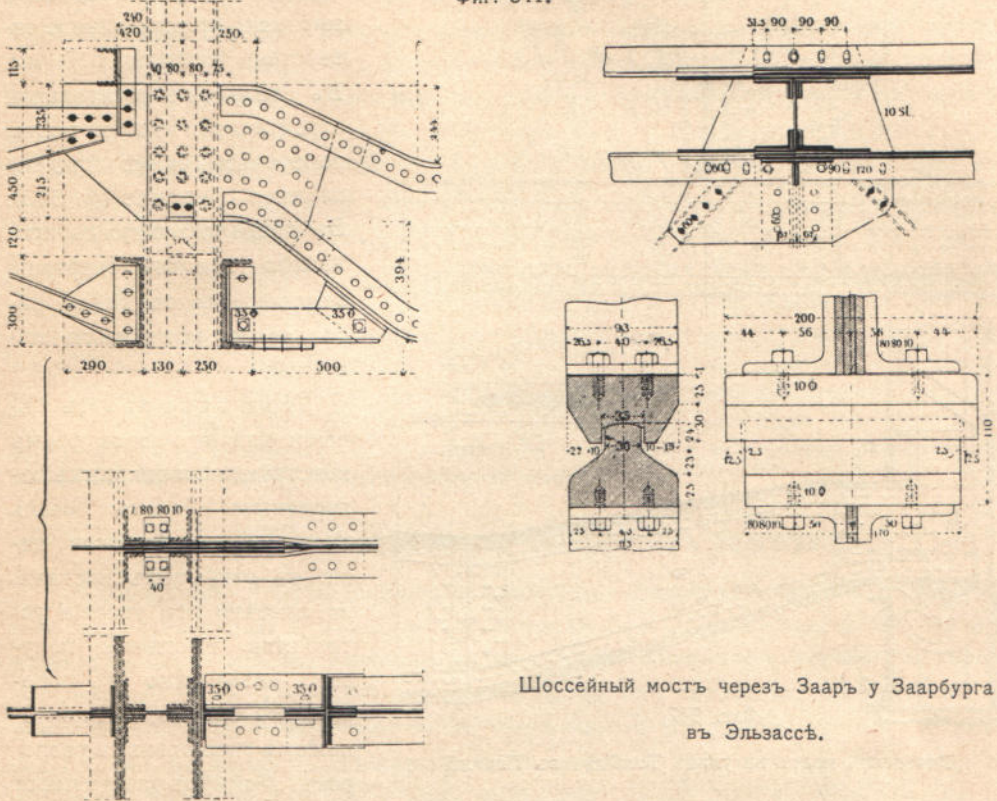


Шоссейный мостъ черезъ Русановскій протокъ въ Кіевѣ.

Переходимъ къ фиг. 541. Конецъ стѣнки поперечной балки усиленъ накладкою двухъ накладокъ толщиною по 6 мм. и пропущенъ въ 23 мм. зазоръ между уголками двутавровой стойки фермы; поэтому въ послѣднихъ трехъ вертикальныхъ рядахъ заклепки поперечной балки сдѣланы съ потайными головками. Уголки поперечной балки нагнуты на накладки и обрѣзаны при встрѣчѣ съ уголками стойки. Поперечная балка опирается на нижній поясъ фермы при помощи двухъ чугунныхъ балансировъ, изъ которыхъ нижній имѣетъ цилиндрическую выпуклость, а верхній — такое же гнѣздо. Для прикрѣпленія верхняго балансира къ балкѣ, служитъ пара короткихъ уголковъ 80 . 80 . 10 мм., которые прикрѣплены къ балкѣ двумя заклепками діам. 16 мм., а къ балансиру—4-мя винтами діам. 10 мм. Ниж-

ной балансиръ уложенъ на парѣ короткихъ уголковъ 80 . 80 . 10 мм., прикрѣпленныхъ къ верхнему краю вертикальной діафрагмы, зажатой между уголками стойки. Чтобы поперечная балка могла служить распоркою нижнихъ связей между фер-

Фиг. 541.

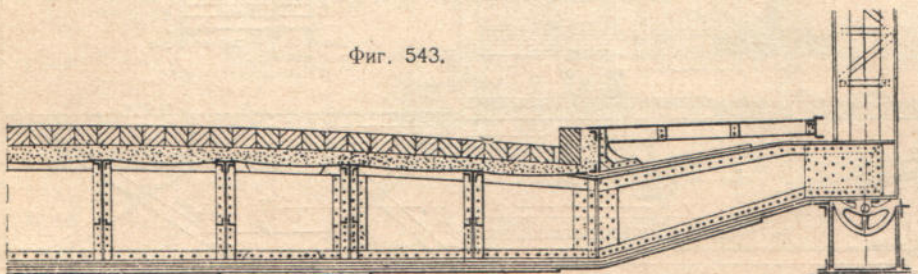


Шоссейный мостъ черезъ Зааръ у Заарбурга
въ Эльзасѣ.

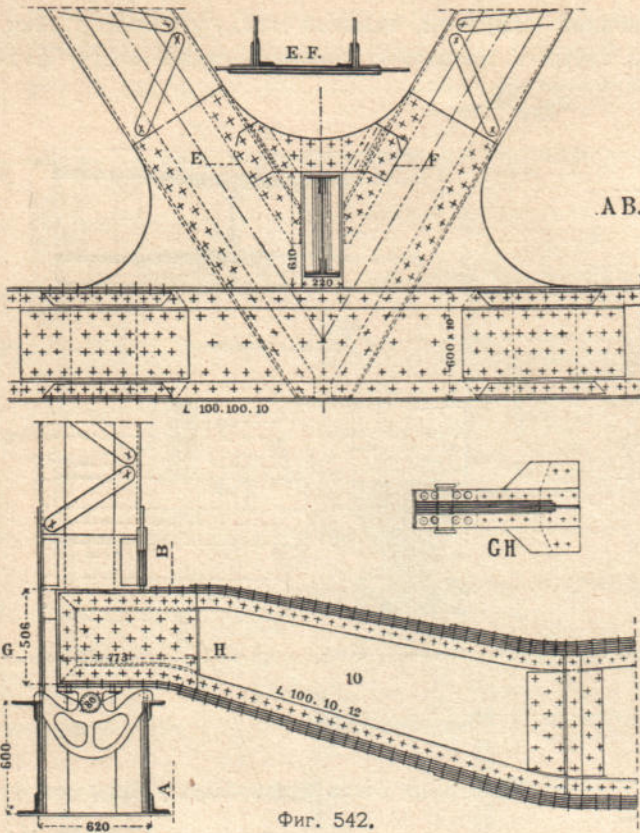
мами, она соединена съ нижнимъ поясомъ фермы короткою распоркою изъ двухъ уголковъ 110 . 100 . 10 мм., прикрѣпленіе которой устроено только однимъ болтомъ съ každого конца для того, чтобы прогибъ поперечной балки не оказывалъ вреднаго дѣйствія на нижній поясъ фермы.

Примѣръ, показанный въ фиг. 542, интересенъ тѣмъ, что нижній балансиръ поперечной балки опирается непосредственно на верхній край обѣихъ стѣнокъ пояса фермы, такъ что не требуется устройства опорной площадки съ вертикальною діафрагмою. Верхній балансиръ опирается на нижній при помощи цилиндрическаго шарнира изъ кованой стали, между тѣмъ какъ оба балансира сдѣланы изъ литой стали. Ферма имѣетъ простую треугольную рѣшетку безъ стоекъ, и

Фиг. 543.



Городской мостъ на улицѣ Толбиакъ въ Парижѣ.

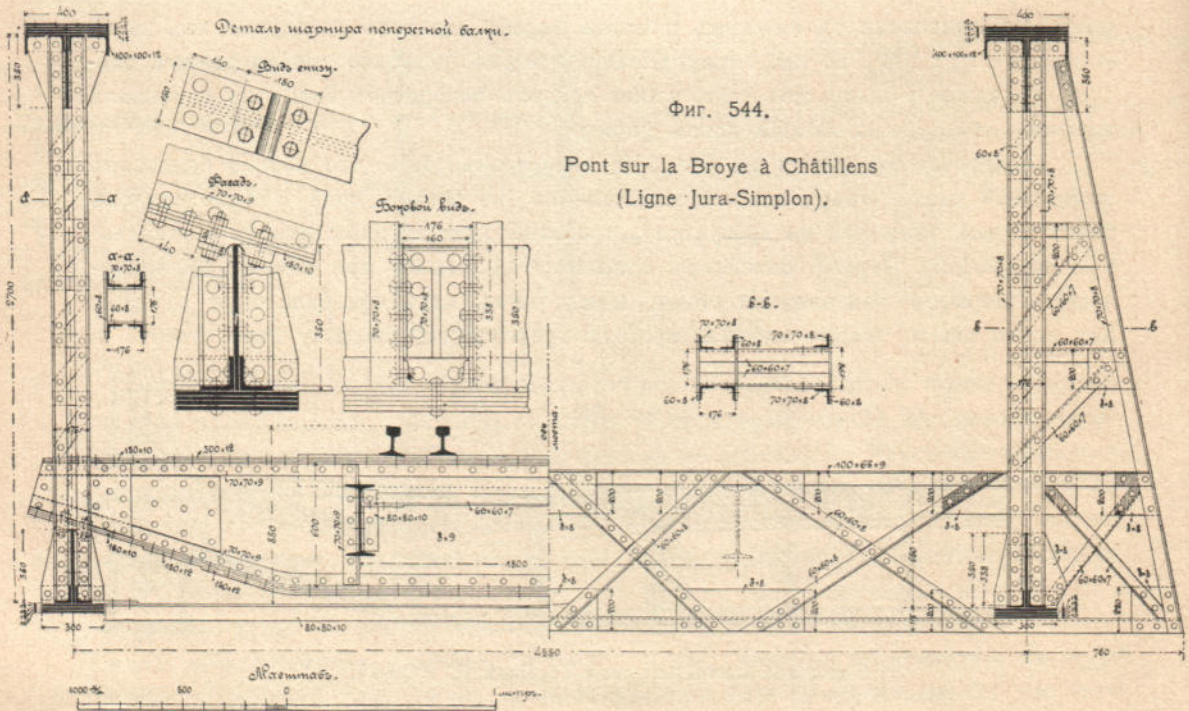


Фиг. 542.

Городской мостъ на улицѣ Толбиакъ въ Парижѣ.

узлы устроены при помощи фасонныхъ вставокъ. Для пропуска конца поперечной балки, во внутренней вставкѣ вырѣзано прямоугольное отверстие, высоту 610 мм. Въ виду незначительной строительной высоты моста, поперечной балкѣ придано сложное очертаніе (ф. 543). Въ предѣлахъ ширины проѣзжаго полотна очертаніе верхняго пояса балки параллельно выпуклости мостовой.

При тавровомъ сѣченіи нижняго пояса фермъ конструкции шарнирныхъ поперечныхъ балокъ очень просты и встрѣчаются даже въ открытых мостахъ, но, конечно, при условіи устройства жесткихъ полурамъ, независимо отъ поперечныхъ балокъ, съ примѣненіемъ специальныхъ распонокъ. Примѣръ такого моста



Фиг. 544.

Pont sur la Broye à Châtillens (Ligne Jura-Simplon).

пролетомъ 28,7 м. показанъ въ фиг. 544. Изъ лѣвой половины этой фигуры усматривается, что скошенный снизу конецъ поперечной балки пропущенъ между уголками трубчатой стойки, снабженъ стальною плиткою съ гнѣздомъ и опирается на стѣнку нижняго пояса, которая усилена двумя приклепанными къ ней накладками шириною 160 мм. Жесткость моста въ поперечномъ направленіи обеспечивается 5-ю полурами, изъ которыхъ двѣ помѣщаются на опорахъ, а три въ пролетѣ на взаимномъ разстояніи въ 7,86 м. Каждая полурама образована изъ двухъ стоекъ, усиленныхъ наружными подкосами, и изъ горизонтальной распорки со сквозною стѣнкою, которая устроена такъ, чтобы черезъ ея отверстія проходили продольныя балки проѣзжей части. Полурамы помѣщены въ узлахъ фермъ и обхватываютъ поперечныя балки съ обѣихъ сторонъ, для чего стойки, ихъ подкосы и распорки устроены двойными, т. е. трубчатого сѣченія. Другой примѣръ такой конструкции приведенъ на стр. 314 IV тома (фиг. 266) и на стр. 420 I тома (фиг. 529).

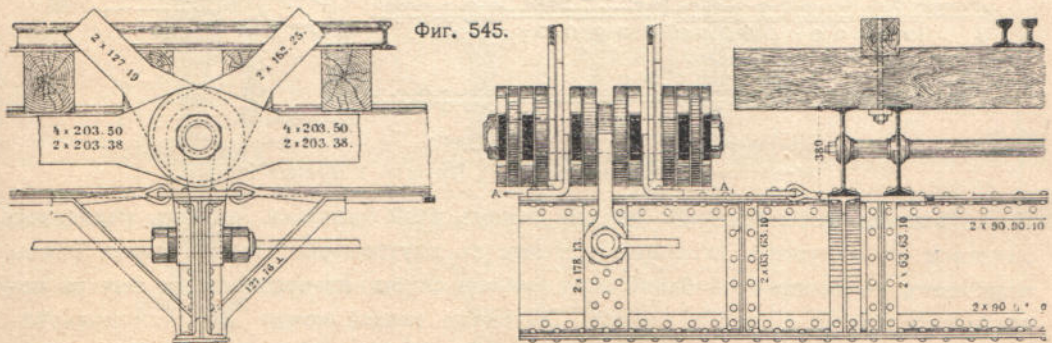
Недостатки этой конструкции заключаются въ слѣдующемъ. 1) Затрата желѣза значительно больше, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда поперечныя балки сами входятъ въ составъ полурамъ. 2) Нижнія распорки должны быть устроены со сквозною стѣнкою для того, чтобы пропустить черезъ нихъ продольныя балки. 3) Свободная длина этихъ распорокъ равна всей ширины моста, между тѣмъ какъ поперечныя балки связываются между собою продольными балками и раздѣляются ими на нѣсколько участковъ небольшой длины.

§ 67. Подвѣшивание поперечныхъ балокъ.

Свободнымъ подвѣшиваніемъ поперечныхъ балокъ къ фермамъ достигается центральность передачи давления поперечныхъ балокъ на фермы, предохраняющая рѣшетку фермъ отъ выпучиванія, а поперечныя балки—отъ изгиба въ горизонтальной плоскости. Подвѣшивание производится или непосредственно къ нижнему поясу фермъ, если поперечныя балки расположены на одномъ уровнѣ съ низомъ фермъ, или же балки подвѣшиваются къ фермамъ при помощи подвѣсокъ, если оба пояса фермъ возвышаются надъ проѣзжею частью, что встрѣчается при фермахъ балочной (фиг. 238 и 239—I тома), арочной (фиг. 550) и висячей системы. Эти два способа подвѣшиванія рассмотримъ отдѣльно.

А) Подвѣшивание непосредственно къ нижнему поясу фермъ. Подвѣшивание поперечныхъ балокъ помощью серегъ къ шарнирнымъ болтамъ въ узлахъ нижняго пояса очень долго практиковалось въ Америкѣ и примѣняется до сихъ поръ. Кромѣ серегъ, подвѣшивание производится помощью подвѣсокъ изъ полосового желѣза, снабженныхъ болтами, и при помощи листовыхъ шарнировъ. Съ этими конструкціями ознакомимся на примѣрахъ.

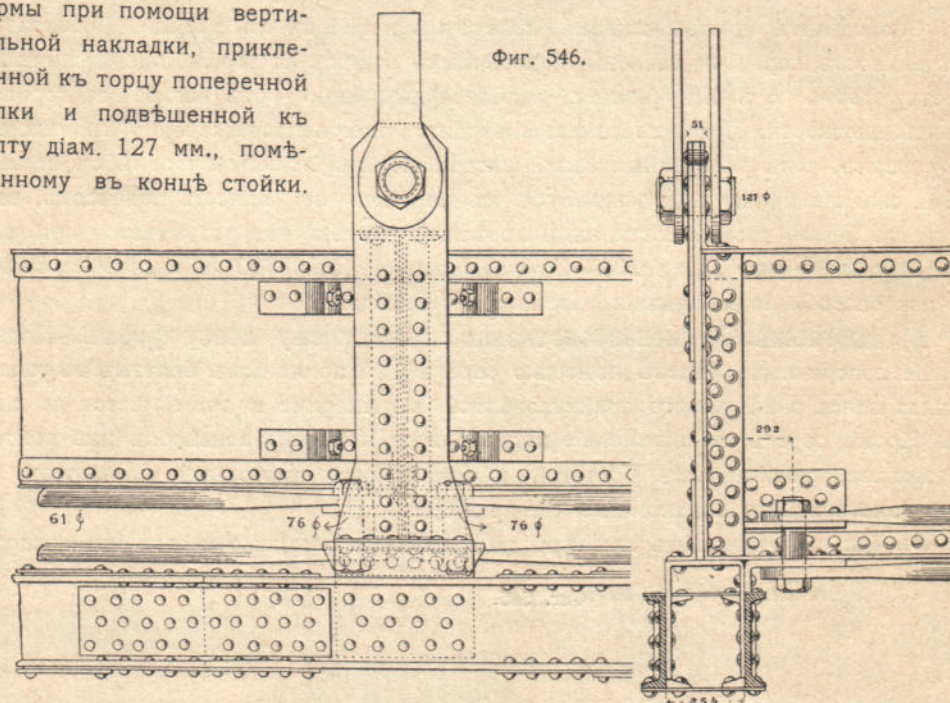
Въ фиг. 545 показанъ примѣръ подвѣшиванія помощью серьги изъ квадрат-



Мостъ чер. Мононгахела въ Портъ Перри у Питсбурга.

наго желѣза, надѣтой на шарнирный болтъ узла и снабженной по концамъ проушинами, которыми серьга обхватываетъ стѣнку поперечной балки, и черезъ которая продѣтъ горизонтальный болтъ. Чтобы предупредить качанія поперечной балки вдоль и поперекъ моста, къ верхнему поясу балки приклепаны уголки A и A_1 , вертикальныя полки которыхъ имѣютъ полукруглыя вырѣзы, упирающіеся въ шарнирный болтъ узла. Къ болту, проходящему черезъ стѣнку поперечной балки, прикрѣплены діагонали (изъ круглаго желѣза) нижнихъ связей между фермами. Усилія этихъ діагоналей разлагаются на двѣ составляющихъ, изъ которыхъ одна направлена вдоль поперечной балки, а другая—вдоль фермы. Вслѣдствіе эксцентриситета между послѣднею составляющею и нижнимъ поясомъ фермы, возникаетъ моментъ, скручивающій поперечную балку относительно ея продольной оси и вызывающій вредныя напряженія въ заклепкахъ, прикрѣпляющихъ продольныя балки къ поперечнымъ. Для удержанія поперечныхъ балокъ отъ крученія, въ фиг. 545 примѣнены подкосы изъ тавровъ 127 . 76 мм., связывающіе нижній поясъ поперечной балки съ низомъ крайней продольной балки. При такомъ способѣ подвѣшиванія поперечныхъ балокъ, нижнія связи между фермами работаютъ, вообще, весьма неудовлетворительно. вмѣсто одной серьги, американцы нерѣдко примѣняютъ двѣ серьги, поддерживающія подушку, на которую опирается поперечная балка.

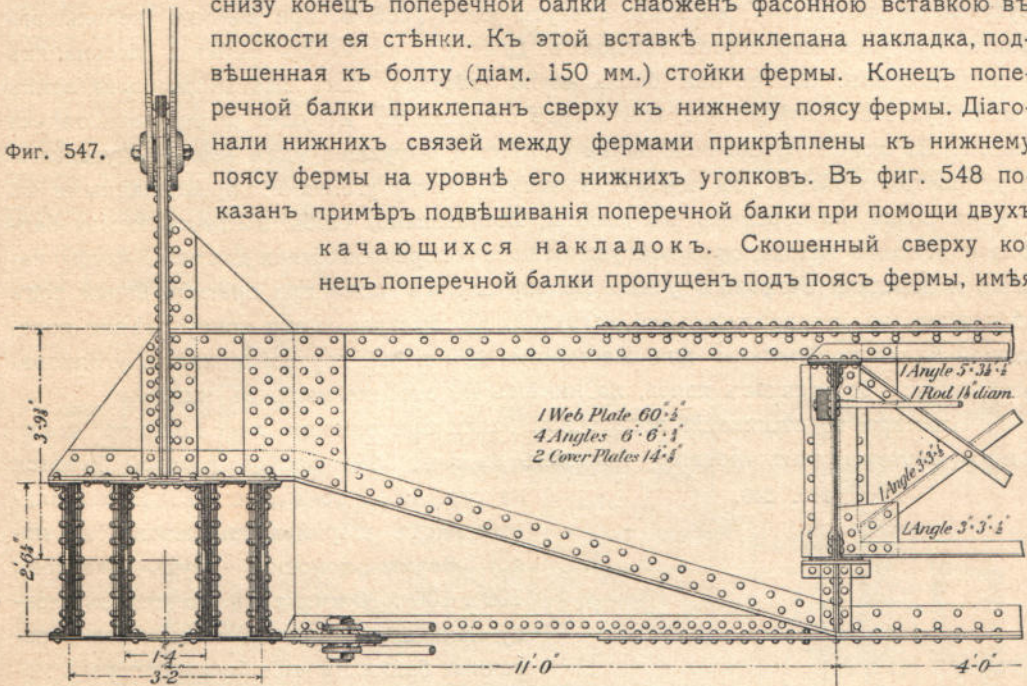
Гораздо лучше способъ, показанный въ фиг. 546 и получившій теперь большее распространеніе въ Америкѣ. Поперечная балка подвѣшивается къ стойкѣ фермы при помощи вертикальной накладки, приклепанной къ торцу поперечной балки и подвѣшенной къ болту діам. 127 мм., помещенному въ концѣ стойки.



Желѣзнодорожный мостъ черезъ Миссури у Bismark-City.

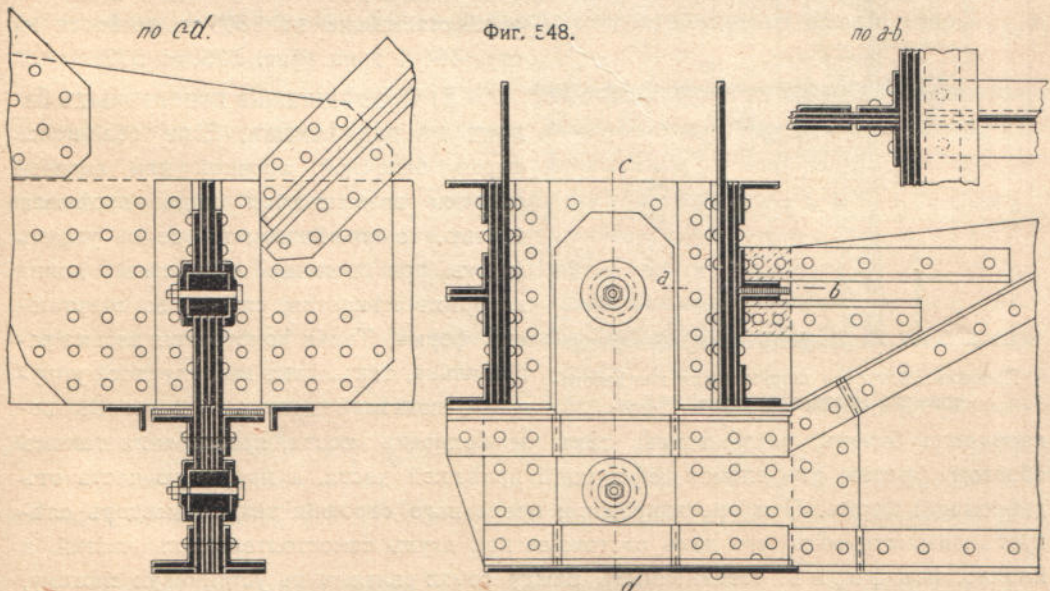
Во избѣжаніе смятія болтомъ, верхній конецъ этой накладки усиленъ наклепкою накладки съ наружной стороны и уголка съ внутренней. Нижній поясъ фермы подвѣшенъ къ поперечной балкѣ при помощи скобы, пропущенной во внутрь пояса и склепанной съ его стѣнками. Діагонали связей между фермами прикрѣплены къ концу поперечной балки на уровнѣ ея нижняго пояса. Другой примѣръ

такого же прикрѣпленія поперечной балки показанъ въ фиг. 547. Скошенный снизу конецъ поперечной балки снабженъ фасонною вставкою въ плоскости ея стѣнки. Къ этой вставкѣ приклепана накладка, подвѣшенная къ болту (діам. 150 мм.) стойки фермы. Конецъ поперечной балки приклепанъ сверху къ нижнему поясу фермы. Диагонали нижнихъ связей между фермами прикрѣплены къ нижнему поясу фермы на уровнѣ его нижнихъ уголковъ. Въ фиг. 548 показанъ примѣръ подвѣшиванія поперечной балки при помощи двухъ качающихся накладокъ. Скошенный сверху конецъ поперечной балки пропущенъ подъ поясъ фермы, имѣя



Консольный мостъ черезъ Миссиссиппи въ Мемфисѣ.

тамъ двутавровое сѣченіе изъ стѣнки, 4-хъ уголковъ и 2-хъ вертикальныхъ накладокъ, пропущенныхъ подъ уголки. Между этими уголками и накладками помѣщены двѣ подвѣски изъ полосового желѣза, которыя при помощи одного болта прикрѣплены къ стѣнкѣ поперечной балки, а помощью другого болта подвѣшены къ діафрагмѣ изъ двойного листа, приклепанной къ стѣнкамъ нижняго пояса фермы. Въмѣсто болтовъ большаго діаметра, примѣнены стальные цилиндрическіе



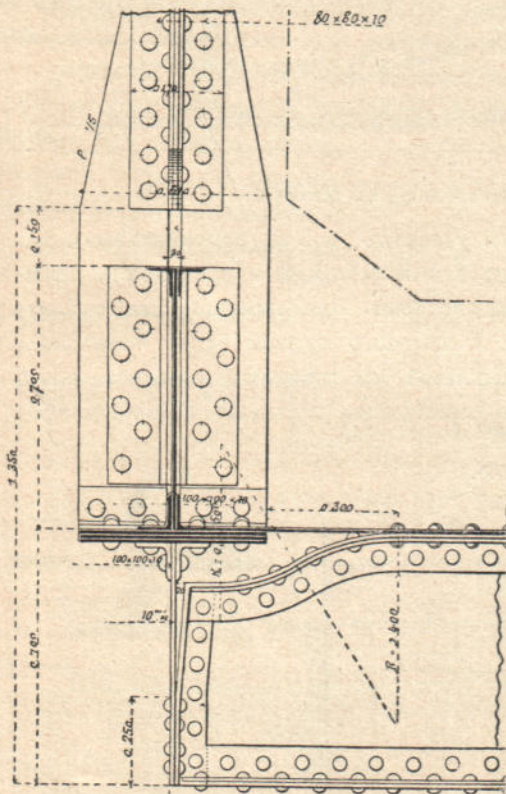
Фиг. 548.

Сопряженіе по проекту проф. Винклера.

вкладыши, замѣняющіе стержень болтовъ и удерживаемые на мѣстѣ двумя чугунными крышками, которыя стянуты между собою при помощи небольшого болта, пропущеннаго черезъ вкладышъ. Для того, чтобы при гибкихъ діагоналяхъ нижнихъ связей поперечная балка могла работать какъ сжатая распорка этихъ связей, устроено слѣдующее контактное сопряженіе, могущее передавать только сжатіе. Въ концѣ поперечной балки ея стѣнка выпущена надъ верхними уголками и упирается свободно въ плитку, зажатую между уголками, приклепанными къ стѣнкѣ пояса по серединѣ его высоты. Желательно, чтобы контактъ между балкою и поясомъ находился на нейтральной оси поперечной балки для того, чтобы касаніе и передача вѣтрового усилія не нарушались даже при прогибѣ балки подъ дѣйствіемъ на нее вертикальной нагрузки. Къ выступающему концу стѣнки поперечной балки приклепаны для жесткости двѣ пары горизонтальныхъ уголковъ, доведенныхъ до уголковъ пояса, но ничѣмъ не соединенныхъ съ ними.

Примѣръ подвѣшиванія поперечной балки при помощи листового шарнира системы инж. Менаже показанъ въ фиг. 549, фасадъ которой имѣется

Фиг. 549.



Проектъ листового шарнира для желѣзнодорожнаго моста пролетомъ 54,5 м.

на стр. 462 I тома (фиг. 573). Вертикальный листъ шарнира приклепанъ къ поясу фермы помощью двухъ уголковъ 100 . 100 . 10 мм., а къ его нижнему концу приклепана нижняя часть торца поперечной балки. Качаніе балки поперекъ моста устраняется тѣмъ, что къ поясу фермъ и къ поперечнымъ балкамъ приклепанъ сплошной настилъ изъ рифленнаго 6 мм. желѣза, которымъ покрыто все полотно проѣзжей части. Этотъ настилъ имѣетъ, такимъ образомъ, значеніе горизонтальнаго листа шарнира. Другой примѣръ такого прикрѣпленія поперечной балки, осуществленнаго въ 1899 г., имѣется на стр. 464 I тома (фиг. 575 до 577).

В) Подвѣшиваніе поперечныхъ балокъ къ подвѣскамъ. Если оба пояса фермъ балочной, арочной или висячей системы возвышаются надъ проѣзжею частью, то подвѣшиваютъ ее къ узламъ фермъ при помощи подвѣсокъ, длина которыхъ мѣняется, слѣдуя за очертаніемъ фермъ. Такая конструкція весьма рациональна, такъ, какъ въ силу своей упругости, подвѣски допускаютъ изгибъ по-

перечныхъ балокъ, какъ вдоль, такъ и поперекъ моста, предохраняя такимъ образомъ фермы отъ вліянія деформаций проѣзжей части, а проѣзжую часть отъ деформаций фермъ. При проектированіи пролетнаго строенія такихъ мостовъ слѣдуетъ разсматривать его какъ состоящее изъ двухъ самостоятельныхъ частей, а именно: изъ фермъ, соединенныхъ между собою связями въ устойчивую систему, и изъ проѣзжей части, также соединенной связями въ одно неизмѣняемое

цѣлое и подвѣшенной къ фермамъ помощью подвѣсокъ, болѣе или менѣе гибкихъ, смотря по ихъ длинѣ и по составу сѣченія. Въ послѣднее время подвѣшенная проѣзжая часть встрѣчается часто въ арочныхъ мостахъ съ затяжкой (фиг. 550); поэтому остановимся подробнѣе на этомъ типѣ мостовъ. Арочныя фермы устраиваютъ преимущественно съ обоими криволинейными поясами, обращенными выпуклостью вверхъ и соединенными между собою рѣшеткою простой раскосной системы. Подвѣски, поддерживающія проѣзжую часть, прикрѣпляются къ узламъ нижняго пояса фермы.

Сопряженіе проѣзжей части съ фермами должно быть устроено такъ, 1) чтобы предохранить проѣзжую часть отъ упругаго измѣненія

Фиг. 550.

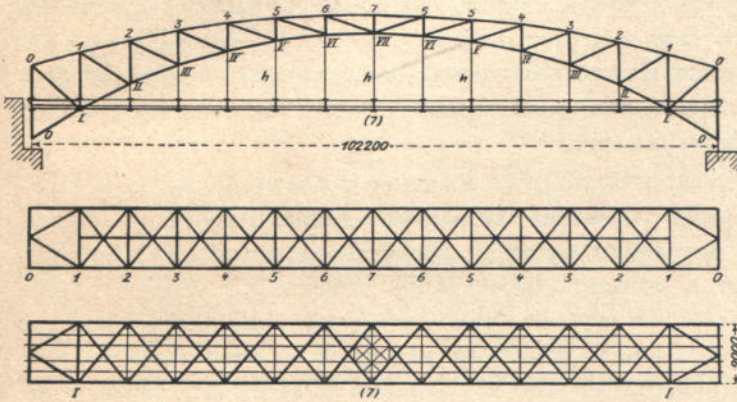
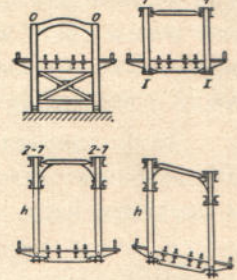


Abb. 145 a. Querachnitte.



Двухпутный желѣзнодорожный мостъ черезъ Рейнъ въ Вормсѣ (конструкція завода Harkort).

длины фермъ подѣйствию нагрузки и температуры, вызывающаго вредный изгибъ поперечныхъ балокъ въ горизонтальной плоскости, а въ продольныхъ балкахъ продольныя усилія, и 2) чтобы предохранить фермы отъ выпучиванія при прогибѣ поперечныхъ балокъ, а все пролетное строеніе отъ скручиванія при неодинаковомъ прогибѣ фермъ, вслѣдствіе неравномѣрнаго распредѣленія нагрузки по ширинѣ моста.

1. Для предохраненія проѣзжей части отъ измѣненія длины фермъ подѣйствию нагрузки и температуры, прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ къ фермамъ должно быть продольно-подвижнымъ. Это достигаютъ лучше всего тѣмъ, что поперечныя балки подвѣшиваютъ къ подвѣскамъ, которыя, вслѣдствіе своей гибкости ³⁾, могутъ качаться вдоль моста, а затяжку фермъ подвѣшиваютъ къ поперечнымъ балкамъ такъ, чтобы она не препятствовала указанному продольному качанію подвѣсокъ. Если опорныя поперечныя балки наглухо приклепаны къ фермамъ, входя въ составъ жесткихъ опорныхъ рамъ, то продольныя балки должны быть прикрѣплены къ опорнымъ балкамъ продольно-подвижнымъ образомъ. Такое же прикрѣпленіе должно быть во всѣхъ мѣстахъ, гдѣ проѣзжая часть пересѣкается съ частями фермъ.

Во избѣжаніе продольныхъ качаній проѣзжей части или остающагося ея перемѣщенія вдоль фермъ, возможнаго вслѣдствіе вѣтра или тормаженія по-

³⁾ Разные способы прикрѣпленія къ фермамъ недостаточно гибкихъ подвѣсокъ приведены дальше въ примѣрахъ.

ѣзда на мосту, достаточно закрѣпить одну изъ поперечныхъ балокъ съ затяжками, лучше всего по серединѣ пролета. Тогда перемѣщенія проѣзжей части вдоль фермъ, неизбежно вызываемыя нагрузкою и температурою, совершаются отъ середины пролета въ обѣ стороны.

Если длина затяжки меньше пролета фермъ, то проѣзжую часть устраиваютъ свободною только въ предѣлахъ длины затяжки, такъ какъ именно ея деформациі вредно отражаются на проѣзжей части. На этомъ основаніи въ фиг. 550 проѣзжая часть имѣетъ подвижные стыки въ концахъ 1—1 затяжки, а въ предѣлахъ первой и послѣдней панели проѣзжая часть прикрѣплена къ фермамъ жесткимъ образомъ.

Въ виду продольно-подвижнаго прикрѣпленія продольныхъ балокъ въ концахъ пролета, онѣ не могутъ принять на себя силы тормаженія, отчего эта сила по серединѣ пролета передается затяжкамъ при помощи сквозной тормазной рамы (фиг. 550), составленной изъ закрѣпленной средней поперечной балки, изъ 4-хъ діагоналей связей между затяжками и изъ нѣсколькихъ діагоналей между продольными балками (фиг. 416).

Чтобы удержать проѣзжую часть отъ качанія поперекъ моста и передать нижнимъ связямъ между затяжками то давленіе вѣтра, которое приходится на проѣзжую часть и на временную нагрузку, устраиваютъ свободные контакты между затяжками и концами поперечныхъ балокъ (фиг. 561bis и 562). При этомъ поперечныя балки не играютъ роли распорокъ указанныхъ связей, а свободно упираясь въ правую или лѣвую затяжку, смотря по направленію вѣтра, передаютъ ей то давленіе вѣтра, которое дѣйствуетъ на проѣзжую часть и на временную нагрузку. На этомъ основаніи удобно устраивать связи двухрѣшетчатой системы съ сжато-вытянутыми діагоналями.

II. Предохраненіе пролетнаго строенія отъ скручиванія и фермъ отъ коробленія. Для того, чтобы прогибъ поперечныхъ балокъ не вызывалъ искривленія фермъ, и чтобы неодинаковый прогибъ фермъ, происходящій отъ неравномѣрнаго распредѣленія нагрузки по ширинѣ моста⁶⁾, не вызывали скручиванія всего пролетнаго строенія, слѣдуетъ прикрѣплять поперечныя балки къ подвѣскамъ шарнирнымъ образомъ, если только подвѣски сами по себѣ не обладаютъ достаточною гибкостью. Тогда въ томъ и другомъ случаѣ фермы будутъ имѣть возможность прогибаться въ вертикальной плоскости, и поперечныя балки не будутъ препятствовать деформациі поперечныхъ сѣченій моста по параллелограмму (фиг. 516 и 550), между тѣмъ какъ жесткое прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ вызвало бы нежелательную деформацию согласно фиг. 519. Какъ указано дальше шарнирное прикрѣпленіе поперечной балки къ подвѣскѣ можетъ быть устроено при помощи балансировъ или шарнирнаго болта, или листового шарнира. Но шарнирное прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ еще не обезпечиваетъ желательной деформациі поперечнаго сѣченія моста по параллелограмму; необходимо также, чтобы между фермами не было поперечныхъ связей и чтобы продольныя связи, верхнія и нижнія, были прикрѣплены къ фермамъ гибкимъ образомъ по способу, указанному дальше на стр. 446.

⁶⁾ Что представляетъ обычное явленіе въ двупутныхъ желѣзнодорожныхъ мостахъ и въ мостахъ подъ обыкновенную дорогу.

Устройство связей между фермами. Для того, чтобы фермы могли сопротивляться дѣйствию горизонтальной нагрузки, ихъ всегда соединяютъ между собою 1) верхними продольными связями, которыя расположены въ плоскости верхняго пояса фермъ и передаютъ свое давленіе жесткимъ опорнымъ рамамъ, и 2) нижними продольными связями въ плоскости затяжки. Иногда между стойками фермъ помѣщаютъ еще поперечныя связи, безъ которыхъ можно, однако, обойтись. Распределеніе давленія вѣтра въ томъ и другомъ случаѣ можно представить себѣ слѣдующимъ образомъ.

При отсутствіи поперечныхъ связей между фермами (фиг. 550) слѣдуетъ считать, что подвѣски, работая какъ струны, передаютъ верхнимъ и нижнимъ связямъ то давленіе вѣтра ⁷⁾, которое приходится на нижнюю половину фермъ и на подвѣски, такъ что верхнія связи и опорныя рамы работаютъ отъ вѣтра, соотвѣтствующаго верхней половинѣ фермъ, и отчасти того вѣтра, который соотвѣтствуетъ нижней половинѣ фермъ и подвѣскамъ ⁸⁾. Нижнія связи работаютъ 1) отъ части давленія вѣтра на нижнюю половину фермъ и на, подвѣски, 2) отъ вѣтра на затяжку и, смотря по устройству проѣзжей части, отъ вѣтра на проѣзжую часть и на временную нагрузку ⁹⁾.

При наличности поперечныхъ связей между фермами, онѣ передаютъ верхнимъ узламъ фермъ то давленіе вѣтра, которое приходится на нижнюю половину фермъ и отчасти на подвѣски, такъ что верхнія связи и опорныя рамы работаютъ отъ всего вѣтра на фермы и на верхнюю часть подвѣсокъ, а нижнія связи отъ вѣтра на затяжку, на нижнюю часть подвѣсокъ и, смотря по устройству проѣзжей части, отъ вѣтра на проѣзжую часть и на временную нагрузку.

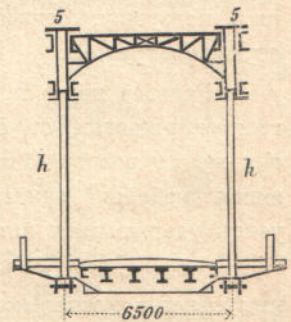
Въ эстетическомъ отношеніи несомнѣнное предпочтеніе заслуживаетъ I система, въ которой не имѣется поперечныхъ связей между фермами, такъ какъ при этомъ значительно выигрываетъ внутренній видъ моста. Кромѣ вышеуказанныхъ причинъ, по которымъ можно обойтись безъ пролетныхъ поперечныхъ связей, укажемъ еще на то, что при большой ширинѣ, которую придаютъ поясамъ такихъ фермъ, онѣ обладаютъ значительною боковою жесткостью. Можно также разсчитывать на то, что при удержаніи нижняго пояса отъ бокового выгиба и при передачѣ горизонтальнаго давленія вѣтра съ нижняго пояса фермъ на верхній сильно помогаютъ стойки и раскосы фермъ работая какъ брусья, закрѣпленные своимъ верхнимъ концомъ.

⁷⁾ Кромѣ того, подвѣски, дѣйствуя, какъ натянутыя струны, нужны для удержанія сжатого нижняго пояса фермъ отъ бокового выпучиванія подъ дѣйствіемъ продольнаго изгиба. По этимъ двумъ причинамъ правильнѣе причислять подвѣски не къ проѣзжей части моста, какъ дѣлаютъ нѣкоторые нѣмецкіе авторы, а къ главному строенію изъ фермъ.

⁸⁾ На практикѣ часто поступаютъ въ запасъ прочности, передавая верхнимъ связямъ все давленіе вѣтра на фермы.

⁹⁾ Можно было бы считать, что проѣзжая часть, представляя жесткую плиту, опирающуюся въ концахъ пролета на опорныя поперечныя балки, сама воспринимаетъ (помимо нижнихъ связей) то давленіе вѣтра, которое приходится какъ на нее, такъ и на временную нагрузку; но насколько намъ извѣстно, такія конструкціи еще не выполнялись, вѣроятно, потому, что для прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ подвѣскамъ и къ затяжкѣ потребовалась бы специальная, легкая конструкція.

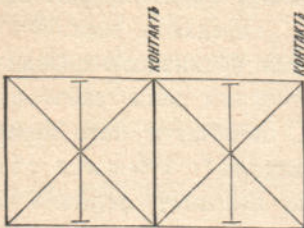
Фиг. 551.



Шоссейный мостъ черезъ Мозель у Трарбаха.

Система нижнихъ связей. Поперечныя балки не могутъ служить распорками связей, такъ какъ ихъ сопряженіе съ затяжкой фермъ должно быть устроено въ видѣ свободнаго контакта (фиг. 562); поэтому для нижнихъ связей пригодны только такія рѣшетки, которыя не имѣютъ распорокъ. Проще всего оказывается двухрѣшетчатая система съ сжато-вытянутыми діагоналями (фиг. 550).

Фиг. 552.



Арочный Мухранскій мостъ черезъ Куру въ Тифлисъ.

Если ширина моста велика по сравненію съ разстояніемъ между поперечными балками, такъ что устройство въ каждой панели креста изъ діагоналей неудобно, то можно пропускать діагонали черезъ двѣ панели, причемъ контактами снабжаютъ только тѣ поперечныя балки, которыя встрѣчаются у затяжекъ съ концами діагоналей. Что же касается поперечныхъ балокъ, проходящихъ черезъ точку пересѣченія діагоналей, то ихъ вовсе не соединяютъ съ затяжками для того, чтобы эти балки не могли передавать затяжкамъ горизонтальную нагрузку и вызывать въ нихъ мѣстный прогибъ въ предѣлахъ двухъ панелей. Сопряженіе этихъ поперечныхъ балокъ съ мѣстомъ пересѣченія діагоналей должно быть устроено продольно-подвижнымъ, причемъ можно примѣнять ползушку, согласно фиг. 564 (или фиг. 146 въ IV томѣ), или болѣе простую конструкцію.

Гораздо легче подобрать систему для верхнихъ связей, такъ какъ годятся рѣшетки съ распорками и безъ нихъ, какъ-то двухрѣшетчатая система, она же съ распорками, ромбическая, полураскосная и другія системы. Для сокращенія свободной длины сжатого верхняго пояса, желательно, чтобы каждый его узелъ удерживался или распоркою, или діагоналями связей.

Прикрѣпленіе связей къ фермамъ. Мы уже видѣли, что поперечныя сѣченія моста могутъ деформироваться правильно только въ томъ случаѣ, если вся поперечная конструкція прикрѣплена къ фермамъ шарнирнымъ образомъ. Поэтому прикрѣпленіе верхнихъ и нижнихъ связей къ фермамъ должно быть устроено возможно гибкимъ. Это достигается проще всего примѣненіемъ горизонтальныхъ узловыхъ накладокъ, которыя, въ силу своей пружинности, допускаютъ небольшія измѣненія угловъ рамы. Для того, чтобы эти накладки не провисали отъ собственнаго вѣса связей, можно діагонали нижнихъ связей подвѣшивать къ продольнымъ балкамъ проѣзжей части, а діагонали верхнихъ связей поддерживать посредствомъ средней продольной балочки, прикрѣпленной къ распоркамъ (фиг. 129 и 130 IV тома), а концы распорокъ подпирать гибкими подкосами, которые изогнуты по кругу (фиг. 416 и въ IV томѣ фиг. 117), и поэтому не могутъ закрѣплять угловъ рамы.

При соблюденіи всѣхъ вышеизложенныхъ условій конструкція свободной проѣзжей части получается весьма совершенною и будетъ умѣстна для моста, выдающагося по пролету и по ширинѣ, когда можно ожидать значительной разницы въ прогибахъ ¹⁾ фермъ. Для мостовъ второстепеннаго значенія конструкція можетъ

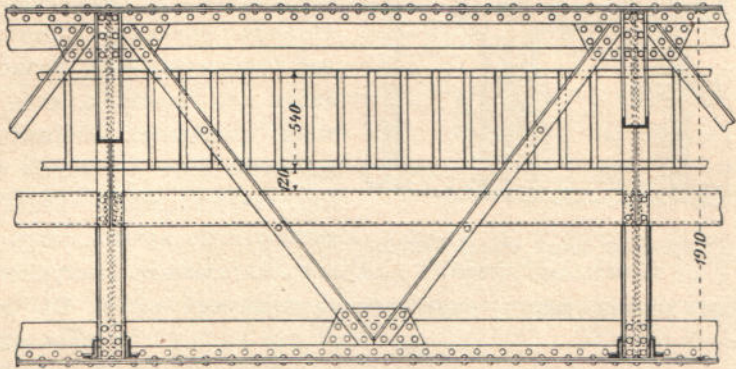
¹⁾ Въ двупутномъ желѣзнодорожномъ мостѣ черезъ Рейнъ въ Вормсѣ разница въ прогибѣ обѣихъ фермъ доходитъ до 60 мм. при ихъ пролетѣ въ 117 м.

быть упрощена, если не особенно строго придерживаться тѣхъ условий, которыя имѣютъ меньше значенія. Перейдемъ теперь къ детальному описанію конструкции.

Типы подвѣсокъ. Подвѣски устраиваютъ или гибкаго сѣченія изъ круглаго желѣза, или жесткаго сѣченія изъ уголковъ.

Подвѣски изъ круглаго желѣза примѣняютъ преимущественно въ висячихъ мостахъ. Въ мостахъ съ балочными и арочными фермами круглыя подвѣски встрѣчаются рѣдко и примѣненіе ихъ въ этихъ случаяхъ объясняется эстетическими соображеніями, т. е. желаніемъ получить возможно легкую и прозрачную конструкцию. Рассмотрим нѣ-

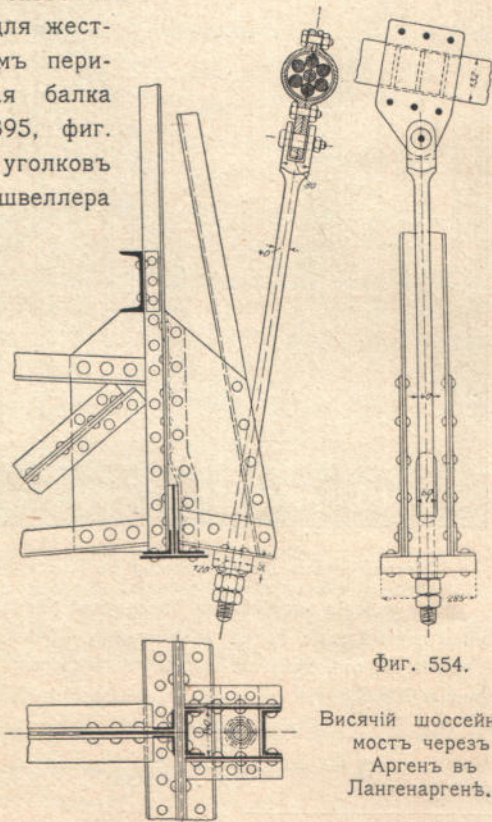
Фиг. 553.



Висячій шоссеиный мостъ черезъ Аргень въ Лангенаргенѣ.

сколько простыхъ способовъ прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ круглымъ подвѣскамъ. Какъ усматривается изъ фиг. 553, къ стойкамъ сквозной фермы высотой 1910 мм., служащей для жесткости висячаго моста и вмѣстѣ съ тѣмъ перилами, приклепана сквозная поперечная балка (фасадъ которой изображенъ на стр. 395, фиг. 466). Стойка фермы состоитъ изъ двухъ уголковъ и усилена наружнымъ подкосомъ изъ швеллера (фиг. 554), приклепаннаго верхнимъ концомъ къ верхнему поясу фермы, а нижнимъ концомъ — къ двумъ вертикальнымъ накладкамъ, которыя, какъ видно изъ плана фиг. 554, прикрѣплены къ уголкамъ стойки посредствомъ куска швеллера, нагнутаго на стѣнку нижняго пояса. Нижній край этихъ накладокъ окаймленъ наружными уголками, къ которымъ приклепана стальная плитка съ дырою, черезъ которую пропущена наклонная подвѣска изъ 40 мм. круглаго желѣза, прикрѣпленная своимъ верхнимъ концомъ къ стальному канату моста.

Въ фиг. 555 показанъ другой примѣръ прикрѣпленія круглой подвѣски. Къ нижнему концу подвѣски, снабженному нарезкою, привинчена стальная муфта съ ушкомъ, къ которому, при помощи горизонтальнаго болта, прикрѣплены двѣ вертикальныя накладки, при-

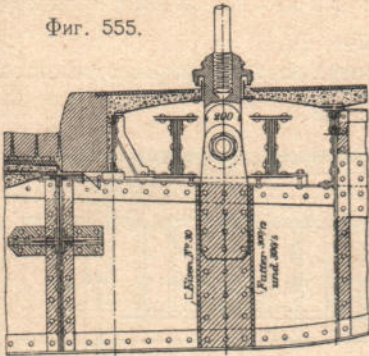


Фиг. 554.

Висячій шоссеиный мостъ черезъ Аргень въ Лангенаргенѣ.

клепанная къ стѣнкѣ поперечной балки. Въ этомъ мѣстѣ стѣнка балки усилена наклепкою на нее съ каждой стороны по прокладкѣ 300 . 12 мм. и 300 . 5 мм., а сверхъ нихъ швеллера № 30.

Фиг. 555.



Городской мостъ черезъ Малую Везеръ въ Бременѣ.

перемѣщеніи фермъ относительно проѣзжей части. Въ этихъ случаяхъ можно

Фиг. 556.



Мостъ черезъ Зюдеръ-Эльбу въ Гарбургѣ.

При условіи закрѣпленія поперечной балки съ затяжкой по серединѣ пролета фермъ, продольное перемѣщеніе фермъ относительно проѣзжей части для 1-го узла, соответствующаго первой подвѣскѣ, отъ дѣйствія временной нагрузки и отъ разности температуры фермъ и проѣзжей части въ 20° С.

$$\Delta = \frac{160000 \left(\frac{7200}{2} - 600 \right)}{500 \cdot 2200000} + 20 \cdot 0,0000108 \left(\frac{7200}{2} - 600 \right) = 1,08 \text{ см.}$$

Подвѣски изъ уголковъ примѣняются двутавроваго и крестоваго сѣченія, причѣмъ длина такихъ подвѣсокъ доходить до 23 м. Если пояса фермъ имѣютъ коробчатое сѣченіе, то подвѣскамъ придаютъ преимущественно двутавровое сѣченіе изъ 4-хъ уголковъ, связанныхъ между собою или рѣшеткою, какъ въ фиг. 556, или листомъ, толщиною, начиная отъ 6 мм. При длинѣ не менѣе 8 м. и ширинѣ уголковъ не болѣе 80 мм., такія подвѣски обладаютъ достаточною гибкостью и не испытываютъ слишкомъ большихъ дополнительныхъ напряженій при продольномъ

ограничиваться простѣйшимъ способомъ прикрѣпленія къ нимъ поперечныхъ балокъ, т. е. приклепываніемъ, какъ видно изъ фиг. 250 до 252 на стр. 260 и 261.

Примѣръ разчета напряженія у подвѣски отъ изгиба вдоль фермъ, вслѣдствіе продольнаго перемѣщенія фермъ относительно проѣзжей части

$L = 72 \text{ м.}$ — расчетный пролетъ моста.

$d = \frac{72}{12} = 6 \text{ м.}$ — длина панели,

$l = 2,43 \text{ м.}$ — свободная длина первой подвѣски,

$\omega = 500 \text{ см.}^2$ — площадь brutto сѣченія затяжки,

$e = 9 \text{ см.}$ — разстояніе крайняго волокна сѣченія подвѣски отъ его нейтральной оси,

$P = 160 \text{ тон.}$ — растягивающее усиліе затяжки отъ временной нагрузки*).

*) Вліяніе постоянной нагрузки не вводится въ расчетъ потому, что при сборкѣ можно принять мѣры къ устраненію прогиба подвѣсокъ отъ дѣйствія постоянной нагрузки.

При продольномъ перемѣщеніи фермъ подвѣска получаетъ двойной изгибъ съ нулевой точкою по серединѣ ея длины; прогибъ этой точки относительно концовъ подвѣски будетъ $f = \frac{\Delta}{2} = 0,54$ см.

Разсматривая каждую половину подвѣски какъ брусъ съ однимъ задѣланнымъ концомъ, опредѣляемъ напряженіе ν отъ изгиба по слѣдующимъ формуламъ:

$$f = \frac{P \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^3}{3 \cdot E \cdot J}; \quad P = \frac{3 \cdot E \cdot J \cdot f}{\left(\frac{l}{2}\right)^3}; \quad M = P \cdot \frac{l}{2} = \frac{3 \cdot E \cdot J \cdot f}{\left(\frac{l}{2}\right)^2};$$

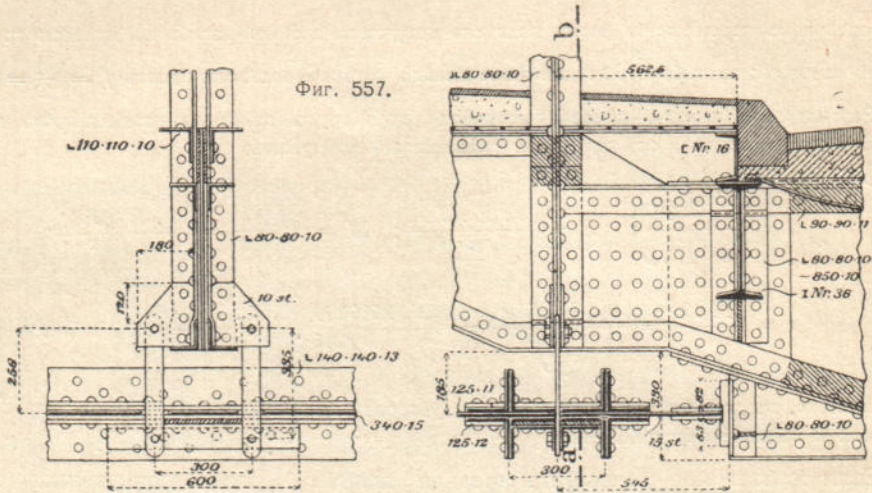
$$\nu = \frac{M \cdot e}{J} = \frac{3 \cdot E \cdot f \cdot e}{\left(\frac{l}{2}\right)^2} = \frac{3 \cdot 2200000 \cdot 0,54 \cdot 9}{\left(\frac{243}{2}\right)^2} = 2170 \text{ к./см.}^2$$

Слѣдовательно, въ данномъ случаѣ необходимо устроить шарнирное соединеніе концовъ подвѣски съ фермою и съ поперечною балкою.

Если желательно уменьшить вредное вліяніе прогиба поперечныхъ балокъ на фермы, то можно поступить двояко: или увеличить гибкость самихъ подвѣсокъ, или устроить ихъ соединеніе съ поперечными балками шарнирнымъ. Послѣдняя мѣра даже необходима при небольшой длинѣ подвѣсокъ, чтобы предупредить ихъ чрезмѣрный изгибъ. Гибкость подвѣсокъ въ поперечномъ направленіи моста увеличивается, если уменьшить ихъ ширину поперекъ моста, переходя отъ двутавроваго сѣченія къ крестовому изъ 4-хъ уголковъ, которое имѣетъ по всѣмъ направленіямъ незначительный моментъ инерціи.

Примѣръ такой подвѣски для арочнаго съ ѣздою по низу моста показанъ въ фиг. 557. Конецъ сплошной поперечной балки снабженъ фасонною вставкою, замѣняющею ея стѣнку и приклепанною къ ней двумя стыковыми накладками. Къ этой вставкѣ и къ накладкамъ приклепанъ нижній конецъ подвѣски крестоваго сѣченія, состоящей изъ 4 уголковъ 80 . 80 . 10 мм., а также кронштейнъ тротуара. Затяжка арочной фермы, имѣющая двойное крестовое сѣченіе изъ 8 уголковъ, подвѣшена къ поперечной балкѣ подвижнымъ образомъ, при помощи двухъ подвѣсокъ изъ полосового желѣза, прикрѣпленныхъ каждая однимъ болтомъ къ затяжкѣ, а другимъ болтомъ — къ небольшой треугольной накладкѣ, приклепанной къ уголкамъ подвѣски фермы. Такое подвижное прикрѣпленіе затяжки къ поперечной балкѣ устроено для того, чтобы проѣзжей части не передавались упругія измѣненія длины затяжки, вызванныя нагрузкою и температурою. Къ средней поперечной балкѣ затяжка прикрѣплена неподвижно, во избѣжаніе остающагося продольнаго перемѣщенія проѣзжей части относительно фермъ. Опорныя поперечныя балки, входящія въ составъ опорныхъ рамъ, наглухо приклепаны къ опорнымъ стойкамъ фермъ; вслѣдствіе этого концы продольныхъ балокъ проѣзжей части прикрѣплены къ опорнымъ поперечнымъ балкамъ продольно-подвижнымъ образомъ. — Поперечныя балки упираются въ затяжки при помощи свободнаго контакта, устроеннаго согласно фиг. 561 bis и 562.

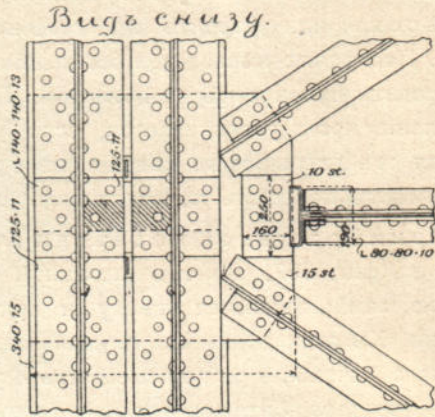
Для увеличенія гибкости двутавровой подвѣски, можно въ нижнемъ ея концѣ переходить къ болѣе узкому крестовому сѣченію. Такой примѣръ показанъ въ фиг. 558, гдѣ проѣзжая часть подвѣшена къ нижнему поясу эллиптическихъ балочно-разрѣзныхъ фермъ, при помощи подвѣсокъ двутавроваго сѣченія высотой 500 мм. изъ 4 уголковъ, связанныхъ между собою рѣшеткою изъ полосового желѣза. Не доходя 600 мм. до поперечной балки, уголки подвѣски обрываются и снабжены прокладкою, къ которой приклепано 4 уголка, образующихъ продолженіе подвѣски и



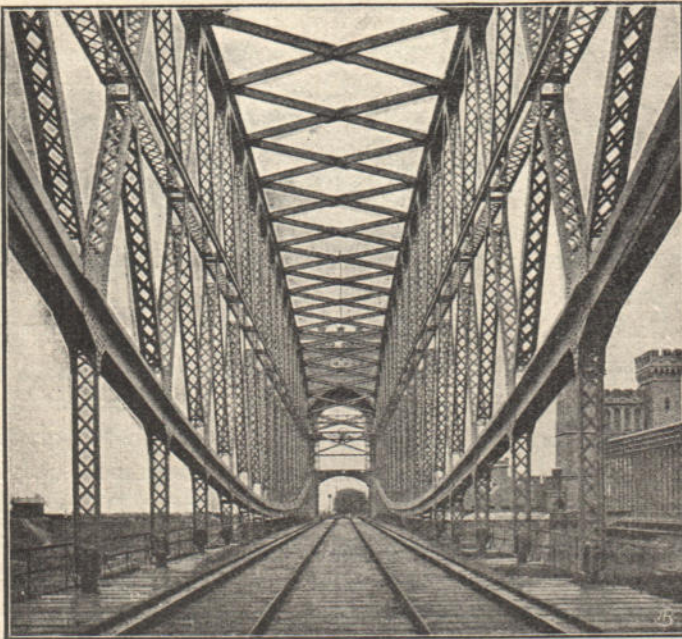
Разрѣзъ по а-б

Путепроводъ черезъ пути сортировоч. станціи Хаусбергень у Страссбурга.

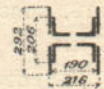
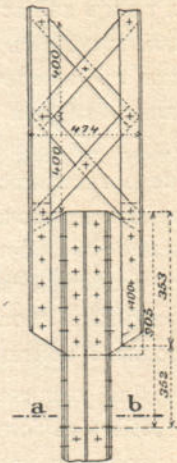
сдвинутыхъ между собою вплотную, образуя двутавровое сѣченіе, высотой 190 мм. (фиг. 559). Внизу подвѣска приклепана къ стѣнкѣ поперечной балки. Торцы всѣхъ поперечныхъ балокъ связаны между собою съ одной и съ другой стороны продольными балками



Фиг. 559.



Фиг. 558. Двухпутный жел.-дор. мостъ черезъ Вислу въ Диршау.

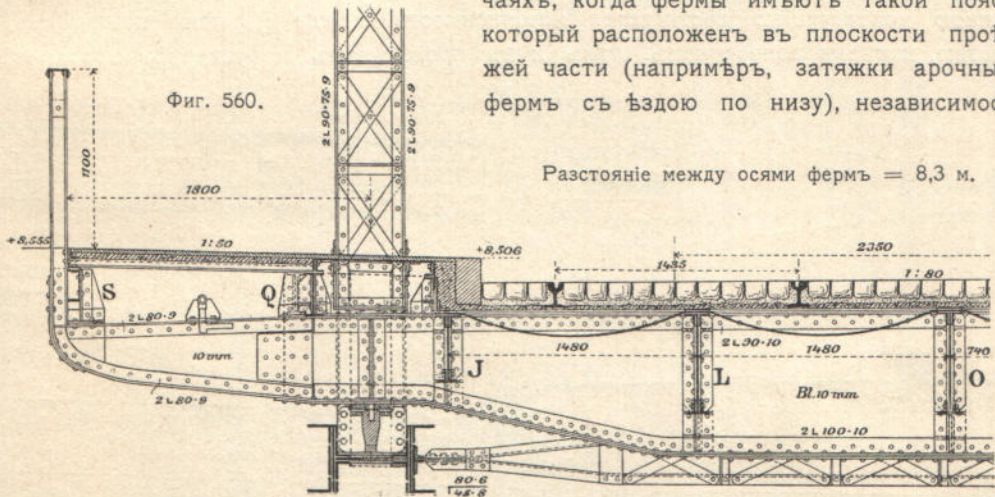


Двухпут. ж.-д. мостъ чер. Вислу въ Диршау.

фиг. 568), которыя служатъ поясами нижнихъ связей, расположенныхъ въ плоскости проѣзжей части. Кромѣ этихъ связей, имѣются только продольныя связи въ плоскости верхняго пояса фермъ. Поперечныхъ связей не устроено. Несмотря на то, что фермы связаны между собою непосредственно только одною системою связей, устойчивость пролетнаго строения вполне обеспечена, и, какъ видно изъ фиг. 558, оно отличается поразительною легкостью. Въ арочномъ съ вѣздою по низу мостѣ черезъ Рейнъ въ Боннѣ (фиг. 250 на стр. 260) для всѣхъ подвѣсокъ короче 5,5 м. гибкость по направленію вдоль моста увеличена тѣмъ, что въ верхнемъ и нижнемъ концѣ подвѣсокъ вырѣзаны уголки на протяженіи 400 до 600 мм. и замѣнены двумя плоскими накладками.

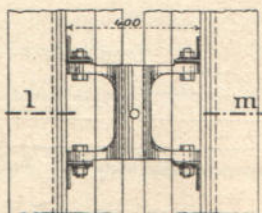
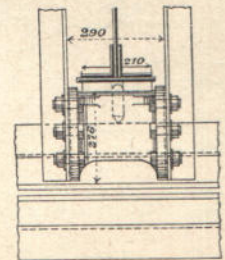
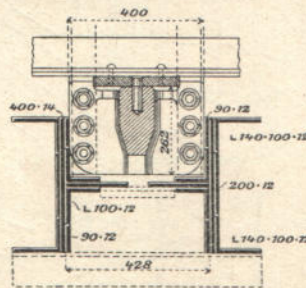
Шарнирное соединеніе подвѣсокъ съ поперечными балками можетъ быть устроено при помощи балансировъ, или при помощи шарнирнаго болта, или при помощи листового шарнира. При этомъ необходимо, чтобы проѣзжая часть была вполне свободна, т. е. независима отъ фермъ. Въ тѣхъ случаяхъ, когда фермы имѣютъ такой пояс, который расположенъ въ плоскости проѣзжей части (напримѣръ, затяжки арочныхъ фермъ съ вѣздою по низу), независимость

Разстояніе между осями фермъ = 8,3 м.



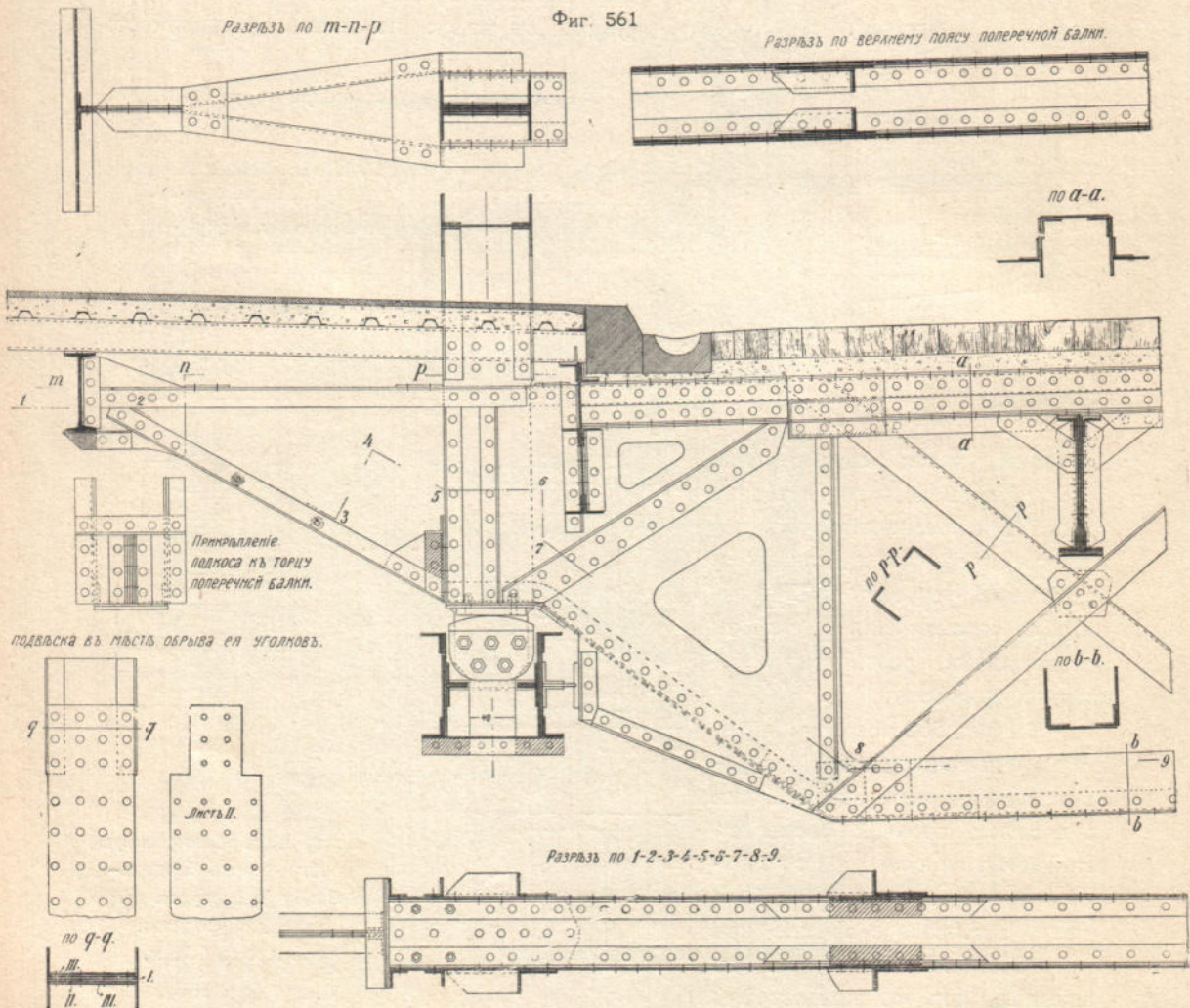
проѣзжей части относительно фермъ будетъ достигнута только тогда, если соединенія этого пояса съ поперечными балками и подвѣсками устроить подвижными. Для ознакомленія съ такими конструкціями, рассмотримъ нѣсколько примѣровъ.

Въ фиг. 560 показанъ примѣръ шарнирнаго прикрѣпленія поперечной балки къ подвѣскѣ арочной фермы съ затяжкой, при помощи стального балансира. Подвѣска имѣетъ двутавровое сѣченіе изъ 4 уголковъ 90 . 75 . 9 мм. съ рѣшеткою, которое при встрѣчѣ съ поперечною балкою перехо-



Мостъ подѣ обыкновенную дорогу черезъ Зюдербъ-Эльбу у Гарбурга съ арочными фермами пролетомъ 101 м.

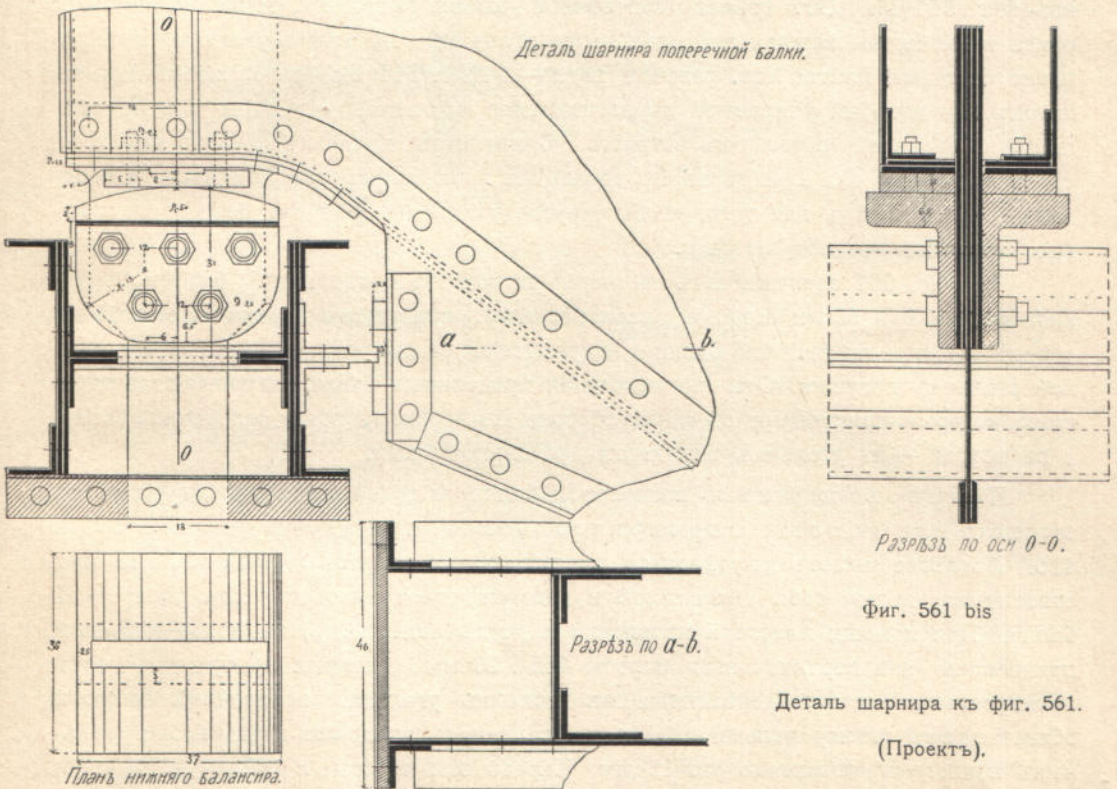
дить, при помощи двухъ вертикальныхъ накладокъ, въ трубчатое сѣченіе изъ 4 уголковъ, между которыми пропущена поперечная балка, опираясь тамъ на фасонный балансиръ изъ литой стали, прикрѣпленный къ 4 уголкамъ подвѣски 12-ю болтами. Балансиръ снабженъ по срединѣ цилиндрическою выпуклостью, на которую опирается стальная плитка, приклепанная къ низу поперечной балки. Въ центрѣ шарнира всѣхъ балокъ имѣется вертикальный шипъ, служащій для закрѣпленія поперечной балки съ подвѣскою фермы и, кромѣ того, для передачи нижнимъ связямъ между затяжками тѣхъ боковыхъ силъ, которыя приложены къ проѣзжей части (отъ временной нагрузки). Затяжка фермы подвѣшена къ балансиру поперечной балки подвижнымъ образомъ, при помощи болтовъ въ овальныхъ дырахъ, размѣръ которыхъ уменьшается отъ опоръ къ срединѣ пролета, гдѣ устроено неподвижное (вдоль моста) соединеніе между затяжкой и проѣзжей частью для того, чтобы ограничить продольныя перемѣщенія проѣзжей части относительно фермъ и чтобы передать затяжкамъ силы тормаженія трамвая. Описанною конструкціею достигается независимость между фермами и проѣзжей частью, какъ въ поперечномъ, такъ и въ продольномъ направленіи моста, съ



Шарнирное прикрѣпленіе поперечной балки къ подвѣскѣ арочнаго моста (проектъ).

одной стороны, потому, что давленіе проѣзжей части передается фермамъ вертикально, несмотря на прогибъ поперечныхъ балокъ. Съ другой стороны, упругія измѣненія длины затяжки подѣ дѣйствіемъ нагрузки и температуры не могутъ передаваться поперечнымъ балкамъ и изгибать ихъ, вслѣдствіе продольно-подвижнаго прикрѣпленія затяжки къ опорамъ поперечныхъ балокъ. При продольномъ перемѣщеніи проѣзжей части относительно фермъ, подвѣски изгибаются въ плоскости фермъ. Связи между затяжками устроены безъ распорокъ изъ однѣхъ рыбообразныхъ діагоналей трубчатого сѣченія.

Другой примѣръ шарнирнаго прикрѣпленія поперечной балки къ подвѣскѣ арочной фермы съ затяжкой, при помощи стального балансира, показанъ въ фиг. 561 и 561 bis. Подвѣска имѣетъ двутавровое сѣченіе изъ 4-хъ уголковъ и листа. Въ отличіе отъ конструкціи въ фиг. 560, подвѣска не раздваивается при встрѣчѣ съ поперечною балкою, а сохраняетъ до низу свое одностѣнчатое сѣченіе и пропущена черезъ поперечную балку, устроенную двустѣнчатого типа съ коробчатыми поясами ²⁾. Въ мѣстѣ встрѣчи съ верхнимъ поясомъ поперечной



балки уголки подвѣски оборваны и замѣнены двумя прокладками II и двумя накладками III, приклепанными къ стѣнкѣ подвѣски (см. на фиг. 561 деталь подвѣски въ мѣстѣ обрыва ея уголковъ). На конецъ подвѣски, состоящій такимъ образомъ изъ 5 листовъ, надѣтъ стальной балансиръ и прикрѣпленъ къ подвѣскѣ

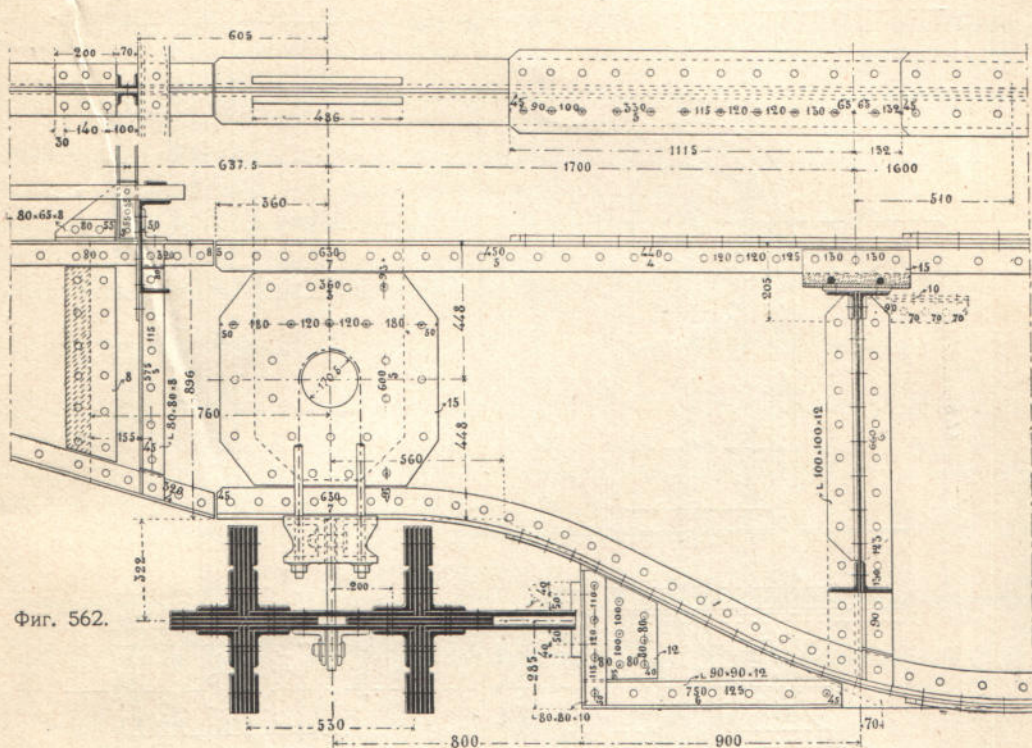
²⁾ Пояса поперечной балки устроены коробчатаго типа: 1) вслѣдствіе значительнаго пролета балокъ въ 14 м., 2) для того, чтобы имѣть возможность пропустить подвѣску черезъ поперечную балку, и 3) для удобства прикрѣпленія прямоугольнаго клепананаго настила къ верхнему поясу поперечныхъ балокъ.

5-ю горизонтальными болтами. Какъ видно изъ плана и разрѣза по 0—0 въ фиг. 561 bis, этотъ балансиръ представляетъ квадратную выпуклую сверху плиту, имѣющую въ своей серединѣ продолговатое отверстіе для помѣщенія подвѣски. Справа и слѣва отъ подвѣски на балансиръ опираются, при помощи двухъ стальныхъ плитокъ, обѣ стѣнки поперечной балки. Затяжка арочной фермы подвѣшена къ стѣнкѣ I подвѣски, которая сжужена до 180 мм. и пропущена ниже балансира. Къ концу этого листа приклепана поперечина изъ двухъ горизонтальныхъ полосъ съ закругленными головками, на которыя опираются обѣ стѣнки затяжки. Скрѣпленія между поперечною балкою и затяжкой не устроено, чтобы обезпечить возможность перемѣщенія подвѣски и поперечной балки вдоль затяжки. По серединѣ пролета соединеніе между затяжкой и поперечною балкою устроено неподвижнымъ вдоль моста. Въ плоскости затяжки устроены горизонтальныя связи двухрѣшетчатой системы. Концы поперечныхъ балокъ упираются въ затяжки при помощи свободного контакта для того, чтобы передать нижнимъ связямъ ту горизонтальную нагрузку, которая дѣйствуетъ на проѣзжую часть. Устройство контакта видно изъ фиг. 561 bis. Обѣ стѣнки поперечной балки выпущены ниже ея нижняго пояса и снабжены каждая вертикальнымъ уголкою; къ этимъ уголкамъ прикрѣплена стальная плитка (см. разрѣзъ по $a—b$ фиг. 561 bis) съ горизонтальнымъ пазомъ, въ который упирается горизонтальная накладка, служащая для прикрѣпленія діагоналей связей къ затяжкѣ. Снизу пазъ пригнанъ плотно для того, чтобы накладка для прикрѣпленія связей не прогибалась отъ ихъ вѣса. Сверху пазъ имѣетъ зазоръ для того, чтобы упругое удлиненіе подвѣски фермы не вызвало мѣстнаго прогиба затяжки.

Въ фиг. 561 заслуживаетъ вниманія устройство продольныхъ балокъ проѣзжей части. Эти балки сдѣланы неразрѣзными, пропущены черезъ отверстія въ стѣнкѣ сквозной поперечной балки и опираются на ея діагонали при помощи выпуклой стальной подушки. Отъ опрокидыванія продольныя балки удерживаются планками, которыя приклепаны съ одной стороны къ верхнему поясу поперечной балки, а съ другой — къ уголкамъ жесткости продольной балки.

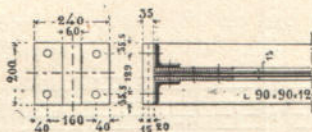
Примѣръ сопряженія поперечной балки и подвѣски арочной фермы съ затяжкой, при помощи шарнирнаго болта, показанъ въ фиг. 562, 563 и 416. Подвѣска имѣетъ двутавровое сѣченіе изъ 4 уголковъ 100 . 100 . 12 мм., связанныхъ между собою рѣшеткою и доведенныхъ только до верха поперечной балки. При помощи листовой прокладки и двухъ подкладокъ, къ концу подвѣски приклепаны двѣ вертикальныя полосы 485 . 20 мм., которыя пропущены черезъ прямоугольныя щели, вырѣзанныя въ верхнихъ уголкахъ поперечной балки и обхватываютъ стѣнку поперечной балки, усиленную наклепкою двухъ восьмиугольныхъ накладокъ толщиною по 15 мм. Черезъ эти полосы и стѣнку балки пропущенъ шарнирный болтъ діаметромъ 170 мм.

Прикрѣпленіе затяжки фермы къ концу поперечной балки устроено такъ, чтобы оно допускало продольное перемѣщеніе проѣзжей части относительно затяжки. Это достигнуто тѣмъ, что затяжка поддерживается подвѣскою изъ полосового желѣза 100 . 25 мм. (фиг. 563), которая нижнимъ концомъ прикрѣплена къ затяжкѣ помощью болта діам. 40 мм., а верхнимъ концомъ, при помощи такого же болта, — къ стальной подушкѣ, подвѣшенной къ шарнирному болту поперечной балки, помощью двухъ сѣрегъ изъ круглаго 23 мм. желѣза. При такомъ прикрѣпленіи подвѣски, она можетъ свободно качаться вдоль фермы, и перемѣщеніе проѣзжей части



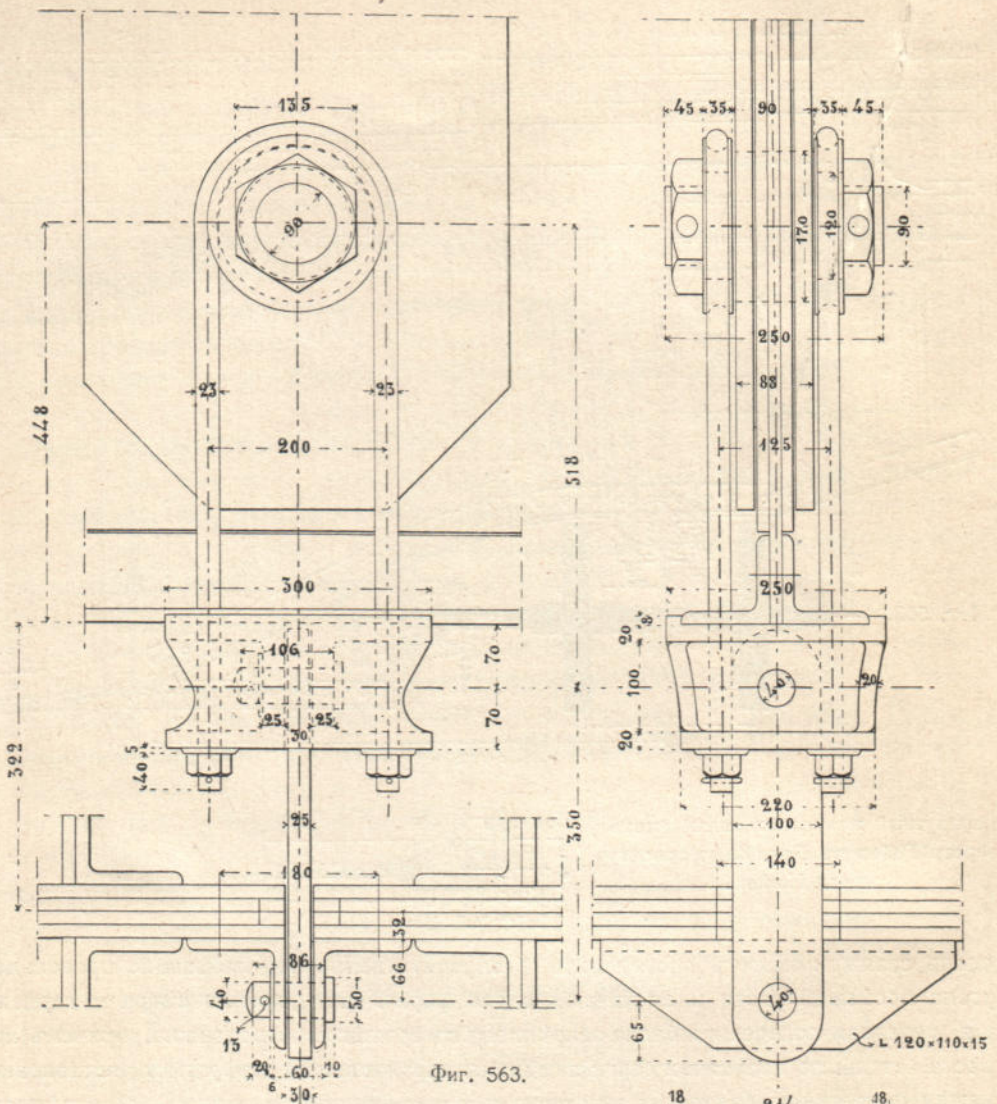
Фиг. 562.

Двухпутный желѣзнодорожный мостъ
черезъ Рейнъ въ Вормсѣ по проекту
завода Harkort.



вдоль затяжки можетъ происходить безпрепятственно. Во избѣжаніе продольнаго угона проѣзжей части и ея качанія вдоль фермъ отъ дѣйствія вѣтра и тормаженія, средняя поперечная балка закрѣплена съ затяжкой неподвижно, причѣмъ подвѣска, стальная подушка и серги замѣнены вертикальною діафрагмою, вставленною между поперечною балкою и затяжкой и приклепанною къ нимъ. Прикрѣпление этой поперечной балки къ подвѣскѣ фермы выполнено при помощи такого же шарнирнаго болта, какъ въ остальныхъ поперечныхъ балкахъ. По серединѣ пролета устроена тормазная рама для передачи горизонтальной силы тормаженія отъ проѣзжей части въ обѣ затяжки и связи между ними. Кромѣ 4-хъ діагоналей этихъ связей, въ составъ тормазной рамы входятъ средняя поперечная балка, 4 продольныхъ балки, 2 распорки и 8 діагоналей между продольными балками (фиг. 416).

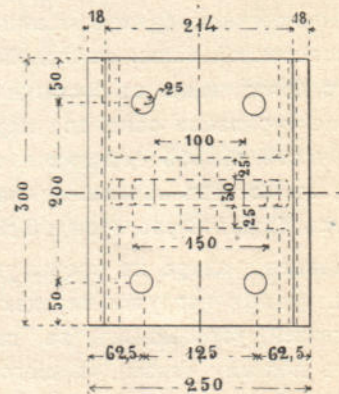
Давленіе вѣтра на проѣзжую часть и на подвижной составъ, а также другія горизонтальныя нагрузки передаются на опоры моста при помощи горизонтальныхъ связей, устроенныхъ въ плоскости затяжки фермъ, причѣмъ эти затяжки служатъ поясами связей, а діагонали устроены рыбообразнаго типа, испытывая каждая, какъ растягивающія, такъ и сжимающія усилія. Поперечныя балки не рассматриваются какъ распорки этихъ связей; но такъ какъ горизонтальная нагрузка передается связямъ черезъ посредство поперечныхъ балокъ, то онѣ сопрягаются съ затяжками при помощи свободныхъ контактовъ слѣдующаго устройства. Какъ



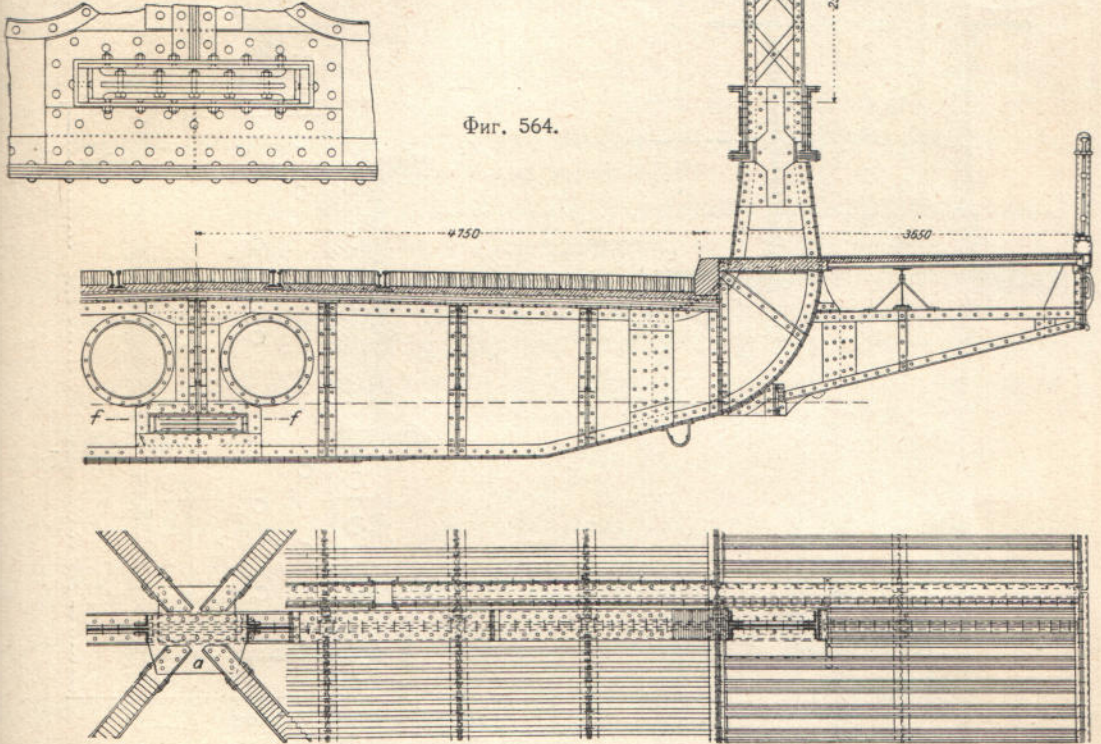
Фиг. 563.

Двухпутный желѣзнодорожный мостъ черезъ Рейнъ
въ Вормсѣ по проекту завода Harkort.
(Деталь къ фиг. 562).

видно изъ фиг. 562, конецъ поперечной балки имѣетъ снизу треугольный выступъ, окаймленный уголками и снабженный стальной плиткою размѣромъ 200 . 240 мм. съ горизонтальнымъ пазомъ шириною 60 мм., въ который упирается парная горизонтальная накладка, приклепанная къ затяжкѣ и служащая, вмѣстѣ съ тѣмъ, для прикрѣпленія діагоналей связей. Соприкасающіяся поверхности контакта точно обработаны — и не препятствуютъ перемѣщенію поперечныхъ балокъ вдоль затяжекъ.



Конструкція листового шарнира въ подвѣскѣ зависитъ отъ того, желательнo ли придать подвѣскѣ гибкость вдоль моста, или поперекъ моста. Въ фиг. 564 двутавровая подвѣска арочнаго съ ѣздою по низу моста снабжена листовымъ шарниромъ, который придаетъ сравнительно короткой подвѣскѣ гибкость вдоль моста для того, чтобы проѣзжая часть, качаясь на подвѣскахъ, не принимала участія въ деформацияхъ фермъ, вслѣдствіе нагрузки и температуры. Листовой шарниръ устроенъ въ мѣстѣ прикрѣпленія подвѣски къ нижнему поясу фермы,



Фиг. 564.

Конкурсный проект „Sichel“ арочнаго моста черезъ Неккаръ въ Маннгеймѣ.

гдѣ прерываются всѣ 4 уголка, образующихъ подвѣску. Вертикальный листъ шарнира состоитъ изъ прокладки, зажатой между уголками подвѣски, и изъ двухъ склепанныхъ съ нею накладокъ, которыя имѣютъ ту же толщину, какъ полки уголковъ, и приклепаны къ каждому концу уголковъ при помощи фасонной накладки. Надъ проѣзжею частью фермы не соединены между собою связями; поэтому жесткость поперечнаго сѣченія моста достигается устройствомъ жесткихъ полурамъ, требующихъ солиднаго прикрѣпленія подвѣсокъ къ поперечнымъ балкамъ.

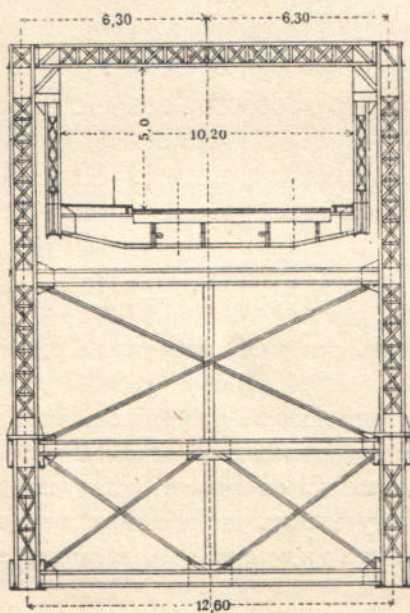
Въ фиг. 565 показанъ примѣръ листового шарнира въ мѣстѣ сопряженія верхняго конца подвѣски съ коробчатымъ нижнимъ поясомъ арочнаго моста съ ѣздою по низу. Стойка фермы, служащая продолженіемъ подвѣски, имѣетъ двутавровое сѣченіе изъ стѣнки 350 . 8 мм. и 4-хъ уголковъ 70 . 70 . 8 мм., которые доведены до низу стѣнокъ пояса и приклепаны къ нимъ съ примѣненіемъ внутреннихъ узловыхъ накладокъ толщиной по 12 мм. Подвѣска имѣетъ

изъ 4-хъ уголковъ 100 . 80 . 8 мм., которые доведены до нижнихъ уголковъ нижняго пояса и приклепаны къ его стѣнкамъ при помощи внутреннихъ узловыхъ накладокъ. Подвѣска имѣетъ двутавровое сѣченіе изъ 4-хъ уголковъ 110 . 90 . 12 мм., которые доведены до нижнихъ горизонтальныхъ листовъ нижняго пояса и приклепаны къ пятерному вертикальному листу шарнира, который составленъ: 1) изъ прокладки I толщиной 10 мм. и длиною 680 + 500 мм., 2) изъ двухъ подкладокъ II толщиной по 12 мм., положенныхъ на прокладку I въ предѣлахъ между уголками стойки и подвѣски, 3) изъ двухъ накладокъ III толщиной по 12 мм., устроенныхъ во всю ширину стойки и подвѣски, наклепанныхъ на ихъ уголки и снабженныхъ вырѣзами въ мѣстѣ пересѣченія съ внутренними уголками пояса. Въ виду того, что уголки стойки тонше подкладокъ II на 4 мм., на эти уголки наклепаны заштрихованныя въ фиг. 566 узкія прокладки. Изъ пяти заклепокъ, которыми каждая пара уголковъ подвѣски прикрѣплена къ вертикальному листу шарнира, три заклепки устроены съ шестернымъ сръзываніемъ, при помощи короткихъ уголковъ IV, наклепанныхъ на накладки III.

Еще примѣръ листового шарнира показанъ въ фиг. 567. На арочныхъ фермахъ, расположенныхъ подъ проѣзжею частью, поставлены стойки, верхніе концы которыхъ попарно связаны между собою распоркою. Подвѣски, поддерживающія проѣзжую часть, своимъ верхнимъ концомъ подвѣшены при помощи упругаго вертикальнаго листа къ фасонной накладкѣ, которая закрѣплена въ мѣстѣ прикрѣпленія распорки къ стойкѣ. Такимъ образомъ, подвѣски могутъ качаться около ихъ верхняго конца и не препятствуютъ перемѣщенію проѣзжей части вдоль моста.

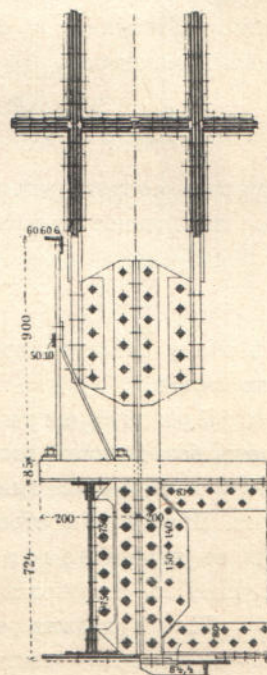
Въ фиг. 568 показанъ примѣръ, когда листы, придающіе подвѣскѣ гибкость, расположены въ плоскости фермъ. Подвѣска имѣетъ крестовое сѣченіе изъ 4 уголковъ 90 . 90 . 13 мм.; своимъ нижнимъ концомъ она приклепана къ стѣнкѣ поперечной балки, усиленной накладкою двухъ накладокъ по 6,5 мм., а верхній конецъ подвѣски прикрѣпленъ къ восьмиугольной накладкѣ толщиной 26 мм., которая при помощи 4-хъ уголковъ 100 . 100 . 13 мм. приклепана къ двумъ накладкамъ толщиной по 26 мм., расположеннымъ по фасаду фермъ и зажатымъ между двумя парами вставокъ въ узлѣ фермы. Торцы попе-

Фиг. 567.



Арочный мостъ черезъ Сѣверо-Германскій каналъ у Левенсау.

Фиг. 568.



Двухпут. ж.-д. мостъ черезъ Вислу въ Диршау.

перечной балки зажатымъ между двумя парами вставокъ въ узлѣ фермы.

речныхъ балокъ связаны между собою съ каждой стороны продольною балкою, представляющею поясъ связей въ плоскости проѣзжей части.

§ 68. Поперечныя балки на качающихся стойкахъ.

Если проѣзжая часть расположена надъ криволинейнымъ верхнимъ поясомъ фермъ балочной или арочной системы, то давленіе поперечныхъ балокъ передается на фермы при помощи стоекъ. Прикрѣпленіе стоекъ къ поперечнымъ балкамъ и къ фермамъ можетъ быть жесткое, при помощи заклепокъ, или шарнирное, позволяющее стойкамъ качаться вдоль моста.

Серіозный недостатокъ жесткаго прикрѣпленія стоекъ заключается въ томъ, что онѣ изгибаются и испытываютъ значительныя дополнительныя напряженія 1) при неодинаковомъ расширеніи отъ температуры фермъ и проѣзжей части, 2) при измѣненіи длины поясовъ фермъ отъ дѣйствія нагрузки и 3) при дѣйствіи на проѣзжую часть продольныхъ горизонтальныхъ силъ, на примѣръ тормаженія. О величинѣ дополнительныхъ напряженій въ стойкахъ, при ихъ изгибѣ отъ дѣйствія температуры, можно судить по слѣдующему разсчету, соответствующему арочному съ ѣздою по верху мосту, проѣзжая часть котораго имѣетъ неподвижное соединеніе съ арочными фермами въ ихъ ключѣ. Сдѣлаемъ самое невыгодное допущеніе, что при измѣненіи температуры проѣзжая часть расширяется въ горизонтальномъ направленіи, между тѣмъ какъ узлы арокъ перемѣщаются только въ вертикальномъ направленіи. Разсмотримъ стойку длиною $l = 1,656$ м., отстоящую на 17,5 м. отъ ключа арокъ. При измѣненіи температуры на 30° верхній конецъ стойки получить по отношенію къ ея подошвѣ горизонтальное перемѣщеніе $f = 5,2$ мм. Разсматривая стойку какъ брусъ съ задѣланнымъ нижнимъ и свободнымъ верхнимъ концомъ, получимъ наибольшій изгибающій моментъ

$$M = \frac{3 E \cdot J \cdot f}{l^2} = \frac{3 \cdot 2000000 \cdot 3854 \cdot 0,52}{165,6^2} = 440000 \text{ к. см.}$$

Моментъ сопротивленія стойки для оси поперекъ моста $W = 386 \text{ см.}^3$

Дополнительное напряженіе стойки отъ изгиба

$$\gamma = \frac{M}{W} = \frac{440000}{386} = \pm 1140 \text{ к./см.}^2$$

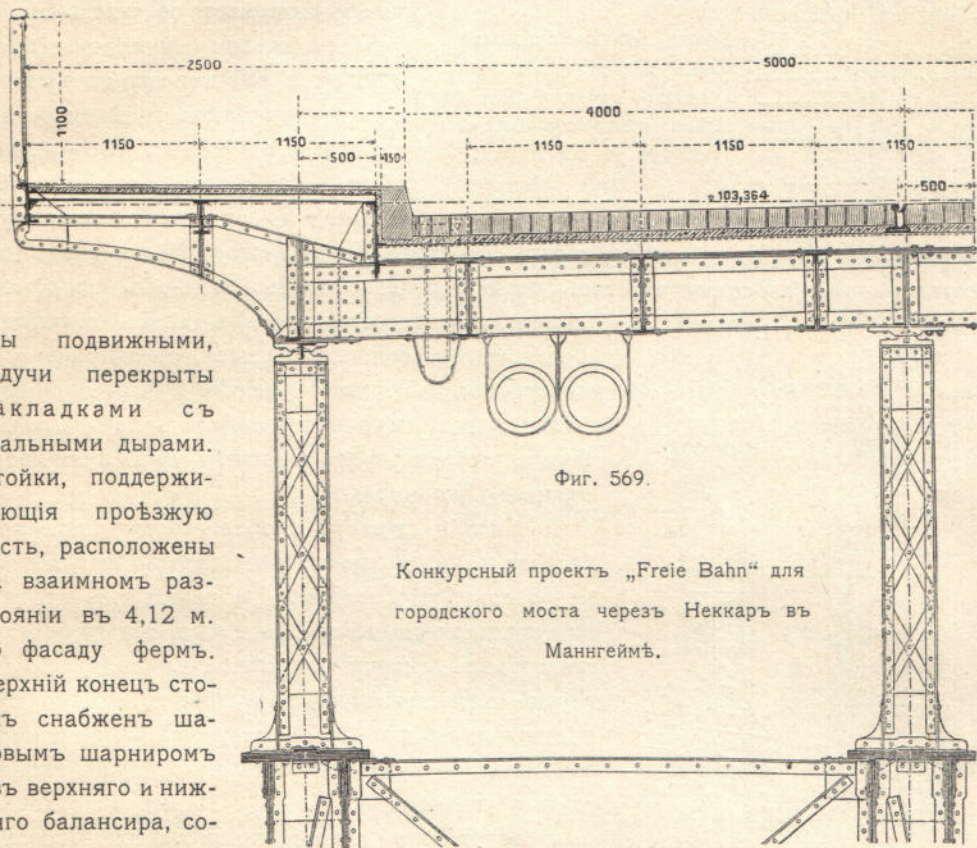
Къ этому слѣдуетъ прибавить основное напряженіе стойки отъ сжатія продольною силою.

При шарнирномъ прикрѣпленіи стоекъ проѣзжая часть получаетъ возможность свободного перемѣщенія относительно фермъ и достаточно закрѣпить ее съ фермами только въ одномъ мѣстѣ, лучше всего по серединѣ пролета. Шарниры стоекъ могутъ быть устроены или при помощи балансировъ, или въ видѣ листовыхъ шарнировъ. Съ деталями этихъ конструкцій ознакомимся въ примѣрахъ.

Если проѣзжая часть имѣетъ неразрѣзныя продольныя балки, или же разрѣзныя съ очень жесткимъ прикрѣпленіемъ къ поперечнымъ балкамъ, слѣдуетъ убѣдиться, не возникаютъ ли на опорахъ поперечныхъ балокъ отрицательныя реакціи, стремящіяся приподнять балки со стоекъ. Въ этихъ случаяхъ слѣдуетъ отдавать предпочтеніе жесткому прикрѣпленію поперечныхъ балокъ. Стойки неболь-

шой длины не слѣдуетъ соединять между собою поперечными связями для того, чтобы фермы могли прогибаться независимо одна отъ другой, въ случаѣ неодинаковаго ихъ нагруженія, какъ въ мостахъ подѣ обыкновенную дорогу и въ двухпутныхъ желѣзнодорожныхъ мостахъ. При большой длинѣ стоекъ предпочитаютъ соединять ихъ между собою поперечными связями, причемъ получаются качающіяся рамы.

Разсмотримъ нѣсколько примѣровъ. Въ фиг. 569 показанъ поперечный разрѣзъ проѣзжей части арочнаго съѣзду по верху моста съ 4-мя фермами пролетомъ 113 м. Поперечная балка, опирающаяся на 4 качающіяся стойки, перерѣзана надѣ обѣими внутренними стойками и стыки ея стѣнки устро-



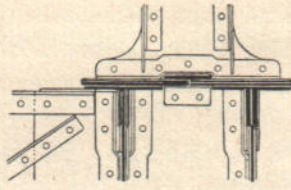
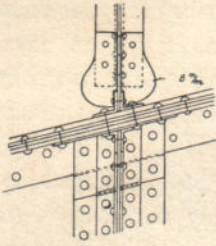
Фиг. 569.

Конкурсный проект „Freie Bahn“ для городского моста через Неккаръ въ Маннгеймѣ.

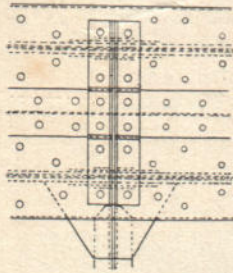
ены подвижными, будучи перекрыты накладками съ овальными дырами. Стойки, поддерживающія проѣзжую часть, расположены на взаимномъ разстояніи въ 4,12 м. по фасаду фермъ. Верхній конецъ стоекъ снабженъ шаровымъ шарниромъ изъ верхняго и нижняго балансира, соприкасающихся по шаровымъ поверх-

ностямъ разнаго радиуса. Нижній конецъ стоекъ опирается на арки помощью листового шарнира, изображеннаго въ фиг. 570. Вертикальный листъ шарнира расположенъ поперекъ фермы и приклепанъ къ горизонтальнымъ листамъ ея верхняго пояса помощью двухъ горизонт. уголковъ. Къ уголкамъ стойки, обрѣзаннымъ до встрѣчи съ этими уголками, приклепаны съ фасада фермъ грушевидныя накладки, толщиной 8 мм., имѣющія только декоративное значеніе и обрѣзанныя такъ, чтобы онѣ не препятствовали изгибу листового шарнира. Въ средней части пролета, на протяженіи 41,2 м., арки проходятъ близко отъ проѣзжей части и склепаны съ нею наглухо; а въ обоихъ концевыхъ участкахъ длиною по 36 м. проѣзжая часть, поддерживаемая качающимися стойками, можетъ свободно расширяться, независимо отъ фермъ. Все пролетное строеніе имѣетъ 3 системы связей: продольныя

въ плоскости проѣзжей части и нижняго пояса арочныхъ фермъ и поперечныя



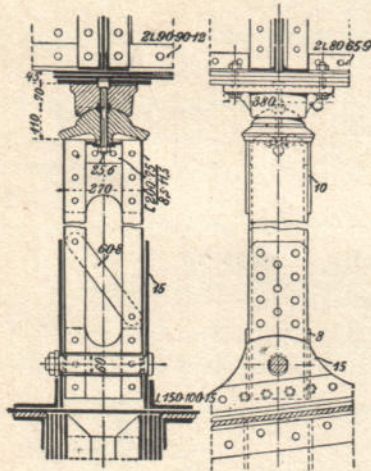
Фиг. 570.



Деталь нижняго листового шарнира стойки изъ конкурснаго проекта „Freie Bahn“ для моста черезъ Неккаръ въ Маннгеймѣ.

швеллеровъ, обращенныхъ во внутрь и связанныхъ между собою двумя рѣшетками изъ полосового желѣза. Верхній конецъ стоекъ снабженъ шаровымъ

Фиг. 571.



Конкурсный проектъ завода Harkort для шоссеаго моста черезъ Рейнь въ Вормсѣ.

шарниромъ, состоящимъ изъ двухъ стальныхъ балансировъ, соприкасающихся по сферическимъ поверхностямъ разнаго радиуса. Для предосторожности, черезъ шарниръ пропущенъ вертикальный болтъ, собранный такъ, чтобы онъ не мѣшалъ вращенію шарнира.

Нижній шарниръ спроектированъ цилиндрическаго типа, но передача давленія происходитъ не черезъ болтъ шарнира, а черезъ двѣ накладки толщиной по 15 мм., которыя приклепаны къ швеллерамъ снаружи и обточены снизу по вогнутой цилиндрической поверхности, которую онѣ опираются на двѣ фасонныя накладки толщиной по 15 мм., приклепанныя къ поясу арки, каждая однимъ уголкомъ 150 . 100 . 15 мм. и обточенная сверху по выпуклой цилиндрической поверхности немного меньшаго радиуса, чѣмъ въ накладкахъ стойки, съ тѣмъ чтобы уменьшить треніе. Для того, чтобы швеллера стойки служили направляющими при вращеніи шарнира, они пропущены между нижними фасонными накладками и связаны съ ними горизонтальнымъ болтомъ діаметромъ 60 мм., который, въ виду игры въ отверстіяхъ, не участвуетъ въ передачѣ давленія стойки. Наибольшее давленіе, приходящееся на одну стойку, = 41 тон.

Самый выдающийся примѣръ свободной проѣзжей части, поддерживаемой качающимися стойками, относится къ большому арочному мосту черезъ Вупперъ въ Мюнгстенѣ. Надъ главною аркою пролетомъ 180 м. проѣзжая часть подъ два желѣзнодорожныхъ пути поддерживается шестью парами качающихся стоекъ (фиг. 572), длиною отъ 8,4 м. до 22,5 м., расположенныхъ на взаимномъ

вертикальныя связи въ предѣлахъ высоты арочныхъ фермъ. Между качающимися стойками не имѣется поперечныхъ связей. Стойки описаннаго типа примѣнены на шоссеаго мосту черезъ Рейнь въ Вормсѣ, построенномъ въ 1900 году.

Въ фиг. 571 показанъ другой примѣръ качающейся стойки арочнаго моста со сквозными арками, на которыя поперечныя балки опираются при помощи качающихся стоекъ, расположенныхъ на взаимномъ разстояніи въ 7 м. по фасаду фермъ. Стойки имѣютъ трубчатое сѣченіе и составлены изъ двухъ

швеллеровъ, обращенныхъ во внутрь и связанныхъ между собою двумя рѣшетками изъ полосового желѣза. Верхній конецъ стоекъ снабженъ шаровымъ шарниромъ, состоящимъ изъ двухъ стальныхъ балансировъ, соприкасающихся по сферическимъ поверхностямъ разнаго радиуса. Для предосторожности, черезъ шарниръ пропущенъ вертикальный болтъ, собранный такъ, чтобы онъ не мѣшалъ вращенію шарнира.

Нижній шарниръ спроектированъ цилиндрическаго типа, но передача давленія происходитъ не черезъ болтъ шарнира, а черезъ двѣ накладки толщиной по 15 мм., которыя приклепаны къ швеллерамъ снаружи и обточены снизу по вогнутой цилиндрической поверхности, которую онѣ опираются на двѣ фасонныя накладки толщиной по 15 мм., приклепанныя къ поясу арки, каждая однимъ уголкомъ 150 . 100 . 15 мм. и обточенная сверху по выпуклой цилиндрической поверхности немного меньшаго радиуса, чѣмъ въ накладкахъ стойки, съ тѣмъ чтобы уменьшить треніе.

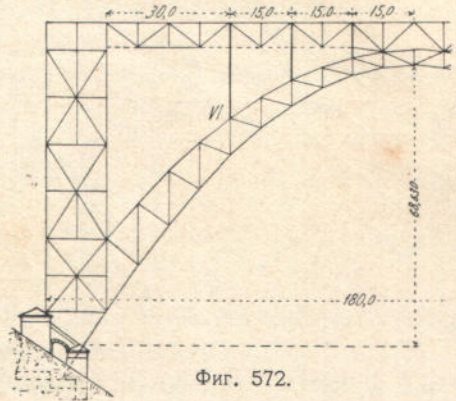
Для того, чтобы швеллера стойки служили направляющими при вращеніи шарнира, они пропущены между нижними фасонными накладками и связаны съ ними горизонтальнымъ болтомъ діаметромъ 60 мм., который, въ виду игры въ отверстіяхъ, не участвуетъ въ передачѣ давленія стойки. Наибольшее давленіе, приходящееся на одну стойку, = 41 тон.

Самый выдающийся примѣръ свободной проѣзжей части, поддерживаемой качающимися стойками, относится къ большому арочному мосту черезъ Вупперъ въ Мюнгстенѣ. Надъ главною аркою пролетомъ 180 м. проѣзжая часть подъ два желѣзнодорожныхъ пути поддерживается шестью парами качающихся стоекъ (фиг. 572), длиною отъ 8,4 м. до 22,5 м., расположенныхъ на взаимномъ

разстояніи въ 15 и въ 30 м. по фасаду фермъ и связанныхъ между собою поперекъ моста вертикальными связями, такъ что каждая пара стоекъ образуетъ качающуюся вдоль моста раму, которая, помимо своего прямого назначенія, передаетъ продольнымъ связямъ между арками то давленіе вѣтра, которое приходится на проезжую часть и на подвижной составъ. Стойки расположены съ тѣмъ-же уклономъ въ $\frac{1}{7}$ къ вертикали, какъ и арочныя фермы. Нижній конецъ стоекъ опирается на узлы арокъ помощью листового шарнира, между тѣмъ, какъ верхній шарниръ стоекъ спроектированъ болтового типа. При такомъ устройствѣ шарнировъ стойки могутъ качаться только вдоль моста и онѣ предохранены отъ вреднаго для нихъ изгиба, вслѣдствіе деформаций проезжей части отъ нагрузки и температуры и вслѣдствіе силъ тормаженія.

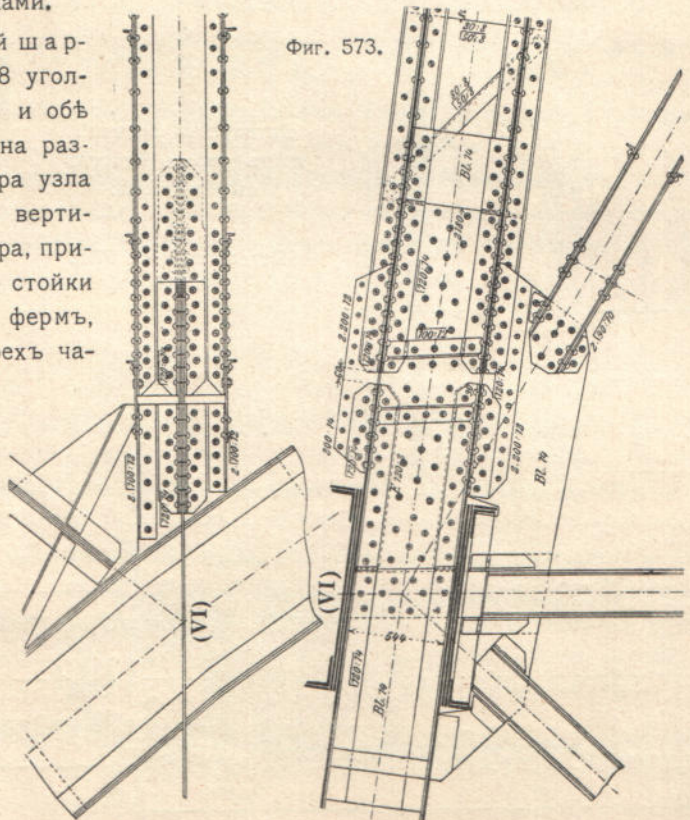
Разсмотримъ конструкцію наиболее длинной (около 22,5 м.) стойки, опирающейся на узелъ VI арки и передающей ему вертикальное давленіе въ 205,2 тон. Стойка имѣетъ трубчатое сѣченіе изъ двухъ клепаныхъ двутавровыхъ балокъ, которыя составлены каждая изъ стѣнки 500 . 12 мм., 4-хъ уголковъ 100 . 100 . 12 мм. и двухъ поясныхъ листовъ 240 . 15 мм., и связаны между собою двумя треугольными рѣшетками съ распорками.

Нижній листовый шарниръ (фиг. 573). Всѣ 8 уголковъ, 4 поясныхъ листа и обѣ стѣнки стойки прерваны на разстояніи 1,2 м. отъ центра узла VI арки и возмѣщаются вертикальнымъ листомъ шарнира, приклепаннымъ къ стѣнкамъ стойки по направленію поперекъ фермъ, и составленнымъ изъ трехъ частей, а именно изъ тройного средняго листа шириною 548 мм. и толщиною 12, 14 и 12 мм., помѣщающагося внутри стойки и изъ двухъ тройныхъ листовъ той же толщины и шириною 200 мм., расположенныхъ снаружи стойки. Съ внутренней стороны моста средней изъ боковыхъ листовъ шарнира замѣненъ фасонною накладкою толщиною



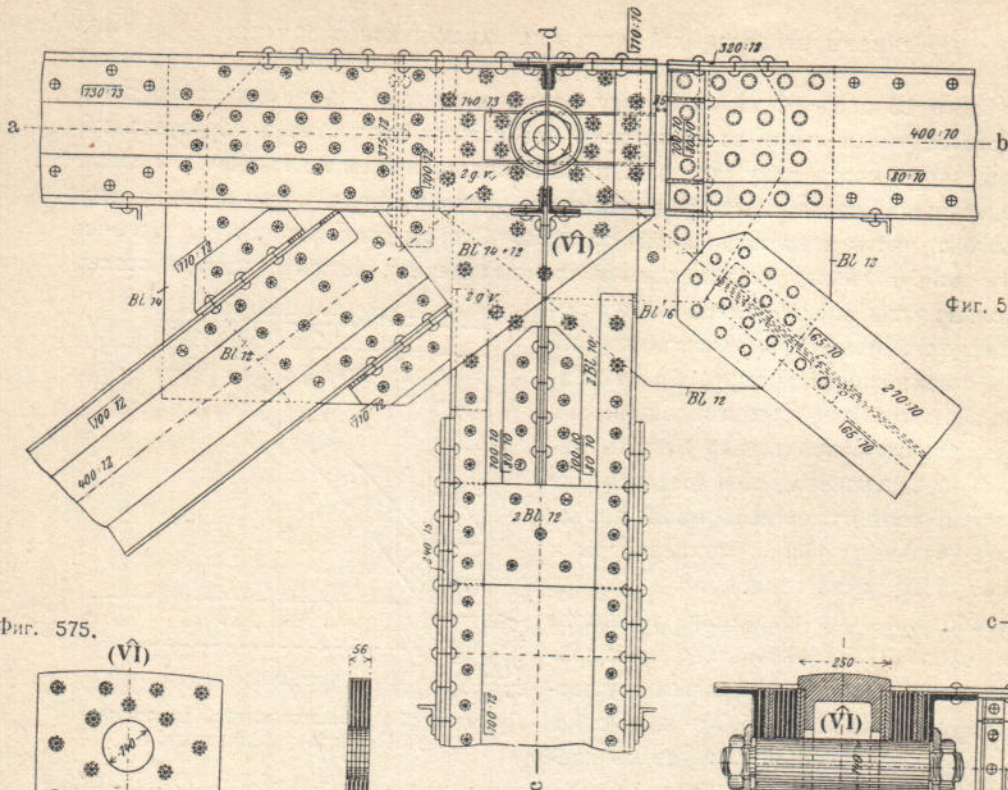
Фиг. 572.

Двухпутный желѣзнодорожный мостъ черезъ Вупперъ у Мюнгстена.



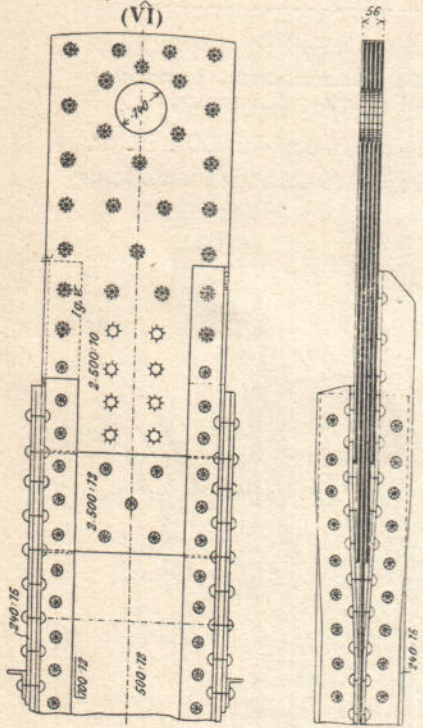
Фиг. 573.

Мостъ черезъ Вупперъ въ Мюнгстенѣ.



Фиг. 574.

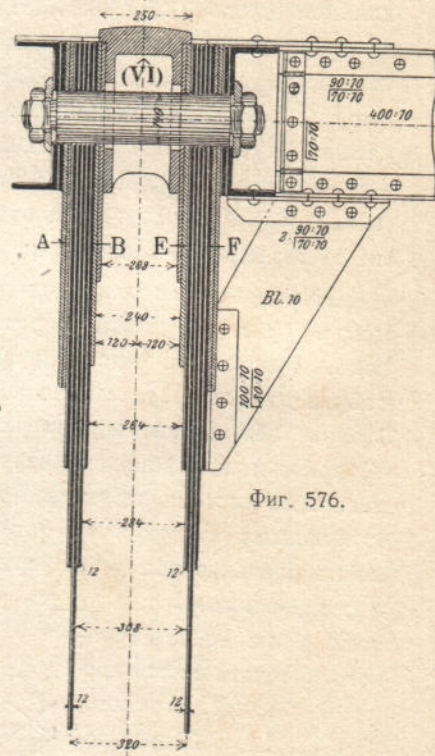
Фиг. 575.



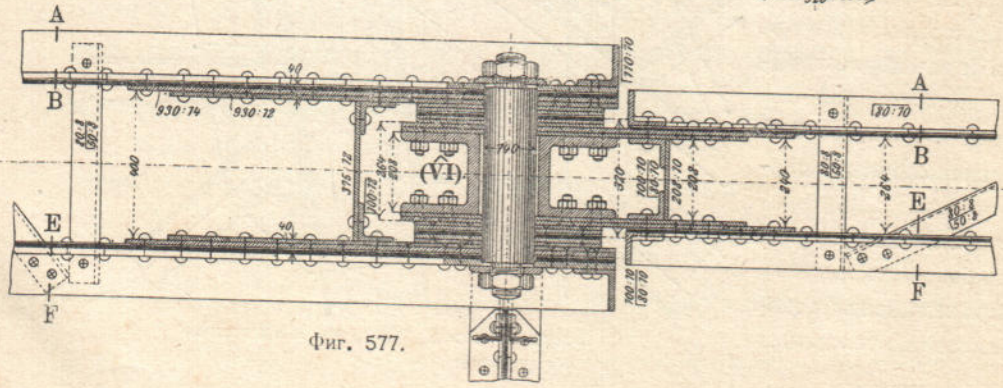
Двухпутный арочный мостъ черезъ Вупперъ въ Мюнгстень.

(Детали къ фиг. 572).

c-d.



Фиг. 576.



Фиг. 577.

14 мм. (фиг. 573), которая служитъ для прикрѣпленія діагоналей и распорки вертикальныхъ связей, какъ между качающимися стойками, такъ и между арками. При помощи уголковъ 120 . 120 . 14 мм. внутренніе и наружные листы шарнира приклепаны своимъ верхнимъ концомъ къ стѣнкамъ стойки, а нижнимъ концомъ— къ узловымъ накладкамъ арки. Между концами уголковъ стойки и нижнихъ уголковъ оставленъ зазоръ въ 60 мм., въ предѣлахъ котораго все давленіе стойки воспринимается только листами шарнира. Допустимъ, что все давленіе стойки передается только внутреннимъ листамъ шарнира съ площадью сѣченія

$\omega = 54,8. (1,4 + 2.1,2) = 208 \text{ см.}^2$ Наибольшее давленіе стойки $P = 205200 \text{ к.}$ Слѣдовательно, напряженіе листовъ на простое сжатіе

$$n = \frac{P}{\omega} = \frac{205200}{208} = 986 \text{ к./см.}^2$$

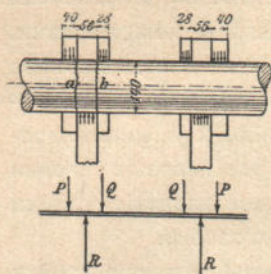
Необходимое число односрѣзныхъ заклепокъ діаметромъ 26 мм.

$$m = 0,24 . 208 = 50 \text{ штукъ, а принято } 66.$$

Верхній шарниръ стойки. Поперечныя балки профъзжей части уложены на верхнихъ узлахъ двухъ главныхъ продольныхъ балокъ высотой 6 м. съ параллельными поясами и съ треугольною рѣшеткою, при длинѣ панели въ 7,5 м., расположенныхъ на взаимномъ разстояніи въ 5 м. Какъ видно изъ фиг. 572, въ каждой половинѣ арки эти балки разрѣзаны на 4 пролета, изъ которыхъ одинъ въ 30 м., а три по 15 м., и поддерживаются качающимися стойками, которыя доведены до верхняго пояса балокъ и сопряжены съ концами двухъ смежныхъ пролетовъ общимъ болтомъ шарнира. Разсмотримъ конструкцію шарнира для стойки VI, поддерживающей слѣва 30 м. балку, а справа—15 метровую (фиг. 574 до 577). На разстояніи около 700 мм. отъ центра шарнира уголки стойки прерваны и ея стѣнки усилены наклепкою съ каждой стороны двухъ листовъ шириною 500 мм. и толщиной 12 и 10 мм., такъ что каждая стѣнка составлена изъ 5 взаимно склепанныхъ листовъ съ общею толщиной въ 56 мм. Верхній конецъ этихъ стѣнокъ снабженъ круглою дырою для шарнирнаго болта діаметромъ 140 мм. Опорный узелъ лѣвой фермы имѣетъ двѣ стѣнки, которыя образованы изъ вертикальнаго листа 400 . 14 мм. верхняго пояса и изъ двухъ внутреннихъ накладокъ толщиной 14 и 12 мм. и насажены на концы шарнирнаго болта, плотно обхватывая конецъ стойки. Верхній поясъ 15 м. фермы, примыкающей къ шарниру съ правой стороны, также коробчатый, но имѣетъ меньшую ширину, чѣмъ поясъ лѣвой балки, для того, чтобы онъ проходилъ во внутрь между стѣнками стойки, причемъ для образованія опорнаго узла къ вертикальнымъ стѣнкамъ 400 . 10 мм. опять приклепано по двѣ внутреннихъ накладки толщиной 12 и 16 мм. При такомъ устройствѣ шарнирный болтъ почти не работаетъ на изгибъ, а главнымъ образомъ на двойное срѣзываніе. Для поддержанія поперечной балки, опирающейся на шарниръ, служитъ пустотѣлая стальная подушка, которая пропускаетъ черезъ себя шарнирный болтъ, помѣщается между стѣнками правой балки и прикрѣпляется къ нимъ болтами съ потайными головками. Выпуклая головка этой подушки выступаетъ немного надъ крышкою шарнира изъ 12 мм. листа (см. фиг. 576 разрѣзъ по $c - d$), для чего въ крышкѣ вырѣзано прямоугольное отверстіе.

Расчетъ шарнирнаго болта діаметромъ 14 см. (фиг. 578). Наибольшее вертикальное давленіе наружныхъ листовъ $P = 48470 \text{ к.}$, а внутреннихъ листовъ $Q = 43940 \text{ к.}$

Фиг. 578.



Для сѣченія *a* имѣемъ напряженія

$$\text{на срѣзываніе } t = \frac{P}{\frac{1}{4}\pi d^2} = \frac{48470}{153,9} = 315 \text{ к./см.}^2$$

$$\text{на изгибъ } n = \frac{M}{W} = \frac{48470 \cdot 2}{269,4} = 360 \text{ к./см.}^2$$

$$\text{Главное напряженіе } \sigma = \frac{3}{8} n + \frac{5}{4} \sqrt{t^2 + \frac{n^2}{4}} = 587 \text{ к./см.}^2$$

Для сѣченія *b* получаемъ такимъ же образомъ $\sigma = 470 \text{ к./см.}^2$

Наибольшее напряженіе на смятіе получается въ листахъ стойки

$$n' = \frac{P + Q}{d \cdot \delta} = \frac{48470 + 43940}{14 \cdot 5} = 1320 \text{ к./см.}^2$$

Глава IX.

Разсчетъ поперечныхъ балокъ.

§ 69. Условія работы поперечныхъ балокъ.

Смотря по способу прикрѣпленія къ фермамъ, поперечныя балки работаютъ или какъ балки свободно-лежащія на двухъ опорахъ, или какъ балки съ упруго-задѣланными концами. I случай имѣетъ мѣсто, если поперечныя балки сопрягаются съ фермами шарнирнымъ образомъ, или въ открытыхъ мостахъ съ ѣздою по низу, причемъ прикрѣпленіе поперечныхъ балокъ къ фермамъ можетъ быть даже жесткое. При отсутствіи связей между верхними поясами фермъ, фермы не оказываютъ вращенію концовъ поперечныхъ балокъ никакого сопротивленія при одинаковомъ нагруженіи всѣхъ поперечныхъ балокъ, такъ какъ фермы при прогибѣ поперечныхъ балокъ могутъ свободно вращаться около своего прямого нижняго пояса. При неодинаковомъ нагруженіи, а потому и прогибѣ поперечныхъ балокъ, происходитъ скручиваніе нижняго пояса фермъ и искривленіе ихъ верхняго пояса въ горизонтальной плоскости, оказывающія, однако, на поперечныя балки настолько слабое дѣйствіе, что и въ этомъ случаѣ можно разсматривать концы поперечныхъ балокъ какъ свободные.

Во всѣхъ остальныхъ случаяхъ поперечныя балки, входя въ составъ поперечныхъ рамъ моста, имѣютъ упруго-задѣланные концы, причемъ степень упругости зависитъ отъ жесткости стоекъ и раскосовъ фермъ, а также распорокъ между фермами. Такія балки занимаютъ промежуточное положеніе между балками со свободными и съ жестко-задѣланными концами, испытывая меньшіе моменты, чѣмъ свободныя балки, въ чемъ нетрудно убѣдиться путемъ непосредственнаго измѣренія напряженій приборами.

Разсмотримъ результаты измѣреній, произведенныхъ проф. П. Н. Рышковымъ на средней поперечной балкѣ 40 саж. путепровода для пути Варшаво-Калишской желѣзной дороги, надъ путями Варшаво-Вѣнской желѣзной дороги на станціи Варшава, при невыгоднѣйшей установкѣ товарныхъ 4-осныхъ паровозовъ. Поперечная балка двутавроваго сѣченія изъ стѣнки 28 $\frac{3}{8}$ дм. 4 уголковъ 4 $\frac{1}{2}$ дм. и 2 паръ горизонтальныхъ листовъ 9 $\frac{7}{16}$ дм. приклепана къ стойкамъ фермъ при помощи угловыхъ консолей. Напряженія измѣрялись 4-мя приборами Рабу одновременно въ 4 краяхъ горизонтальныхъ листовъ обоихъ поясовъ поперечной балки, причемъ среднія напряженія, выведенныя изъ показаній 4-хъ приборовъ, получились ± 166 пуд./дм.² для сѣченія *C* по серединѣ пролета балки и ± 41 пуд./дм.² для сѣченія *E*, отстоящаго на 33 дм. отъ опоры балки, совпадающей съ осью стойки фермы (фиг. 579).

По этимъ измѣреннымъ напряжениямъ σ можно рассчитать изгибающій моментъ поперечной балки по серединѣ ея пролета:

$$M_C = \frac{\sigma \cdot J_{\text{netto}}}{e} = \frac{166 \cdot 5500}{14,9} = + 61300 \text{ п. дм.},$$

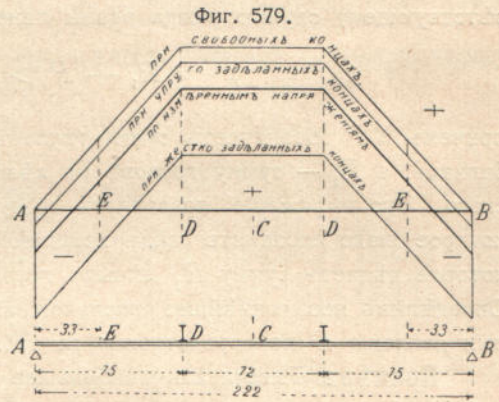
для сѣченія E : $M_E = \frac{41 \cdot 5078}{14,4} = + 14350 \text{ п. дм.}$

Сравнимъ эти моменты съ моментами, рассчитанными по дѣйствительной нагрузкѣ балки (2 груза по 1093 пуд.) въ трехъ предположеніяхъ, а именно: 1) при свободныхъ, 2) при жестко-задѣланныхъ и 3) при упруго-задѣланныхъ концахъ. Всѣ эти моменты помѣщены въ слѣдующей таблицѣ.

Изгибающіе моменты въ пудо-дюймахъ.		По серединѣ C пролета, или въ мѣстахъ D прикр. прод. балокъ, на разст. 75 дм. отъ опоръ.	Въ точкахъ E на разст. 33 дм. отъ опоръ.	На опорахъ.
Разчитанные по дѣйстви- тельной нагрузкѣ двумя грузами по 1093 пуд., въ предположеніи	свободныхъ концовъ	$1093 \cdot 75 =$ $= + 81980$	$1093 \cdot 33 =$ $= + 36070$	0
	жестко-задѣлан- ныхъ концовъ	$\frac{1093 \cdot 75^2}{222} =$ $= + 27700$	$- 18210^1)$	$- 54280^2)$
	упруго-задѣлан- ныхъ концовъ	$+ 81980 + 7550$ $= + 74430$	$+ 36070 - 7550$ $= + 28520$	$- 7550^3)$
Разчитанные по измѣреннымъ напряжениямъ		+ 61300	+ 14350	?

Для нагляднаго сравненія моментовъ, помѣщенныхъ въ таблицѣ, въ фиг. 579 построена эпюра моментовъ, изъ которой усматривается, что дѣйствительные моменты, соответствующіе измѣреннымъ напряжениямъ, занимаютъ на всемъ протяженіи пролета промежуточное положеніе между моментами при свободныхъ концахъ и при жесткой ихъ задѣлкѣ, и ближе всего подходятъ къ моментамъ, рассчитаннымъ въ предположеніи упруго-задѣланныхъ концовъ.

Къ недостаткамъ закрѣплен-
ныхъ балокъ слѣдуетъ отнести то, что прогибаясь онѣ вызываютъ вредныя де-
формациі стоекъ и раскосовъ фермъ и



1) По формулѣ $-\frac{1093}{222} [222(75 - 33) - 75^2] = - 18210 \text{ п. дм.}$

2) По формулѣ $-\frac{1093 \cdot 75 \cdot (222 - 75)}{222} = - 54280 \text{ п. дм.}$

3) Этотъ моментъ рассчитанъ по формулѣ 125, выведенной въ § 73, при слѣдующихъ данныхъ:

$h = 280 \text{ дм.}, \quad b = 222 \text{ дм.}, \quad u = 75 \text{ дм.}, \quad D = 1093 \text{ пуд.},$
 $J = 6030 \text{ дм.}^4, \quad J_1 = 750 \text{ дм.}^4, \quad J_2 = 484 \text{ дм.}^4$

по формулѣ 124 bis $\mu = \frac{1}{2 + 3 \cdot \frac{222 \cdot 750}{280 \cdot 484}} = 0,176.$

по формулѣ 125 $M_1 = -\frac{75(222 - 75)1093}{222 + \frac{280}{3}(2 - 0,176)\frac{6030}{750}} = - 7550 \text{ п. дм.}$

что, участвуя въ деформации поперечныхъ сѣченій мостовъ, вызванной вѣтромъ, онѣ испытываютъ дополнительныя напряжения, чего не наблюдается при свободныхъ поперечныхъ балкахъ.

§ 70. Разсчетная нагрузка поперечныхъ балокъ желѣзнодорожныхъ мостовъ.

Для разсчета поперечныхъ балокъ необходимо прежде всего опредѣлить тѣ давления, которыя передаются поперечной балкѣ или рельсами, или продольными лежнями, или продольными балками, смотря по устройству проѣзжей части. Обозначимъ это давление черезъ D и ограничимся разсмотрѣнiемъ наиболѣе часто встрѣчающагося случая, когда нагрузка передается поперечнымъ балкамъ черезъ продольныя балки. При разсчетѣ давления D можно разсматривать продольныя балки или какъ простыя разрѣзныя балки, или какъ неразрѣзныя. Остановимся сначала на промежуточной поперечной балкѣ.

1) Разсчетъ давления D при разрѣзныхъ продольныхъ балкахъ. Давление D равно суммѣ опорной реакции лѣвой продольной балки AB и правой балки AC ; поэтому инфлюэнтная линия давления D имѣетъ видъ треугольника (фиг. 580), высота котораго $= 1$, а основание — двойной длинѣ панели l . Для разсчета D можно обойтись и безъ этой инфлюэнтной линии, такъ какъ невыгоднѣйшее положенiе колесъ можно опредѣлить проще, по слѣдующему критерию, соотвѣтствующему случаю, когда равны панели справа и слѣва



Фиг. 580.

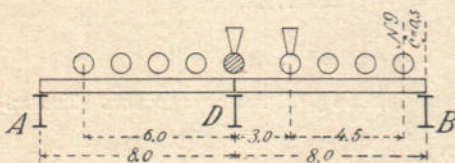
и безъ этой инфлюэнтной линии, такъ какъ невыгоднѣйшее положенiе колесъ можно опредѣлить проще, по слѣдующему критерию, соотвѣтствующему случаю, когда равны панели справа и слѣва

$$R_1 + P > \frac{1}{2} \Sigma P \dots \dots \dots (116)$$

причемъ ΣP обозначаетъ сумму грузовъ, помѣщающихся на обѣихъ продольныхъ балкахъ, а R_1 — сумму грузовъ на лѣвой продольной балкѣ, не считая критическаго. Это выраженiе позволяетъ сразу опредѣлить то критическое колесо P , которое надо поставить надъ вершиною треугольника. Это будетъ то колесо, которое дѣлаетъ сумму R_1 лѣвыхъ грузовъ больше полусуммы всѣхъ грузовъ. Опредѣливъ невыгоднѣйшее расположенiе колесъ, можно разсчитать вызываемое ими давление D непосредственно по таблицѣ моментовъ.

Примѣръ. Разсчитать наибольшее давление D , которое передается поперечной балкѣ желѣзнодорожнаго моста двумя разрѣзными продольными балками пролетомъ по 8 м. Принимаемъ два нормальныхъ паровоза, обращенныхъ трубами

Фиг. 581.



вмѣстѣ, съ давленiемъ на каждое колесо по 10 тон. Самая невыгодная система грузовъ состоитъ изъ 9 колесъ, расположенныхъ согласно фиг. 581, причемъ критическимъ будетъ первое колесо лѣваго паровоза, такъ какъ при $R_1 = 40$ тон., $P = 10$ тон. и

$$\Sigma P = 90 \text{ тон. вышеприведенный критерiй (116) даетъ } 40 + 10 > \frac{1}{2} \cdot 90.$$

Тангенсы угловъ треугольной инфлюэнтной линии составляютъ $1/8$ и $1/4$. Руководствуясь данными для поѣзда II, получаемъ по таблицѣ моментовъ слѣдующее давление D на среднюю поперечную балку

$$D = \frac{1}{2} \left[\left(M_0 + c \cdot \sum P \right) \frac{1}{8} - m_3 \cdot \frac{1}{4} \right]$$

$$= \frac{1}{2} \left[\left(1230 + 0,5 \cdot 180 \right) \frac{1}{8} - 300 \cdot \frac{1}{4} \right] = 45 \text{ тон.}$$

2) Расчетъ давленія D при неразрѣзныхъ продольныхъ балкахъ.

Ограничимся разсмотрѣниемъ случая, когда продольныя балки неразрѣзныя на протяженіи только двухъ панелей, тогда по теоріи двухпролетной неразрѣзной балки съ равными пролетами l , имѣемъ слѣдующую формулу для опредѣленія реакціи D средней опоры:

$$D = \frac{P}{2} \cdot \frac{x}{l} \left[3 - \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (117)$$

гдѣ P — грузъ, находящійся въ одномъ изъ пролетовъ на разстояніи x отъ крайней опоры этого пролета длиною l .

Давая отношенію $\frac{x}{l}$ разныя значенія отъ 0 до 1 и принявъ величину груза равную единицѣ, мы получимъ рядъ значеній ординатъ инфлюентной линіи D , по которымъ означенная линія можетъ быть легко построена.

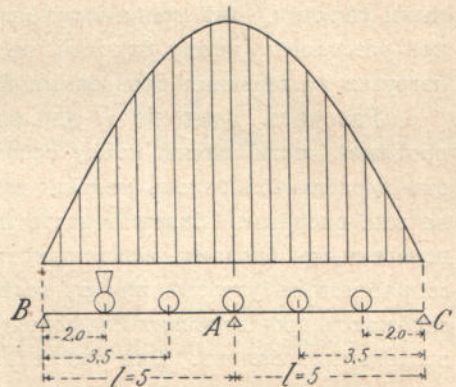
Таблица ординатъ инфлюентной линіи давленія D .

$\frac{x}{l} =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$D =$	0,1495	0,2960	0,4365	0,5680	0,6875	0,7920	0,8785	0,9440	0,9855	1,000

Какъ видно изъ фиг. 582, инфлюентная линія давленія D имѣетъ видъ кривой съ осью симметріи, проходящею черезъ среднюю опору балки.

Давленіе D_k отъ временной нагрузки. Опасное положеніе колесъ опредѣляется по правиламъ для криволинейныхъ инфлюентныхъ линій, или графически, путемъ повторныхъ пробъ, или аналитически. Въ большинствѣ случаевъ опасное положеніе колесъ видно сразу. Напримѣръ, при наличности 5 колесъ нормальнаго паровоза съ давленіемъ по 10 тон., опасное положеніе будетъ то, при которомъ среднее колесо находится надъ среднею опорю.

Фиг. 582.



Опредѣливъ опасное положеніе колесъ, можно разсчитать вызванное ими давленіе D , какъ сумму значеній, соответствующихъ каждому колесу въ отдѣльности, а именно по формулѣ

$$D_k = \sum P \left(\frac{3x}{2l} - \frac{x^3}{2l^3} \right).$$

Для примѣра, показаннаго въ фиг. 582, ($l = 5$ м. и $P = 10$ тон.), получается

$$D_k = 10 \left[\frac{3}{2 \cdot 5} (2 + 3,5 + 5 + 3,5 + 2) - \frac{1}{2 \cdot 5^3} (2^3 + 3,5^3 + 5^3 + 3,5^3 + 2^3) \right] = 38,93 \text{ тон.}$$

При разрѣзныхъ продольныхъ балкахъ давленіе D_k при томъ же положеніи колесъ будетъ

$$D_k = 10 \left(1 + \frac{2 \cdot 2}{5} + \frac{2 \cdot 3,5}{5} \right) = 32 \text{ тон.}$$

Давленіе D_p отъ постоянной нагрузки p въ кил. на пог. мет. продольной балки

$$D_p = \Sigma P \left(\frac{3x}{2l} - \frac{x^3}{2l^3} \right) = \int_0^l 2p \left[\frac{3}{2} \frac{x}{l} - \frac{1}{2} \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right] dx$$

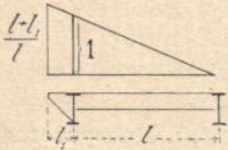
Интегрируя, получаемъ

$$D_p = \frac{5}{4} p \cdot l$$

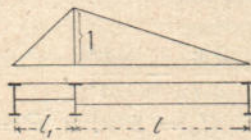
Итакъ, давленія D , какъ отъ временной, такъ и отъ постоянной нагрузки, получаются при неразрѣзныхъ продольныхъ балкахъ больше, чѣмъ при разрѣзныхъ. По Винклеру, давленіе D получается при многопролетныхъ неразрѣзныхъ продольныхъ балкахъ на 13 до 21% больше, чѣмъ при разрѣзныхъ въ томъ случаѣ, если пренебречь прогибомъ поперечныхъ балокъ. Если ввести въ разсчетъ прогибъ, то значенія D получаются меньше, и разница между результатами разсчета въ предположеніи разрѣзныхъ и неразрѣзныхъ продольныхъ балокъ, получается меньше вышеуказанной въ %.

Въ предшествующемъ разчетѣ мы пренебрегали прогибомъ поперечныхъ балокъ, т. е. предполагали, что неразрѣзныя продольныя балки покоятся на неизмѣняемыхъ опорахъ. Если принять во вниманіе прогибъ поперечныхъ балокъ, то продольныя балки будутъ распредѣлять нагрузку между цѣлымъ рядомъ поперечныхъ балокъ по теоріи неразрѣзной балки на упругихъ опорахъ. Непосредственными измѣреніями ⁴⁾ установлено, что при разстояніи между поперечными балками отъ 1,5 до 2,5 м. нагруженная поперечная балка принимаетъ на себя только около 60% той нагрузки, которую она испытывала бы при разрѣзныхъ продольныхъ балкахъ, между тѣмъ какъ остальная часть нагрузки въ 40% передается смежнымъ поперечнымъ балкамъ. По мѣрѣ увеличенія разстоянія между поперечными балками, онѣ принимаютъ на себя все бѣльшую часть нагрузки, такъ что при разстояніи между балками въ 3,5 м. слѣдуетъ уже пренебрегать передачею нагрузки на смежныя поперечныя балки.

Разсчетъ давленія D для опорной поперечной балки. Если всѣ панели проѣзжей части равны между собою, то опорныя поперечныя балки получаютъ отъ продольныхъ балокъ меньшія давленія, чѣмъ промежуточныя балки. Несмотря на это, опорнымъ балкамъ часто придають то же сѣченіе, какъ и остальнымъ поперечнымъ балкамъ, желая придать опорнымъ рамамъ бѣльшую жесткость. Для сопряженія съ устоемъ или съ сосѣднимъ пролетомъ, опорную поперечную балку снабжаютъ кронштейнами или сопрягающими балочками, служащими продолженіемъ продольныхъ балокъ. Для разсчета наибольшаго давленія D на опорную поперечную балку, и для опредѣленія невыгоднѣйшаго положенія колесъ, лучше всего пользоваться инфлюэнтной линіей давленія D , которая показана въ фиг. 583 для случая кронштейновъ длиною l_1 , а въ фиг. 584 для случая сопрягающихъ балочекъ пролетомъ l_1 .



Фиг. 583.



Фиг. 584.

⁴⁾ Revue générale d. chem. de fer. 1902. Pag. 384. Кромъ того, Engesser. Zusatzkrafte. Pag. 80.

§ 71. Расчет M и Q для свободно-лежащих поперечных балок железнодорожных мостов.

Расчетный пролет l поперечных балок принимают обыкновенно равным расстоянию между осями ферм. Рассмотрим сперва случай свободно-лежащих на двух опорах поперечных балок.

Однопутные железнодорожные мосты с двумя продольными балками. В крайних участках поперечной балки для сечения, отстоящего на x от опоры, изгиб. момент $M_x = D \cdot x$, а в среднем участке $M = D \cdot a$, причем a — расстояние от продольной балки до ближайшей фермы, и D — наибольшее давление продольной балки, рассчитываемое по предыдущему § 70. Эюра наибольших моментов имеет вид трапеции, представленной в фиг. 585 сверху.

Поперечная сила Q равна D в крайних участках и нулю в среднем участке; поэтому эюра наибольших Q имеет вид, показанный в фиг. 585 снизу. При этом предполагается, что оба колеса каждой оси оказывают одинаковое давление, что не всегда имеет место, в виду перегрузки колес от колебаний подвижного состава и от ветра. Если допустить, что давление одной продольной балки $= \frac{2}{3} D$, а другой $= \frac{1}{3} D$, то поперечная сила в среднем участке будет

$$Q = \frac{2 \cdot a}{3 \cdot l} \cdot D.$$

Двупутные железнодорожные мосты при четырех продольных балках. Момент достигает своего максимума в каждом сечении при нагружении обоих путей. Обозначим через

a — расстояние от крайних продольных балок до ближайшей опоры.

c — расстояние между осями продольных балок каждого пути.

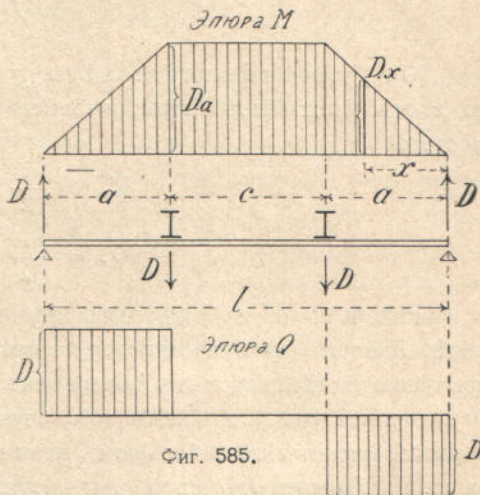
Изгибающие моменты

1) в крайнем участке для сечения, отстоящего на x_1 от опоры

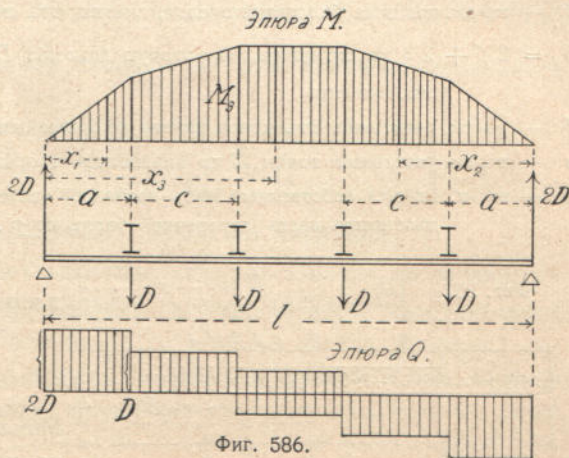
$$M_1 = 2 D \cdot x_1.$$

2) во II участке для сечения, отстоящего на x_2 от ближайшей опоры,

$$M_2 = 2 D \cdot x_2 - D(x_2 - a) = D(x_2 + a)$$



Фиг. 585.



Фиг. 586.

3) в среднем участке для сечения, отстоящего на x_3 от ближайшей опоры,

$$M_3 = 2 D \cdot x_3 - D (x_3 - a) - D (x_3 - a - c) = D (2 a + c)$$

Поперечная сила в крайних участках получается наибольшей при нагружении обоих путей, причем $Q_1 = 2 D$. Во II участке при нагружении обоих путей, имеем $Q'_2 = 2 D - D = D$, а при нагружении только правого пути $Q_2'' = D \cdot \frac{2 a + c}{l}$; но так как $2 a + c$ всегда $< l$, то $Q_2'' < Q_2'$, и поперечная сила получается наибольшей при нагружении обоих путей, имея значение $Q_2 = D$. В среднем участке Q получается больше всего при нагружении только одного пути, причем

$$Q_3 = D \cdot \frac{2 a + c}{l}$$

От собственного веса g поперечной балки для сечения, отстоящего на x от ближайшей опоры, имеем, как для однопутных, так и двухпутных мостов

$$M_x = \frac{1}{2} g \cdot x (l - x)$$

$$Q_x = \frac{1}{2} g (l - 2 x).$$

Расчет M и Q в том случае, когда путь уложен на балластном слоѣ. Давление пути передается балластным слоѣм на большую площадь, чѣм при укладкѣ подрельсных поперечин непосредственно на продольных балках. Ограничимся рассмотрѣніем того случая, когда продольных балок не имѣется, и расположенныя на небольшом взаимном разстояніи (около 1,5 м.) поперечныя балки поддерживают сплошную настиль, покрытую балластным слоѣм съ закрытыми въ нем шпалами. Обозначимъ, согласно фиг. 587, черезъ

D — въ к. давленіе отъ колесъ, приходящееся на поперечную балку подъ рельсами и рассчитываемое согласно § 70,

c — въ см. разстояніе отъ фермы до ближайшаго рельса,

l — въ см. пролетъ поперечной балки,

a — въ см. разстояніе между поперечными балками,

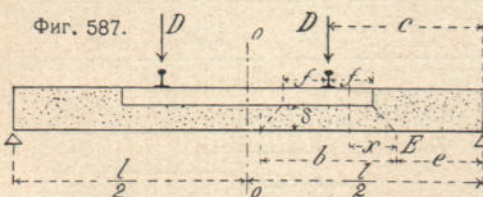
δ — въ см. толщина балластнаго слоя, считая отъ подошвы шпалы до верху поперечной балки

$b = 2 f + 2 \delta$ въ см. длина, на которую давленіе D распределяется равномерно по $\frac{D}{b}$ на пог. см., причемъ

f — въ см. разстояніе отъ конца шпалы до ближайшаго рельса,

e — въ см. разстояніе точки E до ближайшей опоры поперечной балки,

p — въ к. на см.² собственный вѣсъ проезжей части, который принимаетъ равномерно распределеннымъ вдоль поперечной балки по $p \cdot a$ кил. на пог. см.



Фиг. 587.

Изгибающій моментъ для середины пролета отъ полной нагрузки:

$$M_0 = D \cdot c + \frac{1}{8} \cdot p \cdot a \cdot l^2.$$

Моментъ M_0 не зависитъ отъ длины b , на которую распределяется давленіе D .

Но для сѣченій балки, находящихса въ предѣлахъ длины b , моментъ и попереч-

ная сила получаются меньше, чѣмъ при передачѣ давленія колесъ на поперечную балку сосредоточеннымъ образомъ. Для сѣченія, отстоящаго на x отъ точки E , получаемъ слѣдующія значенія изгибающаго момента и поперечной силы отъ полной нагрузки:

$$M_x = D \left(e + x - \frac{x^2}{2 \cdot b} \right) + \frac{p \cdot a}{2} (e + x) \left[l - (e + x) \right].$$

$$Q_x = D \left(1 - \frac{x}{b} \right) + p \cdot a \left[\frac{l}{2} - (e + x) \right].$$

§ 72. Разсчетъ M и Q для свободно-лежащихъ поперечныхъ балокъ мостовъ подъ обыкновенную дорогу.

Поперечныя балки разсчитываются на тѣ же типы временной нагрузки, которые были указаны для продольныхъ балокъ на стр. 359. Смотри по тому, какія нагрузки заданы техническими условіями, приходится вести разсчетъ отдѣльно для каждой нагрузки, пользуясь для подбора сѣченія балки наибольшимъ изъ полученныхъ значеній M и Q .

Нагрузка можетъ передаваться поперечнымъ балкамъ двояко: или непосредственно черезъ настиль проѣзжей части, причемъ продольныхъ балокъ не имѣется, или узловымъ образомъ черезъ продольныя балки. Въ томъ и другомъ случаѣ для опредѣленія опаснаго положенія грузовъ необходимо устанавливать ихъ невыгоднѣйшимъ образомъ, сперва вдоль, а затѣмъ поперекъ моста.

Продольная установка колесъ двухъосной фуры съ шириною колеи s , разстояніемъ между осями a и съ давленіемъ на колесо P . Если разстояніе a между осями фуры больше разстоянія d между поперечными балками, то невыгоднѣйшая, какъ для M , такъ и для Q , установка фуры вдоль моста будетъ при положеніи одной оси какъ разъ надъ поперечною балкою, причемъ давленія, передаваемая балкѣ, будутъ $= P$.

Если $a < d$ и въ предѣлахъ панели помѣщается двѣ оси, то невыгоднѣйшее положеніе фуры будетъ то, когда ея задняя ось⁵⁾ находится надъ разсматриваемую поперечною балкою, причемъ давленія, передаваемая балкѣ отъ переднихъ колесъ $= \frac{d - a}{d} \cdot P$, а полное давленіе D отъ каждаго продольнаго ряда колесъ

$$D = P + \frac{d - a}{d} \cdot P = \frac{2d - a}{d} \cdot P.$$

1. Разсчетъ M и Q при прямомъ дѣйствіи нагрузки.

а) **Разсчетъ** $\max M$ при прямомъ дѣйствіи нагрузки. Смотри по заданнымъ типамъ нагрузки (разныя фуры, катки, трамвай), временная нагрузка поперечной балки состоитъ изъ системы сосредоточенныхъ грузовъ D , разстоянія между которыми зависятъ отъ ширины колеи, а при нѣсколькихъ фурахъ и отъ ширины ихъ кузова. Моменты и поперечныя силы, вызванныя этою системою грузовъ, опре-

⁵⁾ Установка задней оси болѣе невыгодна потому, что къ ней примыкаетъ толпа, которая тяжелѣе лошадей, примыкающихъ къ передней оси.

дѣляются по тѣмъ же правиламъ, какъ для фермы, по которой непосредственно перемѣщается система колесъ (прямое дѣйствіе нагрузки).

Сперва опредѣляютъ невыгоднѣйшую установку грузовъ D на поперечной балкѣ, передвигая ихъ поперекъ моста. При прямомъ дѣйствіи нагрузки на поперечныя балки, т. е. при отсутствіи продольныхъ балокъ, прежде всего рассчитываютъ $abs \max M$. По извѣстному критерию, $abs \max M$ соответствуетъ тому положенію грузовъ, при которомъ середина балки находится по серединѣ между равнодѣйствующею всѣхъ грузовъ и между критическимъ колесомъ, подь которымъ какъ разъ находится опасное сѣченіе. Часто, и особенно въ мостахъ съ ѣздою по низу, не удается установить грузы строго по этому правилу, такъ какъ приходится считаться съ шириною проѣзжей части въ свѣту между фермами, или съ бордюрами тротуаровъ, и приходится довольствоваться такимъ расположеніемъ грузовъ, которое самое невыгодное изъ всѣхъ возможныхъ комбинацій.

Въ большинствѣ случаевъ временная нагрузка поперечныхъ балокъ состоитъ не только изъ сосредоточенныхъ грузовъ, но также изъ толпы людей, помѣщающейся въ свободныхъ мѣстахъ и представляющей сплошную нагрузку. Хотя строгое опредѣленіе $abs \max M$, соответствующаго такой смѣшанной нагрузкѣ, вполне возможно, но въ виду сложности такого расчета его рѣдко производятъ на практикѣ и при опредѣленіи опаснаго сѣченія пренебрегаютъ присутствіемъ толпы, вводя ее только въ расчетъ самой величины момента.

Разсмотримъ нѣсколько простѣйшихъ случаевъ расчета момента M .

1 случай. Одна фура, окруженная толпою.

1) Моментъ отъ фуры. Заднюю ось фуры ставимъ надъ разсматриваемую поперечную балку AB (фиг. 589), тогда давленіе, передаваемое балкѣ каждымъ продольнымъ рядомъ колесъ, будетъ

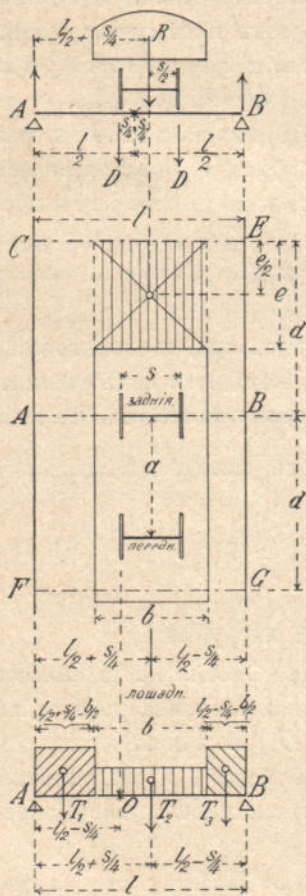
$$D = P \cdot \frac{2d - a}{d}.$$

Если пренебrecь дѣйствіемъ толпы, окружающей фуру, то оба груза D будутъ установлены на балкѣ AB самымъ невыгоднымъ образомъ, тогда, если ихъ равнодѣйствующая R будетъ отстоять отъ лѣвой опоры A на $\frac{l}{2} + \frac{s}{4}$, а отъ правой на $\frac{l}{2} - \frac{s}{4}$, какъ показано въ фиг. 588, опасное сѣченіе будетъ подь лѣвымъ колесомъ и для него

$$\max M_1 = A \left(\frac{l}{2} - \frac{s}{4} \right) = \frac{D(2l - s)^2}{8l}.$$

2) Моментъ отъ толпы вѣсомъ k въ к./м.², которая въ двухъ панеляхъ AC и AF занимаетъ все свободное мѣсто вокругъ фуры. Вѣсъ этой толпы передается вѣсьмъ тремъ поперечнымъ балкамъ, причеь на среднюю балку AB приходятся слѣдующія давленія: отъ толпы слѣва отъ фуры

$$T_1 = d \left(\frac{l}{2} + \frac{s}{4} - \frac{b}{2} \right) \cdot k$$



Фиг. 588 до 590

отъ толпы въ предѣлахъ ширины фуры

$$T_2 = b \cdot e \cdot k \cdot \frac{c}{2d} = \frac{b \cdot e^2 \cdot k}{2 \cdot d}$$

отъ толпы справа отъ фуры

$$T_3 = d \left(\frac{l}{2} - \frac{s}{4} - \frac{b}{2} \right) \cdot k$$

Опредѣливъ давления T_1, T_2, T_3 , можно рассчитать вызванныя ими на лѣвой опорѣ реакціи и моментъ M_2 для опаснаго сѣченія O , отстоящаго отъ лѣвой опоры на $\left(\frac{l}{2} - \frac{s}{4} \right)$ (фиг. 590).

3) Моментъ отъ постоянной нагрузки p , распределенной равномерно вдоль поперечной балки, для того же опаснаго сѣченія O :

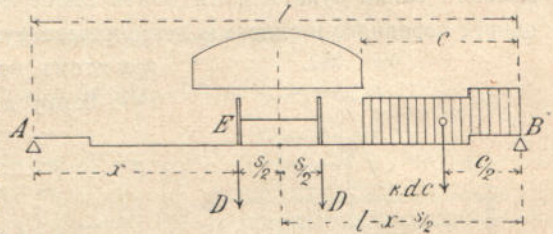
$$M_p = \frac{p}{2} \left(\frac{l}{2} - \frac{s}{4} \right) \left(\frac{l}{2} + \frac{s}{4} \right) = \frac{p}{32} (4l^2 - s^2).$$

4) Полный моментъ $M = M_1 + M_2 + M_p$

II случай. Нѣсколько фуръ рядомъ и вокругъ нихъ толпа. Способъ расчета момента остается тотъ же, какъ въ I случаѣ, съ тою разницею, что имѣется большее число грузовъ D .

б) Расчетъ Q при прямомъ дѣйствіи нагрузки. Для произвольнаго сѣченія x лѣвой половины поперечной балки поперечная сила получится наибольшую при установкѣ крайняго лѣваго колеса надъ этимъ сѣченіемъ и при возможно большемъ загрузеніи правой части балки колесами и толпою, между тѣмъ какъ часть балки влѣво отъ сѣченія должна оставаться свободною. При такомъ нагруженіи балки AB , согласно фиг. 591, получимъ для сѣченія E , отстоящаго на x отъ лѣвой опоры, поперечную силу ⁶⁾.

Фиг. 591.



$$Q_x = \frac{2D}{l} \left(l - x - \frac{s}{2} \right) + \frac{k \cdot d \cdot c^2}{2l}, \text{ приче́мъ } d \text{ обозначаетъ разстояніе между поперечными балками, } k \text{ — вѣсъ толпы въ кил. на м}^2.$$

Абсолютно наибольшая поперечная сила равна наибольшей опорной реакціи поперечной балки. Для полученія ея слѣдуетъ загрузить весь пролетъ поперечной балки, ставя наиболѣе тяжелые грузы возможно ближе къ разсматриваемой опорѣ.

2) Расчетъ M и Q при узловомъ дѣйствіи нагрузки. Проще, чѣмъ при прямомъ дѣйствіи нагрузки, можно рассчитать M и Q въ томъ случаѣ, когда нагрузка передается поперечнымъ балкамъ черезъ продольныя балки. При расчетѣ M и Q можно ограничиться разсмотрѣніемъ только тѣхъ сѣченій, которыя совпадаютъ съ мѣстами прикрѣпленія продольныхъ балокъ, а для промежуточ-

⁶⁾ Въ этомъ расчетѣ предположено такое разстояніе между поперечными балками, при которомъ за фуру не помѣщается толпы. Въ противномъ случаѣ слѣдуетъ при расчетѣ Q принять во вниманіе вліяніе этой толпы.

ныхъ сѣченій опредѣлять M и Q путемъ прямолинейной интерполяціи. Въ мѣстахъ прикрѣпленія продольныхъ балокъ моментъ получается наибольшимъ при установкѣ одного изъ колесъ въ этомъ сѣченіи, потому что инфлюэнтная линия момента представляетъ треугольникъ съ вершиною въ этой точкѣ. Однако, приходится часто отступать отъ этого правила, вслѣдствіе необходимости считаться съ заданною шириною проѣзжей части.

Опредѣливъ невыгоднѣйшее положеніе временной нагрузки, рассчитываютъ тѣ давленія D , которыя черезъ продольныя балки передаются поперечной балкѣ и получивъ такимъ образомъ нагрузку поперечной балки, въ видѣ системы неподвижныхъ грузовъ D , рассчитываютъ M и Q для мѣстъ прикрѣпленія продольныхъ балокъ.

Разсмотримъ простой случай, когда имѣется только одна продольная балка по серединѣ моста и когда временная нагрузка состоитъ изъ одной фуры, окруженной толпою (фиг. 592). Обозначимъ черезъ

- l — въ м. пролетъ поперечной балки,
- d — въ м. разстояніе между поперечными балками,
- b — въ м. ширину фуры,
- s — въ м. ширину колеи фуры.

Сдѣлаемъ наихудшее допущеніе, что поперечный настиль разрѣзанъ надъ среднею продольною балкою, а продольная балка разрѣзана въ мѣстахъ прикрѣпленія къ поперечнымъ балкамъ.

Поперечная установка. При совмѣстномъ дѣйствіи фуры и толпы продольная балка будетъ испытывать самое большое давленіе при установкѣ на ней одного передняго и одного задняго колеса фуры (согласно изложенному на стр. 360);

Фиг. 592.

при этомъ каждая ось фуры оказываетъ на продольную балку давленіе

$$R = P + \frac{P}{l_2} \cdot \left(\frac{l}{2} - s \right) = P \cdot \frac{2}{l} (l - s).$$

Продольная установка. Разсматриваемая поперечная балка AB будетъ получать отъ продольной балки самое большое давленіе D при установкѣ задней оси фуры на поперечной балкѣ AB , причѣмъ давленіе отъ фуры

$$D_1 = R + R \frac{d - a}{d} = \frac{2(l - s)(2d - a)}{d \cdot l} \cdot P.$$

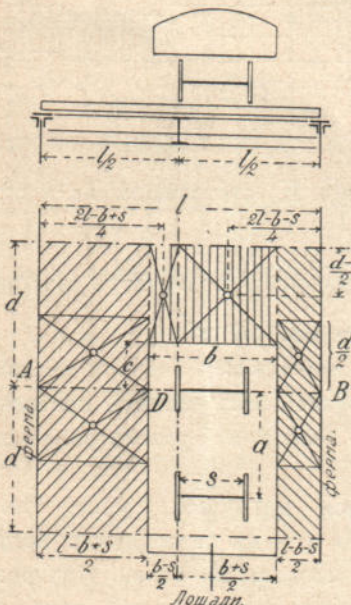
Давленіе D отъ толпы, вѣсомъ k кил. на мет.², расположенной въ заштрихованныхъ мѣстахъ фиг. 592. Опорное давленіе продольной балки:

отъ толпы слѣва фуры

$$D_2 = \frac{2}{2} \left[k \cdot d \cdot \frac{(l - b + s)}{2} \cdot \frac{(l - b + s)}{4 \cdot l_2} \right] = \frac{k \cdot d}{4 \cdot l} (l - b + s)^2$$

отъ толпы справа фуры

$$D_3 = \frac{2}{2} \left[k \cdot d \cdot \frac{(l - b - s)}{2} \cdot \frac{(l - b - s)}{4 \cdot l_2} \right] = \frac{k \cdot d}{4 \cdot l} (l - b - s)^2$$



отъ толпы сзади фуры

$$D_4 = \frac{d-c}{2} \left[k(d-c) \left(\frac{b-s}{2} \right) \cdot \frac{2(2l-b+s)}{4l} + k(d-c) \left(\frac{b+s}{2} \right) \cdot \frac{2(2l-b-s)}{4l} \right]$$

Полное давлениe отъ временной нагрузки, передаваемое продольною балкою поперечной балкѣ въ ея серединѣ

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4.$$

Моментъ поперечной балки въ ея серединѣ $M_1 = \frac{D \cdot l}{4}.$

Моментъ отъ собственнаго вѣса проѣзжей части, составляющаго p кил. на пог. м. продольной балки, и дающаго въ серединѣ поперечной балки давлениe $D_5 = d \cdot p:$

$$M_2 = \frac{d \cdot p \cdot l}{4}.$$

Моментъ отъ собственнаго вѣса q поперечной балки $M_3 = \frac{q \cdot l^2}{8}.$

Примѣръ. Согласно фиг. 593, поперечныя балки расположены на взаимномъ разстоянii въ 5,5 м. и поддерживаютъ 3 продольныхъ балки, которыя отстоятъ одна отъ другой на 2,7 м. и несутъ поперечный брусчатый настилъ, концы котораго свѣшиваются за крайнiя продольныя балки на 0,63 м.⁷⁾ Опредѣлимъ для поперечной балки наибольшiй моментъ и поперечную силу отъ временной нагрузки въ двухъ предположенiяхъ: 1) при сплошномъ загрузенii моста толпою людей, и 2) при загрузенii моста двумя фурами и толпою въ свободныхъ мѣстахъ. Рассмотримъ поперечную балку AB .

I случай. При сплошномъ загрузенii толпою въ 550 к. на м.² получаемъ слѣдующiя давлениа продольныхъ балокъ на поперечную балку AB :

отъ средней балки $D_1 = 2,7 \cdot 5,5 \cdot 550 = 8170 \text{ к.}$

отъ крайнихъ балокъ $D_2 = \left(\frac{2,7}{2} + 0,63 \right) \cdot 5,5 \cdot 550 = 5990 \text{ к.}$

Поперечная балка AB находится подь дѣйствиемъ груза D_1 по серединѣ и двухъ симметрично расположенныхъ грузовъ D_2 . Поэтому реакцiя каждой ея опоры или наибольшая поперечная сила

$$A_1 = B_1 = \frac{1}{2} D_1 + D_2 = \frac{1}{2} \cdot 8170 + 5990 = 10080 \text{ к.}$$

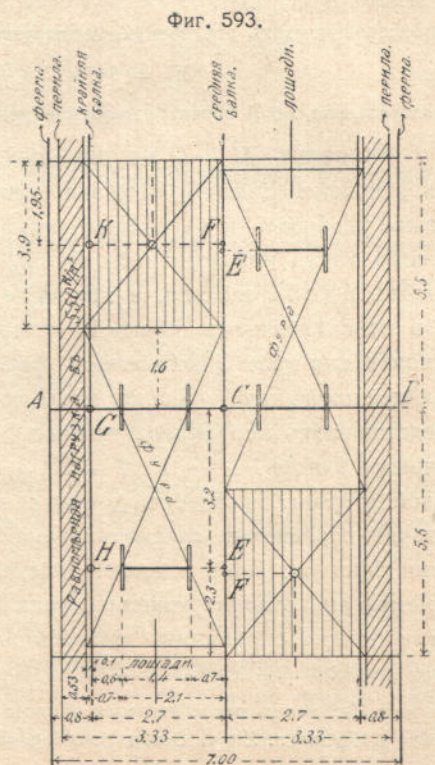
Наибольшiй моментъ отъ временной нагрузки для середины балки

$$M_1 = 10080 \cdot 3,5 - 5990 \cdot 2,7 = 19110 \text{ к. м.}$$

II случай. Одновременное загрузенiе двумя фурами и толпою людей вѣсомъ 550 к./м.² въ свободныхъ мѣстахъ. Фуры имѣютъ положенiе, показанное въ фиг. 593 и принятое потому, что заданная ширина проѣзжей части не допускаетъ перемѣщенiя фуры поперекъ моста. Давленiе колеса фуры = 2050 к.

Средней продольной балкѣ въ точкахъ C ,

⁷⁾ При расчетѣ M отъ толпы, находящейся на свѣшивающихся концахъ настила, допущено, что вѣсъ этой толпы передается цѣликомъ крайнимъ продольнымъ балкамъ, т. е. пренебрегается влиянiемъ консоли поперечныхъ брусевъ, въ виду малой ея длины въ 0,63 м.



Фиг. 593.

E и F передаются слѣдующія давления отъ вѣса колесъ и толпы, которая находится сзади фуръ:

$$\text{въ точкѣ } C: \quad C = 2 \cdot 2050 \cdot \frac{0,6 + 2,0}{2,7} = 3950 \text{ к.}$$

$$\text{въ 2 точкахъ } E: \quad E = 2050 \cdot \frac{0,6 + 2,0}{2,7} = 1970 \text{ к.}$$

$$\text{въ 2 точкахъ } F: \quad F = 550 \cdot 2,7 \cdot 3,9 \cdot \frac{1}{2} = 2890 \text{ к.}$$

Каждой крайней продольной балкѣ въ точкахъ G , H и K передаются слѣдующія давления отъ колесъ и толпы, которая находится сзади фуръ:

$$\text{въ точкахъ } G \text{ и } H: \quad G = H = 2050 \cdot \frac{0,7 + 2,1}{2,7} = 2130 \text{ к.}$$

$$\text{въ точкѣ } K: \quad K = 550 \cdot 2,7 \cdot 3,9 \cdot \frac{1}{2} = 2890 \text{ к.}^8)$$

Отъ толпы, находящейся на тротуарѣ, каждая крайняя продольная балка передаетъ на поперечную давление

$$T = 550 \cdot 0,53 \cdot 5,5 = 1600 \text{ к.}$$

Давление на поперечную балку отъ средней продольной балки:

$$D_3 = C + 2 \cdot E \cdot \frac{2,3}{5,5} + 2 \cdot F \cdot \frac{1,95}{5,5} = 3950 + 1970 \cdot 0,836 + 2890 \cdot 0,71 = 7650 \text{ к.}$$

отъ каждой крайней продольной балки:

$$D_4 = G + H \cdot \frac{2,3}{5,5} + K \cdot \frac{1,95}{5,5} + T = 2130 + 2130 \cdot 0,418 + 2890 \cdot 0,355 + 1600 = 5650 \text{ к.}$$

Реакція каждой опоры поперечной балки отъ груза D_3 и 2 грузовъ D_4 , или наибольшая поперечная сила:

$$A_2 = B_2 = \frac{1}{2} D_3 + D_4 = \frac{1}{2} \cdot 7650 + 5650 = 9475 \text{ к.}$$

Наибольшій моментъ отъ временной нагрузки

$$M_2 = 9475 \cdot 3,5 - 5650 \cdot 2,7 = 17910 \text{ к. м.}$$

Слѣдовательно, во II случаѣ нагрузки моментъ получился меньше, чѣмъ въ I случаѣ.

Расчетъ M и Q по двойнымъ инфлюентнымъ линиямъ. При прямомъ и при узловомъ дѣйствии нагрузки можно опредѣлить M и Q для поперечной балки весьма удобнымъ и нагляднымъ графическимъ способомъ⁹⁾, основаннымъ на комбинаціи двухъ инфлюентныхъ линий, изъ которыхъ одна соотвѣтствуетъ движенію грузовъ вдоль моста, а другая — поперекъ моста. Пояснимъ этотъ способъ на слѣдующемъ примѣрѣ, который заключается въ опредѣленіи наибольшаго момента для узла 3 поперечной балки II — II' (фиг. 594). Въ фиг. 594, изображающей планъ двухъ панелей моста подъ обыкновенную дорогу, двѣ прямыя H — H' представляютъ оси фермъ, прямыя I — I', II — II' и III — III' оси трехъ поперечныхъ балокъ, 1 — 1', 2 — 2', 3 — 3' и т. д. оси продольныхъ балокъ. Съ лѣвой стороны построенъ $\Delta a b c$, представляющій инфлюентную линію давления, которое передается рассматриваемой поперечной балкѣ II — II' двумя продольными балками. Подъ планомъ построена инфлюентная линія $\alpha \beta \gamma$ изгибающаго момента для рассматриваемаго узла 3. Пользуясь этими двумя инфлюентными линіями, можно опредѣлить моментъ M для узла 3, вызванный какимъ-нибудь гру-

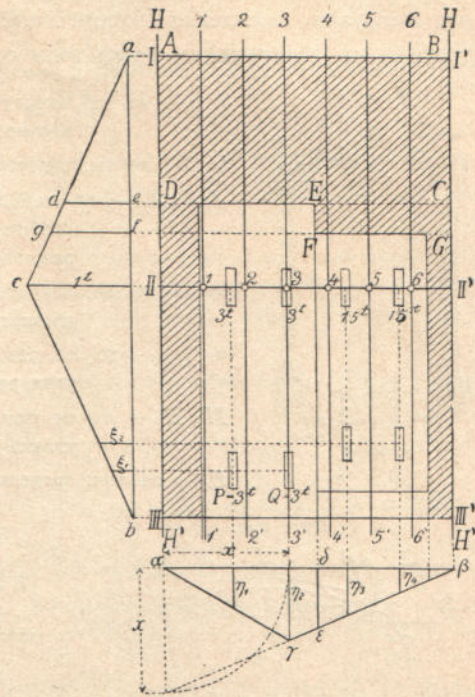
⁸⁾ При этомъ пренебрегается вѣсомъ толпы, помѣщающейся на полосу шириною 10 см.

⁹⁾ Hartmann. Zft d. Oesterreich. Ing. u. Archit. Ver. 1901.

зомъ, какъ произведеніе этого груза на соотвѣтственную ординату той и другой инфлюентной линіи. Напримѣръ, давление колеса $P = 3$ тон. вызываетъ въ узлѣ 3 поперечной балки II — II' моментъ $\eta_1 \cdot \xi_1 \cdot 3$ (т. м.), а колесо $Q = 3$ тон. — моментъ $\eta_2 \cdot \xi_1 \cdot 3$ (т. м.). Чтобы получить сумму этихъ двухъ моментовъ графическимъ путемъ, можно сложить циркулемъ обѣ ординаты η_1 и η_2 и помножить эту сумму на $3 \cdot \xi_1$. Итакъ, способъ заключается въ томъ, что каждый грузъ механически множатъ на двѣ ординаты, образующія между собою прямой уголъ съ вершиною въ точкѣ приложенія груза и затѣмъ суммируютъ всѣ эти произведенія.

Чтобы опредѣлить моментъ, вызванный толпою людей, слѣдуетъ раздѣлить толпу на рядъ прямоугольниковъ и рассчитать произведеніе изъ вѣса 1 мет.² толпы на соотвѣтственныя площади той и другой инфлюентной линіи. Напримѣръ, прямоугольникъ $ABCD$ вызываетъ въ узлѣ 3 балки II — II' моментъ, равный произведенію площади $a d e$ лѣвой инфлюентной линіи, на площадь $a \beta \gamma$ нижней инфлюентной линіи и на вѣсъ толпы въ 400 кил. на мет.² Прямоугольникъ $EFGC$ даетъ моментъ = площади $d e f g \times$ площадь $\beta \delta \epsilon \times 400$. Моментъ, вызванный въ узлѣ 3 балки II — II' всею толпою, равенъ суммѣ произведеній, рассчитанныхъ для отдѣльныхъ прямоугольниковъ.

Фиг. 594.



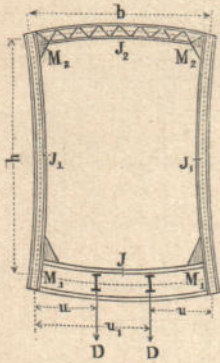
§ 73. Расчетъ поперечныхъ балокъ съ упруго-задѣланными концами.

Поперечныя балки, приклепанныя къ фермамъ моста, можно разсматривать какъ балки съ упругою задѣлкой ихъ концовъ, которая характеризуется тѣмъ, что при удаленіи нагрузки концы возвращаются въ ихъ первоначальное положеніе. Въ открытыхъ мостахъ съ ѣздою по низу фермы оказываютъ настолько ничтожное сопротивленіе повороту концовъ поперечныхъ балокъ, что имъ всегда пренебрегаютъ и разсматриваютъ поперечныя балки какъ свободно-лежащія. Въ закрытыхъ мостахъ съ ѣздою по низу и въ мостахъ съ ѣздою по верху указанное сопротивленіе можетъ быть значительнымъ, въ зависимости отъ жесткости стоекъ фермъ и верхней распорки, образующихъ вмѣстѣ съ поперечною балкою жесткую раму.

1. Случай двухъ продольныхъ балокъ. При расчетѣ моментовъ въ мѣстахъ закрѣпленія поперечной балки будемъ пренебрегать ничтожными измѣненіями длины элементовъ рамы, вызванными продольными силами и тѣмъ сопротивленіемъ, которое раскосы фермъ оказываютъ изгибу поперечныхъ балокъ. Предположимъ, что фермы имѣютъ прямой нижній поясъ, что верхніе концы стоекъ

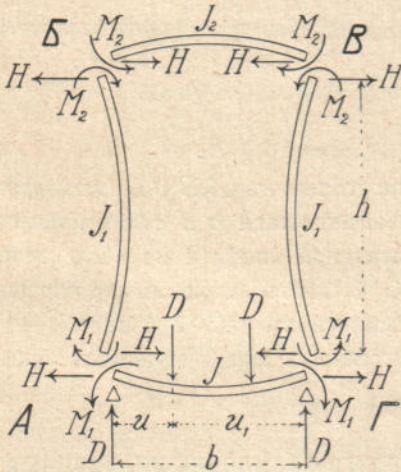
рамы соединены между собою распоркою с жестким закреплением ее концов и что нагрузка передается поперечным балкам через две продольные балки, отстоящие на одинаковом расстоянии от оси моста. Обозначим через

Фиг. 595.



- h — в см. высоту рамы, считая между осями поперечной балки и верхней распорки,
- b — в см. расстояние между осями ферм,
- J, J_1, J_2 — в см.⁴ средней моментъ инерции поперечной балки, каждой стойки и верхней распорки относительно нейтральной оси, направленной вдоль моста,
- D — в тон. наибольшее давление, передаваемое поперечной балкѣ въ мѣстахъ прикрѣпленія продольныхъ балокъ,
- u, u_1 — в см. расстояние продольной балки до лѣваго и праваго угла рамы,
- M_1, M_2 — в см. тон. изгибающіе моменты въ нижнихъ и въ верхнихъ углахъ рамы,
- H — в тон. продольную силу въ поперечной балкѣ или въ распоркѣ.

Фиг. 596.



Конец A поперечной балки AG отъ дѣйствія силъ D повернется на уголь $+ \alpha$, причѣмъ $\text{tg } \alpha = \frac{D \cdot u \cdot (b - u)}{2 \cdot E \cdot J}$.

Отъ дѣйствія опорныхъ моментовъ M_1 , тотъ же конецъ A повернется на уголь $- \beta$, причѣмъ $-\text{tg } \beta = - \frac{M_1 \cdot b}{2 \cdot E \cdot J}$.

Полный поворотъ конца A поперечной балки отъ дѣйствія силъ D и опорныхъ моментовъ M_1 можно опредѣлить, по малости угловъ, какъ сумму тангенсовъ:

$$\text{tg } \varphi = \text{tg } \alpha - \text{tg } \beta = \frac{D \cdot u \cdot (b - u) - M_1 \cdot b}{2 \cdot E \cdot J} \dots \dots \dots (118)$$

Вслѣдствіе жесткаго соединенія, конецъ A стойки AB повернется на такой же уголь φ , причѣмъ

$$\text{tg } \varphi = \frac{h (2 M_1 - M_2)}{6 \cdot E \cdot J_1} \dots \dots \dots (119)$$

Приравнивая значенія $\text{tg } \varphi$ по формуламъ 118 и 119, получаемъ

$$\frac{D \cdot u \cdot (b - u) - M_1 \cdot b}{J} = \frac{h (2 M_1 - M_2)}{3 \cdot J_1} \dots \dots \dots (120)$$

Конецъ B верхней распорки BB отъ дѣйствія моментовъ M_2 повернется на уголь φ_2 , причѣмъ

$$\text{tg } \varphi_2 = \frac{M_2 \cdot b}{2 \cdot E \cdot J_2} \dots \dots \dots (121)$$

Вследствие жесткого соединения, конец *B* стойки *AB* повернется на такой же угол φ_2 , причём

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{h (M_1 - 2 M_2)}{6 \cdot E \cdot J_1} \dots \dots \dots (122).$$

Приравнявая значения $\operatorname{tg} \varphi_2$ по формулам 121 и 122, получаем

$$\frac{M_2 \cdot b}{J_2} = \frac{h (M_1 - 2 M_2)}{3 \cdot J_1} \dots \dots \dots (123).$$

Таким образом для двух неизвестных опорных моментов M_1 и M_2 имеем два уравнения 120 и 123. Из 123 получаем:

$$M_2 = \frac{1}{2 + 3 \cdot \frac{b}{h} \cdot \frac{J_1}{J_2}} \cdot M_1 = \mu \cdot M_1 \dots \dots \dots (124)$$

$$\text{гдѣ } \mu = \frac{1}{2 + 3 \cdot \frac{b}{h} \cdot \frac{J_1}{J_2}} \dots \dots \dots (124 \text{ bis}).$$

Подставляя выражение 124 для M_2 в уравнение 120, получаем искомый опорный момент поперечной балки:

$$M_1 = \frac{u (b - u)}{b + \frac{h}{3} \left(2 - \mu \right) \frac{J}{J_1}} \cdot D \dots \dots \dots (125)^{10}.$$

Частные случаи. 1) Если верхняя распорка соединена со стойками шарнирнымъ образомъ, то $M_2 = 0$. Подставляя $M_2 = 0$ в уравнение 120, получаем

$$\frac{D \cdot u (b - u) - M_1 \cdot b}{J} = \frac{2 h \cdot M_1}{3 \cdot J_1} \dots \dots \dots (126).$$

$$\text{откуда } M_1 = \frac{u \cdot (b - u)}{b + 2 \cdot \frac{h}{3} \cdot \frac{J}{J_1}} \cdot D \dots \dots \dots (127).$$

Этотъ же результатъ можно получить изъ уравнения 125, принявъ $\mu = 0$, такъ какъ при $M_2 = 0, J_2 = 0$, и слѣдовательно $\mu = \frac{1}{2 + 3 \cdot \frac{b}{h} \cdot \frac{J_1}{J_2}} = \frac{1}{\infty} = 0$.

2) Если жесткость верхней распорки очень велика, то можно принять $\frac{J_1}{J_2} = 0$, тогда $\mu = \frac{1}{2}$, а

$$M_1 = \frac{u (b - u)}{b + \frac{1}{2} \cdot h \cdot \frac{J}{J_1}} \cdot D \dots \dots \dots (128).$$

¹⁰⁾ Эти формулы выведены инж. Толчинымъ по способу, данному проф. Тимошенко во II части его курса сопротивленія матеріаловъ.

Сравнение моментов при упругой и при жесткой заделке концов ¹⁾.

Для балки пролетом b , нагруженной двумя грузами D , отстоящими на u от ближайшего конца балки (соответственно поперечной балке однопутного железнодорожного моста), опорный момент при условии жесткой заделки концов будеть

$$\mathfrak{M} = - \frac{D \cdot u (b - u)^2}{b^2} - \frac{D (b - u) \cdot u^2}{b^2} = - \frac{D \cdot u (b - u)}{b} \dots (129).$$

По Винклеру, существует следующее приблизительное отношение между опорными моментами M_1 и \mathfrak{M} при упругой и при жесткой заделке концов:

$$\frac{M_1}{\mathfrak{M}} = \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{J}{J_1} \cdot \frac{h}{b}} \dots (130)$$

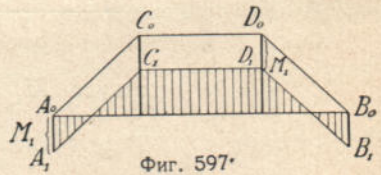
причем J и J_1 в см.⁴ моменты инерции поперечной балки и каждой стойки фермы в данном сечении,

h — в см. теоретическая высота фермы,

b — в см. расстояние между осями фермы.

При употребительных размерах мостов с ездой по низу момент M_1 не превышает 30% от момента \mathfrak{M} , так что никогда не следует рассматривать поперечные балки как с жестко заделанными концами (т. е. случай $M_1 = \mathfrak{M}$).

Разсчитав для поперечной балки опорный момент M_1 (по одной из формул 125, 127, 128), нетрудно определить моменты в разных сечениях балки, если для этих сечений известны моменты M_0 , соответствующие балке, свободно лежащей на концах. Стоит только уменьшить на M_1 каждый из моментов M_0 , так что кривая моментов переместится параллельно самой себе. Если для свободно лежащей балки эпюра моментов представляет трапецию $A_0 C_0 D_0 B_0$ (фиг. 597), то для балки с заделанными концами линия моментов будеть $A_1 C_1 D_1 B_1$, так что моменты равны ординатам заштрихованной площади. Вызванное заделкою концов понижение наибольшего положительного момента доходит, по Винклеру, до 15%.



Фиг. 597.

Поперечные силы сохраняют при закреплённых концах те же значения, какъ при свободныхъ, но только в случае симметричной нагрузки.

Продольная сила H в поперечной балке и в верхней распорке получается, согласно фиг. 596, из уравнения

$$- H \cdot h + M_2 + M_1 = 0 \text{ откуда } H = \frac{M_1 + M_2}{h}$$

$$H = \frac{1 + \mu}{h} \cdot M_1 = \frac{1 + \mu}{h} \cdot \frac{u (b - u)}{b + \frac{h}{3} (2 - \mu) \frac{J}{J_1}} \cdot D \dots (131).$$

¹⁾ См. также таблицу в § 69 на стр. 467.

Примѣръ. Для однопутнаго желѣзнодорожнаго моста пролетомъ 66,6 м., спроектированнаго по нормамъ М. П. С. отъ 1907 года, имѣемъ слѣдующія данныя: $h = 1000$ см., $b = 560$ см., $u = 180$ см., $u_1 = 380$ см., $J = 657900$ см.⁴, $J_1^2 = 54000$ см.⁴, $J_2 = 18000$ см.⁴, $D = 33,5$ т.

$$\mu = \frac{1}{2 + 3 \frac{560}{1000} \cdot \frac{54000}{18000}} = 0,142.$$

По формулѣ 125 получаемъ опорный моментъ при упругой задѣлкѣ концовъ:

$$M_1 = - \frac{180 (560 - 180) \cdot 33,5}{560 + \frac{1000}{3} (2 - 0,142) \frac{657900}{54000}} = - 284,5 \text{ см. тон.}$$

Тоже при жесткой задѣлкѣ, по формулѣ 129:

$$\mathfrak{M} = - \frac{33,5 \cdot 180 (560 - 180)}{560} = - 4100 \text{ см. тон.}$$

Слѣдовательно $\frac{M_1}{\mathfrak{M}} = \frac{284,5}{4100} = 0,069.$

По формулѣ 130 Винклера получаемъ почти тоже:

$$\frac{M_1}{\mathfrak{M}} = \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{657900}{54000} \cdot \frac{1000}{560}} = 0,065.$$

Наибольшій изгибающій моментъ поперечной балки, рассчитанный при условіи свободно лежащихъ концовъ, составляетъ $M_0 = 6030$ см. тон., такъ что упругая задѣлка концовъ поперечной балки уменьшаетъ ея наибольшій положительный моментъ только на $\frac{284,5 \cdot 100}{6030} = 4,7\%$. Другой примѣръ имѣется въ § 69 на стр. 467.

II. Случай нѣсколькихъ продольныхъ балокъ. Если поперечная балка поддерживаетъ цѣлый рядъ продольныхъ балокъ, расположенныхъ симметрично къ ея серединѣ, то, пользуясь формулами 125, 127 и 128, легко опредѣлить опорный моментъ M_1 .

Случай 4-хъ продольныхъ балокъ. Разсмотримъ случай, когда поперечная балка двупутнаго желѣзнодорожнаго моста поддерживаетъ 4 продольныхъ балки. Обозначимъ черезъ

- u — въ см. разстояніе крайнихъ продольныхъ балокъ до ближайшаго конца поперечной балки,
- u_1 — въ см. тоже разстояніе для среднихъ продольныхъ балокъ,
- D — въ тон. давленіе, передаваемое въ каждомъ мѣстѣ прикрѣпленія продольныхъ балокъ.

По формулѣ 125 получаемъ опорный моментъ

$$M_1 = - \frac{u (b - u) + u_1 (b - u_1)}{b + \frac{h}{3} (2 - \mu) \frac{J}{J_1}} \cdot D \dots \dots (132)$$

$$M_2 = - \mu \cdot M_1.$$

Случай 5-ти продольныхъ балокъ. Грузъ D , приложенный по серединѣ пролета поперечной балки, вызываетъ въ ней опорный моментъ

$$M_1' = - \frac{1}{8} \cdot \frac{b^2}{b + \frac{h}{3} (2 - \mu) \frac{J}{J_1}} \cdot D.$$

2) Стойки фермъ сравнительно слабы, такъ какъ онѣ представляютъ подвѣски треугольной рѣшетки.

При 5 продольныхъ балкахъ съ давленіемъ по D , изъ которыхъ середняя совпадаетъ съ серединою поперечной балки, а остальные отстоятъ на u и u_1 отъ ближайшаго конца балки, получаемъ опорный моментъ

$$M_1 = - \frac{u(b-u) + u_1(b-u_1) + \frac{1}{8}b^2}{b + \frac{h}{3}(2-\mu) \frac{J}{J_1}} \cdot D \dots (133)$$

$$M_2 = -\mu \cdot M_1.$$

Если элементы рамы имѣютъ переменное сѣченіе и моментъ инерціи имѣютъ на протяженіи участковъ длиною $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ значенія $J_1, J_2 \dots J_n$, то можно вводить въ расчетъ средній моментъ инерціи

$$J = \frac{J_1 c_1 + J_2 c_2 + \dots + J_n c_n}{c_1 + c_2 + \dots + c_n}$$

Напряженіе въ стойкахъ, вызываемое моментомъ M_1 и рассчитываемое по формулѣ $\sigma = \frac{M_1 \cdot e}{J_1}$, составляетъ, по Винклеру, 100 до 300 к./см.² для однопутныхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ и 200 до 500 к./см.² для двухпутныхъ.

§ 74. Вѣсь поперечныхъ балокъ.

А. Желѣзнодорожные мосты.

1. Формулы Винклера. Обозначимъ черезъ

- g — въ к. на п. м. погонный вѣсъ поперечной балки,
- D — въ тон. давленіе одной продольной балки на поперечную,
- P — въ тон. давленіе колеса паровоза,
- σ — въ тон./см.² допускаемое напряженіе на изгибъ,
- b — въ м. пролетъ поперечной балки,
- c — въ м. разстояніе между осями продольныхъ балокъ,
- δ — въ мм. толщину стѣнки поперечной балки,
- d — въ м. разстояніе между поперечными балками.

Погонный вѣсъ поперечной балки со сплошною стѣнкою составляетъ для желѣзнодорожныхъ мостовъ:

$$\text{однопутныхъ } g = \frac{3,26}{b} \sqrt{\frac{D}{\sigma} (b^2 - c^2) (b \cdot \delta + 46)}$$

$$\text{двупутныхъ } g = \frac{4,72}{b} \sqrt{\frac{D}{\sigma} (b^2 - 5,6 \cdot c^2) (b \cdot \delta + 65)}.$$

Неизвѣстное давленіе D можно опредѣлить изъ давленія P (въ тон.) колеса паровоза по слѣдующей приблизительной формулѣ

$$D = P + (0,3 + 0,34 \cdot P) d.$$

2. Формулы Гезелера. Сохраняя предъидущія обозначенія и принимая давленіе колеса $P = 10$ тон., высоту поперечной балки $= \frac{1}{5}$ ея пролета, допускаемое напряженіе литого желѣза $= 750$ к./см.², получаемъ погонный вѣсъ поперечной балки со сплошною стѣнкою для желѣзнодорожныхъ мостовъ:

$$\text{однопутныхъ } g = 15 + 18 \cdot b + (55 + 20,3 \cdot d) \frac{b - c}{b}$$

$$\text{двупутныхъ } g = 113 + 20 \cdot b + 18 \cdot d.$$

3. Въмѣсто формуль, можно пользоваться для опредѣленія вѣса поперечныхъ балокъ слѣдующею таблицею, содержащею данныя о вѣсѣ, составѣ сѣченія и размѣрахъ поперечныхъ балокъ для ряда однопутныхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ, спроектированныхъ по поѣзду М. П. С. 1896 г. Помимо нагрузки и допускаемаго напряженія, вѣсъ балокъ зависитъ отъ длины панели, отъ ширины моста и отъ относительной высоты балокъ; поэтому эти данныя также помѣщены въ таблицѣ. Кромѣ того, въ 6-мъ и 7-мъ столбцахъ таблицы помѣщены вызванныя полною нагрузкою значенія $\max Q$ и $\max M^3$, соотвѣтствующія поѣзду 1896 года.

Вѣсъ и размѣры сплошныхъ поперечныхъ балокъ однопутныхъ желѣзнодорож. мостовъ съ ѣздою по низу, спроектированныхъ по нормамъ 1896 г.

Длина панели фермъ. мет.	l Шири- на мо- ста между осями фермъ. мет.	Раз- стояніе между продол. балка- ми. мет.	Дѣйствитель- ный вѣсъ попе- речныхъ балокъ въ кил. на пог. мет.		Отъ полной нагрузки		Составъ сѣченія поперечной балки. м. м.	$\frac{h}{l}$ Отнош. высоты сѣчн. къ прол.	Теорет. вѣсъ въ кил. на пог. мет. балки.	μ Строй- тельн. коэф- фици- ентъ.	Дѣйств. норм. на- пряж. к./см. ²
			попер. балки.	моста.	\max	\max					
					Q	M					
кил.	к. м.										
3,66	3,35 ¹⁾	1,83	183	167	20900	15900 ¹⁾	в. л. 730 . 11 4 \angle 90 . 90 . 10	1:4,6	117	1,56	608
3,66	5,48	1,83	195	291	21410	36870	в. л. 980 . 10 4 \angle 130 . 85 . 10 2 г. л. 270 . 10	1:5,6	184	1,06	629
3,80	5,4	2,0	201	286	21949	37060	в. л. 870 . 11 4 \angle 100 . 100 . 12 2 г. л. 240 . 11	1:6,2	188	1,07	612
4,16	5,38	1,83	207	285	22730	40020	в. л. 940 . 11 4 \angle 100 . 100 . 10 2 г. л. 200 . 13	1:5,8	182	1,21	653
4,46	5,33	1,83	208	250	23752	41350	в. л. 1070 . 10 4 \angle 100 . 100 . 10 2 г. л. 230 . 10	1:5	180	1,15	632
4,57	5,49	1,83	197	236	—	—	в. л. 1120 . 10 4 \angle 100 . 100 . 10 2 г. л. 215 . 10	1:4,9	182	1,08	693
4,72	5,58	1,83	216	256	24270	43455	в. л. 1070 . 10 4 \angle 100 . 100 . 10 2 г. л. 230 . 11	1:5,2	184	1,18	640
4,76	5,60	2,0	221	236	24558	43976	в. л. 1100 . 10 4 \angle 90 . 90 . 11 2 г. л. 230 . 10	1:5,1	181	1,22	636
4,8	5,59	1,83	218	254	24800	46000	в. л. 1100 . 10 4 \angle 100 . 100 . 10 2 г. л. 220 . 10	1:5	181	1,20	673
4,87	5,58	1,83	232	265	25603	46350	в. л. 1120 . 10 4 \angle 100 . 100 . 10 2 г. л. 220 . 10	1:5	183	1,27	648
6,25	4,25 ¹⁾	2,0	261	178	27600	31045 ¹⁾	в. л. 800 . 13 4 \angle 90 . 90 . 13 2 г. л. 200 . 10	1:5,3	182	1,43	633
6,86	5,79	2,13	251	212	29450	54700	в. л. 1200 . 10 4 \angle 90 . 90 . 10 4 г. л. 230 . 10	1:4,8	220	1,14	693

¹⁾ Мостъ съ ѣздою по верху.

³⁾ Въ значеніяхъ $\max M$ и $\max Q$ наблюдается нѣкоторая непослѣдовательность, происходящая 1) отъ переменнаго разстоянія между продольными балками, 2) отъ переменнаго пролета поперечныхъ балокъ и 3) отъ колебаній постоянной нагрузки, вслѣдствіе различнаго удѣльнаго вѣса дерева поперечинъ и настила.

Дѣйствительный вѣсъ полученъ изъ подробнаго исчисленія вѣса и заключается въ себѣ всѣ необходимыя и дополнительныя части поперечныхъ балокъ, какъ-то: уголки жесткости, накладки для прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ фермамъ, заклепочныя головки въ размѣрѣ $3\frac{1}{8}\%$. Уголки для прикрѣпленія продольныхъ балокъ отнесены къ вѣсу послѣднихъ.

Теоретическій вѣсъ погоннаго метра балки равенъ суммѣ погонныхъ вѣсовъ всѣхъ составныхъ частей сѣченія. Строительнымъ коэффициентомъ μ названо отношеніе дѣйствительнаго вѣса къ теоретическому.

Для опредѣленія полнаго погоннаго вѣса поперечной балки, сѣченіе которой предварительно подобрано, суммируютъ погонный вѣсъ всѣхъ составныхъ частей сѣченія балки и полученный такимъ образомъ теоретическій вѣсъ множатъ на строительный коэффициентъ μ , подбираемый изъ предпоследняго столбца таблицы.

Вѣсъ и сѣченія сквозныхъ поперечныхъ балокъ однопутныхъ ж.-д. мостовъ съ ѣздою по низу, спроектированныхъ по нагрузкѣ М. П. С. 1896 г.

Длина панели фермы. мет.	Шир. моста между осями фермъ. мет.	Расстояніе между продольными балками. мет.	Полный вѣсъ поперечныхъ балокъ въ кил. на пог. мет.		Составъ сѣченія поясовъ поперечныхъ балокъ.		$\frac{h}{l}$	Дѣйствит. вѣсъ въ кил. на пог. мет. балки.		$\mu = \frac{G}{G_0}$	Дѣйств. норм.-малыя напряженіе. к./см. ²	
			попер. балки. Г.	моста. Г.	Пояса.			необход. частей. Г ₀	дополнит. частей.			
					Т и л.	М. М.						
5,49	5,79	1,98	207	218	Одноствѣчатый.	верхній	$2 \angle 120 \cdot 80 \cdot 10$ г. л. 200 . 11 г. л. 200 . 10	1:4,1	164	43	1,26	770
						нижній	$2 \angle 100 \cdot 75 \cdot 11$ в. л. 290 . 9					
7,0	6,0	2,0	301	258	Двустѣчатый.	верхній	$4 \angle 120 \cdot 80 \cdot 13$	1:3,9	236	65	1,28	700
			нижній	$2 \text{ швел. } 235 \cdot 95$								
7,8	6,0	2,0	307	236		верхній	$4 \angle 130 \cdot 85 \cdot 12$	1:3,9	236	71	1,30	675
				нижній		$2 \text{ швел. } 240 \cdot 85$						
7,2	6,8	2,0	304	287	верхній	$4 \angle 150 \cdot 100 \cdot 11$	1:5,0	245	59	1,50	675	
				нижній	$2 \text{ швел. } 260 \cdot 90$							

В. Мосты подъ обыкновенную дорогу.

4. Формулы Винклера. Обозначимъ черезъ

g — въ к. на пог. м. погонный вѣсъ поперечной балки,

b — въ м. пролетѣ поперечной балки,

d — въ м. разстояніе между поперечными балками,

c — въ м. разстояніе между продольными балками.

Погонный вѣсъ поперечной балки со сплошною стѣнкою толщиною 8 мм. рассчитывается для мостовъ подъ обыкновенную дорогу по одной изъ слѣдующихъ формулъ, смотря по тому, какая временная нагрузка вводится въ расчетъ.

Родъ фуръ.	g въ кил. на пог. мет. поперечной балки,		Принятый въ формулахъ вѣсъ полотна и прод. балокъ кил. м. ² .
	если имѣются продольныя балки.	если нѣтъ продол. балокъ.	
Тяжелыя .	$g = 1,56 (d + 6,7) \left(1 + \frac{0,4}{c}\right) b$	$g = 1,76 (d + 6,7) b$	530
Среднія . .	$g = 1,56 (d + 6,1) \left(1 + \frac{0,4}{c}\right) b$	$g = 1,76 (d + 6,1) b$	470
Легкія . .	$g = 1,43 (d + 5,4) \left(1 + \frac{0,4}{c}\right) b$	$g = 1,62 (d + 5,4) b$	410
Пѣшеходн. мосты .	$g = 2,25 (d + 1,5) \left(1 + \frac{0,4}{c}\right) b$	$g = 2,54 (d + 1,5) b$	230

5. **Формулы Гезелера.** Сохраняя предъидущія обозначенія, и принимая допускаемое напряженіе литого желѣза $\equiv 800$ к/см.², высоту поперечной балки $\equiv \frac{1}{8}$ ея пролета, получаемъ для моста подъ обыкновенную дорогу со щебеночною мостовою слѣдующій погонный вѣсъ поперечной балки со сплошною стѣнкою:

$$g = A \cdot d + B$$

причемъ значенія коэффиціентовъ A и B приведены въ слѣдующей таблицѣ.

b пролетъ попереч. балки мет.	Значенія A при пост. нагрузкѣ поперечн. балки p въ кил. на кв. мет.			Значенія B при давленіи колеса фуры въ тон.		
	$p = 520$	$p = 530$	$p = 560$	1,5	3,0	5,0
6	5,7	5,8	6,1	103,6	117,1	135,2
8	7,6	7,8	8,2	130,7	146,3	167,2

§ 75. Подборъ сѣченія и повѣрка напряженій поперечныхъ балокъ.

Въ большинствѣ случаевъ поперечнымъ балкамъ придаютъ клепаное двутавровое сѣченіе.

Высоту балокъ, если только позволяютъ мѣстныя условія, принимаютъ не менѣе $\frac{1}{8}$ ихъ пролета; въ однопутныхъ жел.-дор. мостахъ обычная высота поперечныхъ балокъ $\equiv \frac{1}{5}$ до $\frac{1}{6}$ ихъ пролета. Наивыгоднѣйшую высоту, соответствующую минимуму матеріала, можно рассчитать въ зависимости отъ момента M по формулѣ, выведенной на стр. 369; но слѣдуетъ помнить, что вѣсъ балки мѣняется очень слабо при измѣненіи высоты около ея наивыгоднѣйшаго предѣла.

Для подбора сѣченія поперечныхъ балокъ желѣзнодорожныхъ мостовъ, можетъ служить пособіемъ таблица на стр. 485. Подборъ сѣченія производится во всемъ согласно изложенному на стр. 374 до 376. При расчетѣ ослабленія сѣченія заклепками слѣдуетъ имѣть въ виду, что въ желѣзнодорожныхъ мостахъ заклепки, служащія для взаимнаго скрѣпленія уголковъ и листовъ поперечныхъ балокъ, имѣютъ діаметръ 20 мм., между тѣмъ какъ прикрѣпленіе продольныхъ балокъ къ поперечнымъ и поперечныхъ балокъ къ фермамъ производится заклепками діаметромъ 22 мм. Поэтому слѣдуетъ вычитать заклепки діаметромъ 22 мм. при повѣркѣ поперечной балки, какъ на скальваніе, причемъ опасное сѣченіе находится въ ея концахъ, такъ и на изгибъ, причемъ опасное сѣченіе соответствуетъ мѣсту прикрѣпленія продольной балки.

Уменьшеніе момента инерціи brutto, вслѣдствіе ослабленія сѣченія заклепочными дырами, составляетъ для сѣченій безъ горизонтальныхъ листовъ 10 до 15%, а для сѣченій съ горизонтальными листами 12 до 17% отъ момента инерціи brutto.

Повѣрка нормальныхъ и касательныхъ напряженій производится согласно изложенному на стр. 375. Относительно допускаемыхъ напряженій см. стр. 376.

Поперечныя балки часто служатъ одновременно распорками продольныхъ связей между фермами. Расчетъ такихъ балокъ на совмѣстное дѣйствіе вертикальной нагрузки и вѣтра помѣщенъ на стр. 139 IV тома (§ 23).

Обрывъ горизонтальныхъ листовъ. Опредѣлимъ обрывъ горизонтальнаго листа въ простѣйшемъ случаѣ, когда нагрузка передается поперечной балкѣ посредствомъ двухъ продольныхъ балокъ (какъ въ однопутныхъ жел. дор. мостахъ). Обозначимъ черезъ

W и W_0 — въ см.³ моменты сопротивленія сѣченія съ одной парой горизонтальныхъ листовъ и безъ нихъ,

n въ к./см.² — наибольшее нормальное напряженіе въ опасномъ сѣченіи,

$M = W \cdot n$ } изгибающіе моменты, которые можетъ выдержать сѣченіе съ горизонтальными
 $M_0 = W_0 \cdot n$ } листами и безъ нихъ,

x въ см. — разстояніе отъ теоретическаго мѣста обрыва горизонтальнаго листа до ближайшей опоры поперечной балки,

a въ см. — разстояніе продольной балки до ближайшей опоры поперечной балки,

D въ к. — наибольшее давленіе продольной балки на поперечную, а также реакція опоры поперечной балки.

Пренебрегая ничтожнымъ собственнымъ вѣсомъ поперечной балки, получимъ дѣйствительные моменты въ мѣстѣ обрыва и въ мѣстѣ прикрѣпленія продольной балки

$$M_0 = D \cdot x$$

$$M = D \cdot a$$

$$\text{откуда } \frac{M}{M_0} = \frac{a}{x}.$$

Согласно принятымъ обозначеніямъ $\frac{M}{M_0} = \frac{W}{W_0}$. Приравнивая оба отношенія, получимъ искомое разстояніе отъ конца поперечной балки до мѣста обрыва горизонтальнаго листа: $x = \frac{W_0}{W} a$. Горизонтальный листъ продолжаютъ за это мѣсто на длину полунакладки.

Повѣрка косыхъ напряженій. Если нагрузка передается поперечной балкѣ двумя продольными балками (какъ въ однопутныхъ желѣзнодорожныхъ мостахъ), то опаснымъ для косыхъ напряженій сѣченіемъ будетъ мѣсто прикрѣпленія продольной балки къ поперечной, вслѣдствіе того, что этому сѣченію соотвѣтствуютъ какъ $\max M$, такъ и $\max Q$. Опаснымъ волокномъ въ этомъ сѣченіи будетъ то, которое совпадаетъ съ продольною осью поясныхъ заклепокъ (см. стр. 234 I тома желѣзныхъ мостовъ). Косыя напряженія, нормальное и касательное, рассчитываютъ по формуламъ

$$\max n' = \frac{n}{2} + \sqrt{\left(\frac{n}{2}\right)^2 + t^2} < \text{допускаемаго на изгибъ,}$$

$$\max t' = \sqrt{\left(\frac{n}{2}\right)^2 + t^2} < \text{допускаемаго на скальваніе,}$$

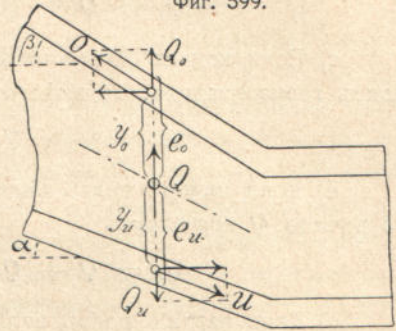
причемъ простыя напряженія $n = \frac{M \cdot e}{J}$ и $t = \frac{Q \cdot S}{J \cdot \delta \cdot \frac{a-d}{a}}$ относятся къ

тому же опасному волокну по оси заклепокъ. Въ этихъ формулахъ обозначаетъ:
 J въ см.⁴ — моментъ инерціи всего сѣченія относительно нейтральной оси,
 S въ см.³ — статическій моментъ сѣченія пояса и полоски стѣнки относит. нейтральной оси,
 e въ см. — разстояніе опаснаго волокна до нейтральной оси,
 a и d въ см. — шагъ и діаметръ заклепокъ для прикрѣпленія продольной балки къ поперечной.

Повѣрку устойчивости поперечной балки можно производить согласно изложенному на стр. 377 до 379, причемъ за свободную длину поперечной балки слѣдуетъ вводить разстояніе между продольными балками.

Повѣрка касательныхъ напряженій въ томъ случаѣ, когда пояса балки имѣютъ наклонное положеніе. Если одинъ или оба пояса балки имѣютъ наклонное положеніе, то часть поперечной силы Q воспринимается непосредственно наклонными поясами, причемъ эти части Q_u и Q_o можно принять равными вертикальной составляющей наклоннаго усилія пояса и рассчитать по слѣдующему приближительному способу. Для разсматриваемаго сѣченія балки обозначимъ черезъ α и β — углы наклоненія нижняго и верхняго пояса къ горизонту,

- M — въ к. см. изгибающій моментъ,
- Q — въ к. полную поперечную силу,
- J — въ см.⁴ моментъ инерціи всего вертикальнаго сѣченія относительно его горизонтальной нейтральной оси, причемъ за сѣченіе поясовъ принимаемъ ихъ дѣйствительную величину, а не вертикальную проекцію. Приближительность дальнѣйшаго расчета заключается въ томъ, что вмѣсто сѣченія балки, нормальнаго къ ея нейтральной оси, мы разсматриваемъ вертикальное сѣченіе балки.



Поведемъ расчетъ параллельно для нижняго и для верхняго пояса.

	Нижній поясъ.	Верхній поясъ.
Напряж. крайняго волокна на разстоян. e_u и e_o отъ нейт. оси сѣченія ⁴⁾	$\sigma_u = \frac{M}{W_u} = \frac{M \cdot e_u}{J}$	$\sigma_o = \frac{M}{W_o} = \frac{M \cdot e_o}{J}$
Напряж. средняго волокна на разстоян. y_u и y_o отъ нейтр. оси	$\sigma_u \cdot \frac{y_u}{e_u}$	$\sigma_o \cdot \frac{y_o}{e_o}$
Площадь сѣченія пояса	ω_u	ω_o
Горизонтальная составл. продольнаго усилія пояса	$U = \omega_u \cdot \sigma_u \cdot \frac{y_u}{e_u}$	$O = \omega_o \cdot \sigma_o \cdot \frac{y_o}{e_o}$
Вертикальная составляющая продол. усилія пояса	$Q_u = \omega_u \cdot \sigma_u \cdot \frac{y_u}{e_u} \cdot \text{tg } \alpha$	$Q_o = \omega_o \cdot \sigma_o \cdot \frac{y_o}{e_o} \cdot \text{tg } \beta$
Тоже послѣ подстановки вышеуказанныхъ значеній σ_u и σ_o	$Q_u = \frac{M}{J} \omega_u \cdot y_u \cdot \text{tg } \alpha$	$Q_o = \frac{M}{J} \omega_o \cdot y_o \cdot \text{tg } \beta$

Искомое значеніе Q_x поперечной силы, которая приходится на стѣнку и по которой слѣдуетъ вести расчетъ скальвающихъ напряженій, равно алгебраической суммѣ силъ Q , Q_u и Q_o , такъ что $Q_x = Q - Q_u + Q_o$.

Подставляя рассчитанныя значенія Q_u и Q_o , получимъ

$$Q_x = Q + \frac{M}{J} \left(\omega_o \cdot y_o \text{ tg } \beta - \omega_u \cdot y_u \text{ tg } \alpha \right) \dots \dots \dots (134)$$

Это значеніе силы Q_x соотвѣтствуетъ тому случаю, когда оба пояса балки имѣютъ направленіе, и сходящее отъ концовъ балки къ ея серединѣ (какъ въ фиг. 599). При измѣненіи направленія поясовъ соотвѣтственно мѣняется знакъ вертикальныхъ составляющихъ Q_o и Q_u , и можно различать еще слѣдующіе шесть случаевъ.

⁴⁾ Принимаемъ тотъ же законъ распределенія напряженій въ сѣченіи, какъ въ случаѣ бруса съ параллельными поясами. Кромѣ того, весь расчетъ ведется въ предположеніи свободно-лежащихъ концовъ балки.

а) Если оба пояса балки имѣютъ наклонное направленіе, сходящееся къ опорамъ (фиг. 533), (балка съ заостренными концами), то вмѣсто Q подставить

$$Q_x = Q - Q_u - Q_o = Q - \frac{M}{J} \left(\omega_u \cdot y_u \operatorname{tg} \alpha + \omega_o \cdot y_o \operatorname{tg} \beta \right) \dots (135)$$

б) Если конецъ балки скошенъ только снизу (см. фиг. 538 и 540) и верхній поясъ горизонталенъ, то вмѣсто Q подставить

$$Q_x = Q - Q_u = Q - \frac{M}{J} \omega_u \cdot y_u \operatorname{tg} \alpha \dots (136)$$

в) Если конецъ балки скошенъ только сверху (см. фиг. 495), а нижній поясъ горизонталенъ, то вмѣсто Q подставить

$$Q_x = Q - Q_o = Q - \frac{M}{J} \omega_o \cdot y_o \operatorname{tg} \beta \dots (137)$$

г) Если нижній поясъ балки прямой, а верхній повышается къ ея концамъ, то вмѣсто Q подставить

$$Q_x = Q + Q_o = Q + \frac{M}{J} \omega_o \cdot y_o \operatorname{tg} \beta \dots (138)$$

е) Если верхній поясъ балки прямой, а нижній понижается къ ея концамъ (въ мостахъ съ ѣздою по верху), то вмѣсто Q подставить

$$Q_x = Q + Q_u = Q + \frac{M}{J} \omega_u \cdot y_u \operatorname{tg} \alpha \dots (139)$$

ф) Если балка уширяется къ концу въ видѣ воронки, то вмѣсто Q подставить:

$$Q_x = Q + Q_u + Q_o = Q + \frac{M}{J} \left(\omega_u \cdot y_u \operatorname{tg} \alpha + \omega_o \cdot y_o \operatorname{tg} \beta \right) \dots (140)$$

Въ теоретическомъ отношеніи случаи д, е и особенно ф невыгодны, такъ какъ увеличивается поперечная сила, приходящаяся на стѣнку, а касательныя напряженія не уменьшаются въ ней и въ поясахъ возрастаетъ продольная сила.

Опредѣливъ, сообразно съ очертаніемъ поясовъ поперечной балки, величину силы Q_x по одной изъ 7 указанныхъ формулъ, можно разсчитать скалывающее напряженіе по обыкновенной формулѣ⁵⁾

$$t = \frac{Q_x \cdot S}{J \cdot \delta \cdot \frac{a-d}{a}} < \text{допускаемаго.}$$

§ 76. Разсчетъ заклепокъ поперечныхъ балокъ.

1. Шагъ a заклепокъ для прикрѣпленія поясныхъ уголковъ къ стѣнкѣ. Наибольшій и наименьшій предѣлъ этого шага a разсчитывается для концовъ поперечной балки по слѣдующимъ 3 формуламъ, выведеннымъ на стр. 264 I тома желѣзныхъ мостовъ,

$$\begin{aligned} \max a &= \frac{2 \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \cdot R_t \cdot J}{Q \cdot S} & \left\{ \begin{array}{l} \text{изъ условія, чтобы касательное усиліе, приходящееся на} \\ \text{заклепку, было меньше ея сопротивленія двойному срѣзы-} \\ \text{ванію.} \end{array} \right. \\ \max a &= \frac{d \cdot \delta \cdot J \cdot R_\delta}{Q \cdot S} & \left\{ \begin{array}{l} \text{изъ условія, чтобы касательное усиліе, приходящееся на} \\ \text{заклепку, было меньше сопротивленія стѣнки смятію.} \end{array} \right. \\ \min a &= \frac{d \cdot \delta \cdot R'_t}{\delta \cdot R'_t - \frac{Q \cdot S'}{J}} & \left\{ \begin{array}{l} \text{изъ условія, чтобы касательное усиліе, приходящееся на} \\ \text{заклепку, было меньше сопротивленія стѣнки скалыванію} \\ \text{по горизонтальной оси заклепокъ, причѣмъ обозначаетъ} \end{array} \right. \end{aligned}$$

⁵⁾ Въ примѣненіи этой формулы, относящейся къ случаю горизонтальныхъ поясовъ, заключается нѣкоторая доля приближенія.

d — въ см. діаметръ заклепокъ,

δ — въ см. толщину стѣнки,

J — въ см.⁴ моментъ инерціи всего сѣченія brutto относительно горизонтальной нейтрал. оси,

S — въ см.³ статическій моментъ 2-хъ поясныхъ уголковъ и горизонтальныхъ листовъ brutto относительно той же оси,

S' — въ см.³ тоже, но съ добавленіемъ полосы стѣнки шириною = $\frac{1}{2}$ полки уголка,

Q — въ к. наибольшую поперечную силу,

R_t — въ к./см.² допускаемое напряженіе на срѣзываніе заклепокъ,

R_δ = 2 . R допускаемое напряженіе на смятіе,

R_t' — въ к./см.² допускаемое напряженіе на скалываніе стѣнки.

2. Шагъ a поясныхъ заклепокъ при наклонномъ положеніи поясовъ балки. При наклонномъ положеніи поясовъ слѣдуетъ всегда повѣрять шагъ поясныхъ заклепокъ въ виду того, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ онъ получается очень малымъ. Этотъ шагъ рассчитывается по тѣмъ же формуламъ для $\max a$ и $\min a$; но съ тою разницею, что вмѣсто основного значенія поперечной силы Q слѣдуетъ подставить въ нихъ одно изъ значеній Q_x , которыя выведены на стр. 490, и соотвѣтствуютъ семи случаямъ очертанія поясовъ поперечной балки. Полученныя такимъ образомъ значенія соотвѣтствуютъ горизонтальной проекціи искомаго шага поясныхъ заклепокъ.

3. Заклепки для прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ фермамъ. Въ большинствѣ случаевъ ограничиваются грубымъ расчетомъ этихъ заклепокъ только на опорное давленіе поперечной балки, повѣряя заклепки на срѣзываніе и на смятіе; но вводя зато пониженное допускаемое напряженіе. По послѣднимъ нормамъ М. П. С. на срѣзываніе допускается 536 к./см.²

Въ мѣстахъ прикрѣпленія поперечныхъ балокъ къ фермамъ мостовъ съ ъздою по низу на отрываніе головки работаютъ верхнія заклепки. Это объясняется тѣмъ, что вертикальный прогибъ поперечныхъ балокъ вызываетъ изгибъ стоекъ во внутрь моста (фиг. 519), вслѣдствіе чего стойки имѣютъ стремленіе оторваться отъ верхняго пояса поперечныхъ балокъ и на отрываніе работаютъ верхнія заклепки. Для увеличенія числа этихъ заклепокъ полезно примѣнять треугольные угловые кронштейны, согласно фиг. 498. Но еще лучше устраивать вставки и пропускать ихъ на всю ширину стоекъ, согласно фиг. 505 и 506, для того, чтобы заклепки работали только на срѣзываніе.

4. Заклепки въ стыкъ стѣнки поперечной балки съ фасонною вставкою. Если поперечная балка прикрѣплена къ фермѣ при помощи фасонной вставки, расположенной въ плоскости стѣнки поперечной балки (фиг. 505 и 506), то стыкъ этихъ листовъ перекрываютъ парными накладками. Число заклепокъ, необходимыхъ съ каждой стороны стыка, можно рассчитывать по извѣстной формулѣ, выведенной на стр. 249 I тома и соотвѣтствующей, какъ шахматному, такъ и рядовому размѣщенію заклепокъ въ стыкъ:

$$x = \frac{1}{P_n} \sqrt{\left(\frac{3 M_c}{y_n}\right)^2 + Q_c^2}$$

гдѣ x — число заклепокъ съ каждой стороны стыка,

y_n — въ см. разстояніе отъ нейтральной оси до послѣдней заклепки въ накладкѣ,

$Q_c = 0,77 \cdot Q$ въ к. поперечная сила, соотвѣтствующая только стѣнкѣ,

P_n — въ к. наименьшее изъ допускаемыхъ сопротивленій одной заклепки, или смятію ($d \cdot \delta \cdot R_\delta$), или двойному срѣзыванію ($\frac{2 \cdot \pi \cdot d^2}{4} \cdot R_t$)

$M_c = \frac{W_c}{W} \cdot M$ въ к. см. изгибающій моментъ, соотвѣтствующій только стѣнкѣ, причѣмъ W_c и

W обозначаютъ моментъ сопротивленія одной стѣнки и всего сѣченія.

Въ виду упругаго закрѣпленія концовъ поперечной балки, полный изгибающій моментъ въ мѣстѣ стыка $M = M_0 - M_1$. гдѣ M_0 моментъ для той же точки въ предположеніи свободныхъ концовъ, а M_1 —опорный моментъ, который можно рассчитать по одной изъ формулъ 125, 127 и 128 на стр. 481 (см. также эпюру моментовъ на стр. 482). Такъ какъ M_1 имѣетъ сравнительно небольшую величину, то на практикѣ часто пренебрегаютъ вліяніемъ момента M_1 , принимая $M = M_0$.

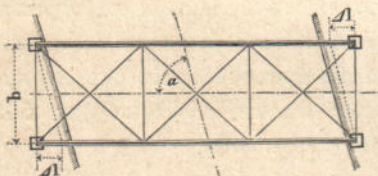
Х Глава.

§ 77. Продольныя и поперечныя балки косыхъ мостовъ.

Утвержденныя Мин. Пут. Сообщ. техническія условія проектированія и сооруженія желѣзныхъ дорогъ первостепеннаго значенія содержатъ въ § 42 слѣдующія положенія относительно устройства косыхъ мостовъ. Если при устройствѣ моста нельзя избѣжать пересѣченія подъ угломъ, то „опоры моста устраиваются косыми, а верхнее строеніе по отношенію къ оси моста прямымъ. Въ случаѣ значительнаго увеличенія толщины опоръ или невозможности спрямить русло рѣки, дозволяется, съ особаго каждый разъ разрѣшенія Мин. Пут. Сообщ., устраивать косыя опоры и фермы“.

Смотря по величинѣ угла пересѣченія между осью моста и лицевую гранью устоевъ, конструкція косыхъ мостовъ болѣе или менѣе разнится отъ прямыхъ мостовъ. Если уголъ пересѣченія мало отличается отъ 90° , можно сохранить ту же конструкцію, какъ въ прямыхъ мостахъ, придавая только устоямъ большую толщину и обдѣливая ихъ сверху нормально къ продольной оси моста. При этомъ расчетный пролетъ фермъ увеличивается на $\Delta l = b \cdot \text{ctg } \alpha$, гдѣ, согласно фиг. 600 — b разстояніе между осями фермъ, α —уголъ пересѣченія. Если имѣется нѣсколько фермъ, то можно устраивать такое же нормальное сопряженіе для

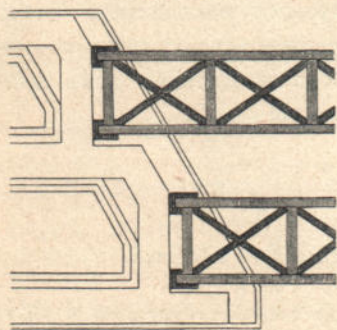
Фиг. 600.



каждой пары фермъ, согласно фиг. 601.

Чтобы уменьшить стоимость устоевъ, можно снабдить фермы промежуточными опорами въ точкахъ 2 и 3 (фиг. 602). Изъ 6 опоръ устраиваютъ опору 6 неподвижную. Остальныя опоры должны быть подвижными, а именно опора 1 по направленію 6 — 1, опоры 2 и 4 по направленію 6 — 4, опоры 3 по 6 — 3 и опора 5 по 6 — 5.

Фиг. 601.



При маломъ углѣ пересѣченія нормальное сопряженіе обходится очень дорого, въ виду значительнаго перерасхода желѣза для фермъ и каменной кладки для опоръ, вслѣдствіе чего располагаютъ опоры фермъ по оси, болѣе или менѣе параллельной лицевой грани устоя, причемъ получается впечатлѣніе, какъ будто одна ферма отстаетъ отъ другой (фиг. 603).

Расчетный пролетъ фермъ въ мет.

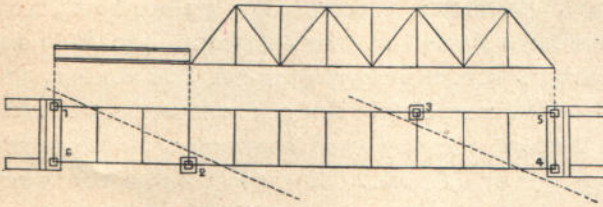
$$\text{(согл. фиг. 604)} \quad l = \frac{l_1}{\sin \alpha},$$

гдѣ l_1 — въ мет. нормальное разстояніе между прямыми, соединяющими опоры обѣихъ фермъ, α — уголъ пересѣченія.

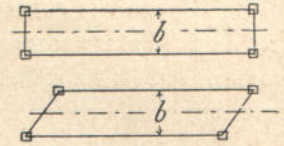
Раздѣленіе на панели. Основное правило состоитъ въ томъ, что узлы обѣ-

их фермы должны быть расположены одинъ противъ другого по нормали къ продольной оси моста. Это нужно для того, чтобы поперечная балки сопрягались

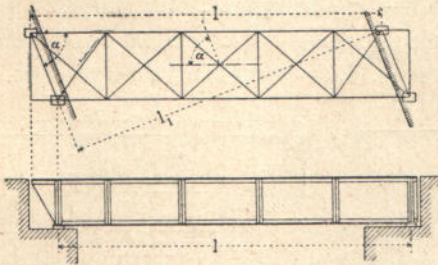
Фиг. 602.



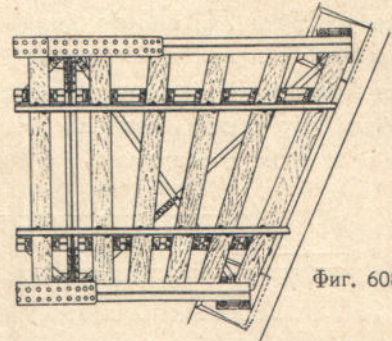
Фиг. 603.



Фиг. 604.



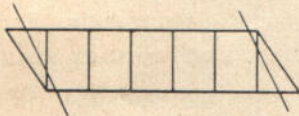
Фиг. 605.



Фиг. 608.

Путепроводъ въ Ганноверѣ.

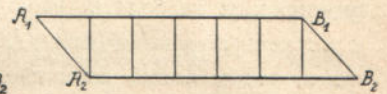
съ фермами подь прямымъ угломъ. Сперва пробуютъ разбить одну изъ фермъ на такое число панелей равной длины, чтобы одна ферма отставала отъ другой на одну или на нѣсколько панелей (фиг. 606). При этомъ можно мириться съ тѣмъ, чтобы прямая, соединяющая опоры обѣихъ фермъ, не была параллельна косою лицевой грани устоя. Если такое раздѣленіе на панели невозможно, то дѣлятъ



Фиг. 606.



Фиг. 607.



Фиг. 607 bis.

длину $A_1 B_2$ (фиг. 607) между крайними опорами на равныя панели. При этомъ фермы получаютъ несимметричными относительно ихъ середины. Можно также дѣлить на равныя панели длину $A_2 B_1$ между внутренними опорами (фиг. 607 bis).

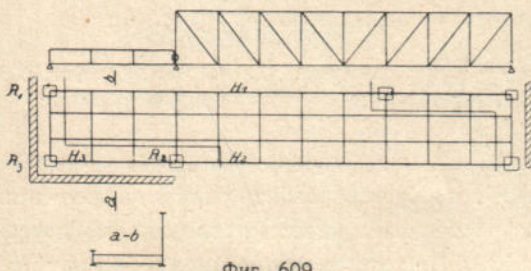
Расположеніе шпаль. Въ концахъ моста и на устояхъ шпалы могутъ быть размѣщены или вѣерообразно (фиг. 608), или нормально къ пути. Недостатокъ вѣернаго размѣщенія заключается въ возможности уширенія пути при сдвигѣ шпаль и въ томъ, что шпалы настолько сближены въ одномъ ихъ концѣ, что затрудняется ихъ подбивка и прикрѣпленіе къ продольнымъ балкамъ. Недостатокъ нормальнаго размѣщенія шпаль состоитъ въ томъ, что шпалы, уложенныя на устоѣ, опираются однимъ концомъ на упругій балластъ, а другимъ—на каменную кладку, а шпалы, уложенныя въ концѣ пролетнаго строенія, опираются однимъ концомъ на желѣзныя продольныя балки или фермы, а другимъ на каменную кладку или на балластъ (фиг. 617).

Въ косыхъ мостахъ, въ которыхъ опоры фермъ расположены по прямой, приблизительно параллельной лицевой грани устоя, сопряженіе съ устоями и на быкахъ можетъ быть устроено подь прямымъ, или подь косымъ угломъ. Въ виду сложности косою сопряженія балокъ проѣзжей части, какъ между собою,

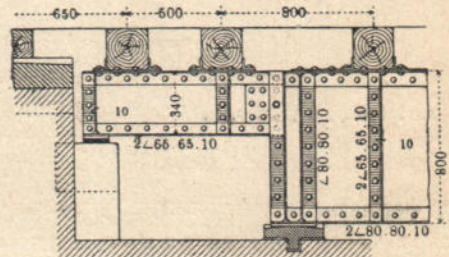
такъ и съ фермами, а также въ виду неудобства расположенія шпаль, предпочитаютъ, гдѣ только можно, устройство сопряженія подъ прямымъ угломъ. Рассмотримъ тотъ и другой способъ сопряженія отдѣльно.

I. Способы сопряженія подъ прямымъ угломъ. 1) При небольшой косинѣ моста продолжаютъ отстающую ферму въ видѣ консоли (фиг. 605) настолько, чтобы ея конецъ сравнялся съ концомъ другой фермы. Эта консоль можетъ служить опорой для подрельсовыхъ поперечинъ, или для поперечныхъ балокъ.

2) При большой косинѣ моста, когда консоль получилась бы слишкомъ длинною, продолжаютъ отстающую ферму H_2 (фиг. 609) при помощи сопрягающей балочки H_3 , опирая одинъ конецъ этой балочки на устой, а другой — на ферму H_2 , надъ ея опорой A_2 . Поперечныя балки прикрѣпляютъ однимъ концомъ къ балочкѣ H_3 , а другимъ концомъ — къ фермѣ H_1 . Въ фиг. 610 показанъ примѣръ сопрягающей балочки желѣзнодорожнаго съ ѣздо по верху моста съ укладкою пути на деревянныхъ поперечинахъ. Если мостъ открытъ, (см. разрѣзъ по



Фиг. 609.



Фиг. 610.

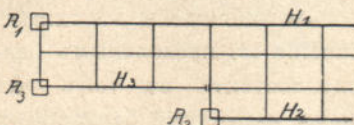
$a - b$ фиг. 609), то желательно, чтобы, въ случаѣ отсутствія временной нагрузки на участкѣ $A_2 A_3$ моста, сопрягающая балочка H_3 своимъ собственнымъ вѣсомъ удерживала свободный верхній поясъ фермы H_1 отъ бокового отклоненія. Если собственный вѣсъ балки H_3 недостаточенъ, то необходимо закрѣпить ея концы такъ, чтобы балка не могла приподняться.

Сопрягающую балочку H_3 можно не доводить до конца противулежащей фермы H_1 . Въ фиг. 611 балочка доведена до предпоследняго узла фермы H_2 . Этотъ способъ слѣдуетъ примѣнять только въ томъ случаѣ, если, даже при такой небольшой длинѣ, собственного вѣса сопрягающей балочки достаточно для удержанія открытаго верхняго пояса противулежащей фермы отъ бокового отклоненія.

Сопрягающую балочку H_3 можно устраивать также въ видѣ продолженія

одной изъ продольныхъ балокъ, поддерживая одинъ ея конецъ помощью поперечной балки, соответствующей опорѣ A_2 , а другой конецъ посред-

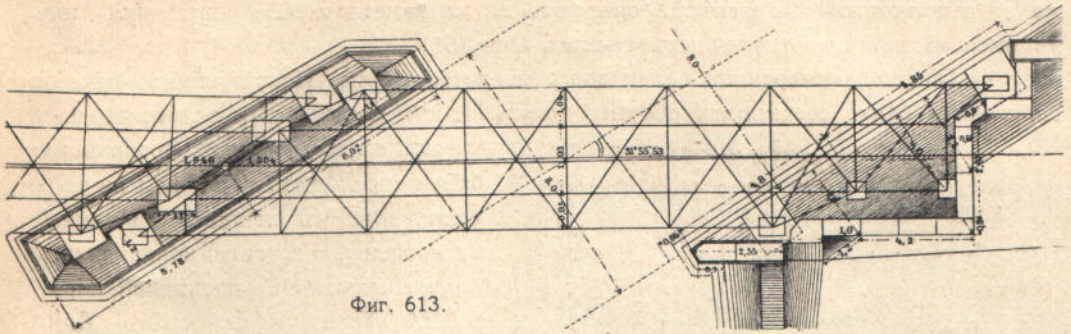
Фиг. 612.



Фиг. 611.

ствомъ опоры на устоѣ (фиг. 612 и 613).

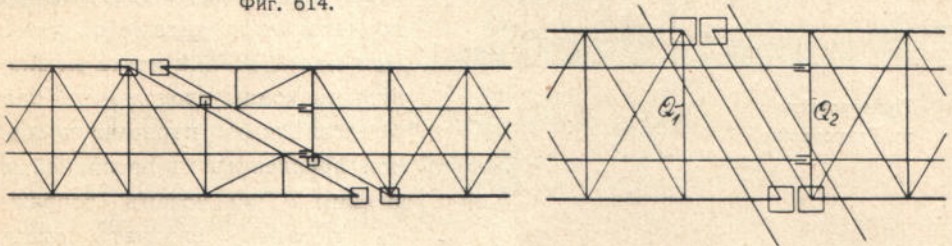
3) Сопряжение подъ прямымъ угломъ на быкахъ. Если косина моста невелика, то примѣняютъ сопряженіе, показанное въ фиг. 614. Продольныя балки, расположенныя надъ быкомъ, прикрѣпляютъ къ поперечной балкѣ Q_1 шарнирно-неподвижнымъ образомъ, а къ поперечной балкѣ Q_2 — шарнирно-подвижнымъ образомъ, такъ чтобы онѣ могли свободно участвовать въ горизонтальныхъ и вертикальныхъ перемѣщеніяхъ пролетнаго строенія. Если косина мо-



Фиг. 613.

Путепроводъ на ж. д. Берлинъ-Кобленцъ.

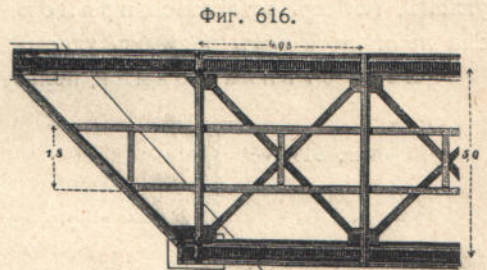
ста значительна, то на протяженіи между опорами лѣвой и правой фермъ устраиваютъ укороченныя поперечныя балки, которыя однимъ концомъ прикрѣ-



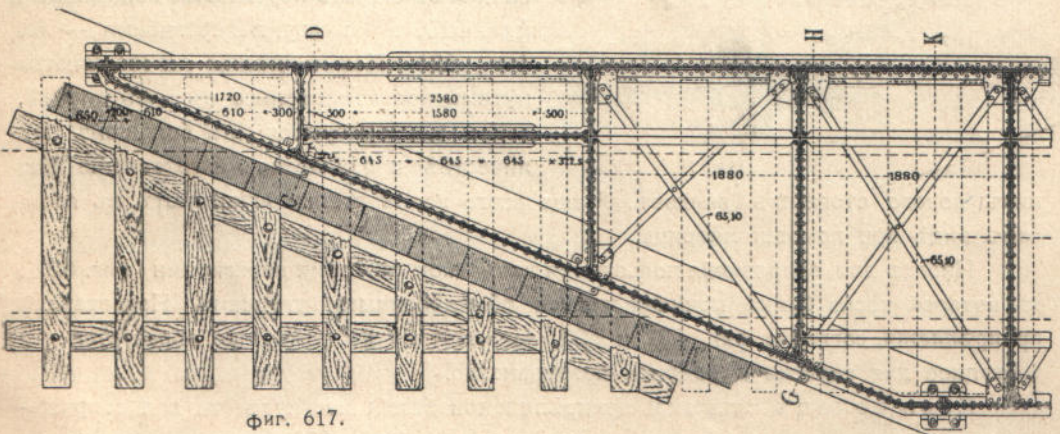
Фиг. 615.

пляютъ къ фермѣ, а другимъ концомъ опираютъ на быкъ при помощи подушки (фиг. 615) такъ, чтобы этотъ конецъ былъ подвижнымъ по всѣмъ направлениямъ.

II. Способы косога сопряженія. Концы фермъ (надъ ихъ опорами) соединяютъ посредствомъ косога опорной поперечной балки, къ которой приклепываютъ концы продольныхъ балокъ. При большой косинѣ моста, или при малой длинѣ панели фермъ, къ косога опорной поперечной балкѣ прикрѣпляютъ не только продольныя, но и поперечныя балки (фиг. 617). Если длина косога опорной поперечной балки очень велика, то,



Фиг. 616.

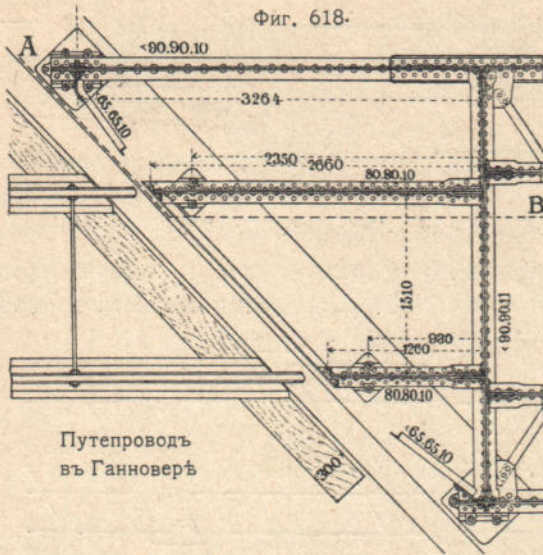


Фиг. 617.

Путепроводъ въ Ганноверѣ.

желая сэкономить на желе́зе, опираютъ ее на каменную опору въ одной или въ нѣсколькихъ промежуточныхъ точкахъ (фиг. 617).

б) Опорной поперечной балки вовсе не устраиваютъ. Последняя нормальная поперечная балка соединяетъ опорный узелъ одной фермы съ предпоследнимъ

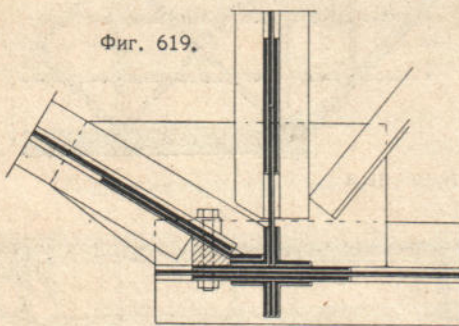


узломъ другой фермы. Продольная балка последней косо́й панели опираютъ однимъ концомъ на каменную кладку, а другимъ концомъ ихъ приклепываютъ къ последней поперечной балкѣ (фиг. 618). Длина этихъ продольныхъ балокъ можетъ быть или разная, соответственно косинѣ моста, или одинаковая для того, чтобы получить нормальное сопряженіе съ устоемъ. При малой косинѣ моста можно выпустить концы продольныхъ балокъ за последнюю поперечную балку, или приклепать къ последней кронштейны. При косо́мъ сопряженіи съ устоемъ слѣдуетъ отдавать

предпочтеніе вѣрному размѣщенію шпаль (фиг. 608), такъ какъ при ихъ нормальномъ расположеніи онѣ опираются однимъ концомъ на желе́зную конструкцию, а другимъ — на каменную кладку устоя, что нераціонально.

Детали косо́ыхъ сопряженій. Стѣнка балки, прикрѣпляемой подъ косо́ымъ угломъ, можетъ оставаться прямою, или можетъ быть изогнута такъ, чтобы она примыкала подъ прямымъ угломъ къ стѣнкѣ другой балки.

Если стѣнка прямая, пользуютя для прикрѣпленія или косоугольными уголками (фиг. 620) или накладками съ однимъ или двумя перегибами. Такія накладки примѣняютъ при сопряженіяхъ подъ очень острымъ угломъ для того, чтобы можно было удобно клепать. Примѣръ накладки съ однимъ перегибомъ показанъ въ фиг. 619, а съ двумя перегибами — въ фиг. 621. Косо́е уголки изготовляются путемъ прокатки только въ томъ случаѣ, когда они требуются въ большомъ количествѣ и окупается изготовленіе для



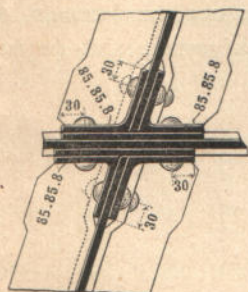
нихъ дорого стоящихъ валковъ. Чаще всего косо́е уголки штампуютъ въ горячемъ видѣ при помощи матрицы.

Иногда для сопряженія пользуютя накладкою съ тремя перегибами (фиг. 622), къ которой косо́я балка приклепывается обыкновенными уголками. Недостатокъ прикрѣпленія, согласно фиг. 621 и 622, заключается въ томъ, что образуется недоступное для окраски и ремонта пространство.

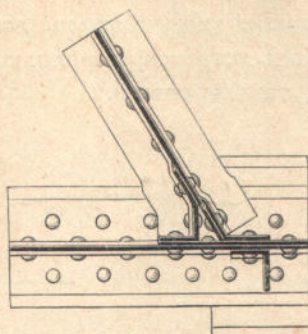
Если конецъ стѣнки прикрѣпляемой балки изогнуть, то для сопряженія можно пользоваться обыкновенными уголками (фиг. 623); зато въ сопряженіи

получается скручивающий момент, который может вызвать въ балкѣ замѣтныя дополнительныя напряжения.

Фиг. 620.



Фиг. 621



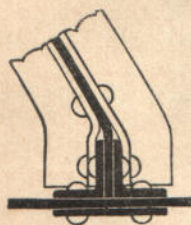
Фиг. 622.



Еще одно конструктивное неудобство косыхъ мостовъ заключается въ томъ, что при криволинейномъ очертаніи одного или обоихъ поясовъ фермъ продольныя связи, расположенныя въ плоскости этихъ поясовъ, находятся на косо́й поверхности, вслѣдствіе чего усложняется прикрѣпленіе такихъ связей къ фермамъ.

Вредныя деформациі косыхъ мостовъ. Въ косомъ мостѣ узлы лѣвой и правой фермы, поддерживающіе одну и ту же поперечную балку, находятся на разномъ разстояніи отъ середины пролета фермъ и прогибаются отъ вертикальной нагрузки на разную величину. Вслѣдствіе этого концы одной и той-же поперечной

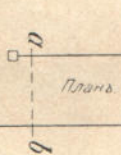
Фиг. 623.



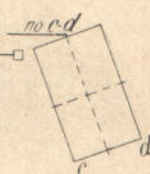
Фиг. 624.



Фиг. 625.



Фиг. 626.



балки оказываются на разныхъ уровняхъ и поперечныя балки принимаютъ наклонное положеніе, а полотно проѣзжей части образуетъ косо́ую поверхность. Какъ видно изъ фиг. 624 и 625, поперечныя сѣченія лѣвой половины моста наклоняются въ сторону движенія часовой стрѣлки, а сѣченія правой половины въ обратную сторону (фиг. 626). Наибольшая разница между прогибами обѣихъ фермъ наблюдается около опоръ; поэтому поперечныя сѣченія моста поворачиваются около опоръ больше, чѣмъ около середины пролета. По измѣреніямъ, произведеннымъ нами на одномъ изъ желѣзнодорожныхъ путепроводовъ въ Брестѣ съ фермами пролетомъ 48,5 м. и высотой 7 м., оказалось, что при проходѣ паровоза верхній уголъ рамы, отстоящей на 10,4 м. отъ середины пролета, отклонялся въ сторону на 12 до 13 мм., при ширинѣ моста около 5,5 м.

Указанная деформация имѣетъ слѣдующія вредныя послѣдствія. 1) Нагрузка распределяется на обѣ фермы неодинаково и большую часть получаетъ ферма,

поддерживающая тотъ конецъ поперечной балки, который` больше прогибается. Бóльшую перегрузку фермъ вызываютъ тѣ поперечныя балки, которыя расположены ближе къ опорамъ. 2) При жесткомъ прикрѣпленіи поперечныхъ балокъ къ фермамъ поперечныя рамы сильно искажаются, причемъ поперечныя балки и поперечныя связи между фермами испытываютъ дополнительныя напряженія. Последнее явленіе можетъ быть устранено шарнирнымъ прикрѣпленіемъ къ фермамъ какъ поперечныхъ балокъ, такъ и связей.





Изъ напечатанныхъ трудовъ проф. Патона имѣются въ продажѣ:

1) Желѣзные мосты.

I томъ. Фермы балочныхъ мостовъ. 518 страницъ и 637 фигуръ въ текстѣ.
Москва 1902 и 1903. Цѣна 5 р.

II томъ. Опорныя части балочныхъ фермъ и шарниры консольныхъ фермъ.
Москва 1904. Цѣна 3 р. 70 к.

III томъ. Проѣзжая часть и тротуары. I и II выпуски. Киевъ, 1906 и 1908.
Цѣна 8 р.

IV томъ. Связи между фермами. Литограф. изданіе. Киевъ 1907. Цѣна 4 р.

2) Расчетъ сквозныхъ фермъ съ жесткими узлами. 159 страницъ съ фигурами въ текстѣ и 6 листовъ чертежей, напечатанныхъ въ краскахъ. Полный примѣръ расчета статически-неопредѣлимой двухраскосой фермы прол. 20 саж. по способу наименьшей работы деформациі и при помощи инфлюэнтныхъ линий усилій. 1901. Цѣна 3 р.

3) Данные для проектированія верхняго строенія мостовъ, систематически изложенныя примѣнительно къ нормамъ Министерства Путей Сообщенія. Нагрузки, допускаемыя напряженія, вѣса строительныхъ матеріаловъ, циркуляры Минист. Путей Сообщенія. Второе изданіе. 1903. Цѣна 1 р. 25 к.

4) Таблицы для расчета желѣзныхъ конструкций и мостовъ. Русскій метрической нормальный сортиментъ фасоннаго желѣза и 32 другихъ таблицъ. Таблицы моментовъ и эквивалентныхъ нагрузокъ для новаго нормального поѣзда 1907 г. Пособіе для проектированія мостовъ. Второе изданіе. 1903. Цѣна 1 р.

5) Вѣсы желѣзныхъ мостовъ для желѣзной, обывоченной и гнѣсходной дороги съ фермами балочно-разрѣзной, консольной и арочной системы. Конструктивные коэффициенты для расчета вѣса фермъ и проѣзжей части. 27 Таблицъ съ данными о 550 мостахъ. Второе вновь составл. изданіе. Киевъ 1905. Цѣна 3 р.

6) Примѣры расчета металлическаго верхняго строенія мостовъ со сплошными фермами. Четыре примѣра, соответственно устройству проѣзжей части изъ деревянныхъ поперечницъ, изъ желѣза Зоре, изъ лотковаго желѣза и изъ клепанаго волнистаго настила. Третье изданіе. 1904. Цѣна 1 р. 25 к.

7) Примѣры расчета деревянныхъ мостовъ съ фермами системы Гау, Тауна, подкосной и досчатой. Пять полныхъ примѣровъ. Третье дополненное изданіе 1907. Цѣна 2 р. 25 к.

8) Образцы расчета желѣзныхъ мостовъ со сквозными фермами. 1) Шоссейный мостъ пролет. 72 мет., съ вѣдою по низу съ консольными фермами. 2) Желѣзнодорожный мостъ отвер. 30 мет. съ вѣдою поверху. 3) Желѣзнодорожный мостъ отвер. 64,5 мет. съ вѣдою по низу. Второе изданіе 1905 г., вновь составленное согласно новому нормальному поѣзду 1907 года. Цѣна 2 р. 75 к.

9) Примѣръ расчета покрытія съ желѣзными стропилами, составленный вѣст. К. К. Симинскимъ, съ 3 листами детальныхъ чертежей употребительныхъ конструкций. Киевъ. 1908. Цѣна 1 р. 10 к.

10) Проектъ шоссейнаго моста черезъ Зуду въ Шейнѣ. Отверстіе 25 саж. Вѣда по низу. Фермы параболическія; проѣзжая часть—металлическая. Расчетъ, исчисленіе вѣса и 4 листа чертежей. 1903. Цѣна 3 р. 60 к.

11) Двухпролетный мостъ черезъ Зуду съ промежуточной опорой въ видѣ качающейся рамы. Проѣзжая часть для обывоченной дороги составлена изъ клепанаго, волнистаго, прямоугольнаго настила, бетона и каменной мостовой. Пояснительная записка, расчетъ, исчисленіе вѣса и 5 листовъ чертежей. Москва, 1905. Цѣна 3 р. 70 к.

12) Проектъ жел. дор. моста чер. Матюру отверстіемъ 30 саж. съ вѣдою по верху со сквозными поперечными балками. Расчетъ, исчисленіе вѣса и чертежи. Киевъ 1905. Цѣна 3 р. 70 к.

13) Проектъ консольнаго шоссейнаго моста въ Новослабѣ. Отверстіе 33 саж. Вѣда по низу. Фермы полигональныя съ консолями для перехода на насыпи. Досчатый настилъ на желѣзныхъ продольныхъ и поперечныхъ балкахъ. Расчетъ, исчисленіе вѣса и чертежи. Киевъ. 1905. Цѣна 4 р. 25 к.

14) Проектъ консольнаго городского моста черезъ Куру въ Тифлисѣ. Три пролета. Вѣда по верху. Расчетъ, исчисленіе вѣса и чертежи. Киевъ 1907. Цѣна 5 р.

15) Проектъ арочнаго съ вѣдою по низу городского Мухранскаго моста въ Тифлисѣ пролетомъ 73 мет. Расчетъ, исчисленіе вѣса и чертежи. Киевъ 1908.

16) Образцы чертежей пролетнаго строенія желѣзныхъ мостовъ:
а) Шосс. мостъ въ Новослабѣ отверстіемъ 30 саж. съ вѣдою по низу, 5 листовъ чертежей и исчисленіе вѣса. Цѣна 3 р.
б) Шосс. мостъ въ Бѣломъ, отверстіемъ 26 саж., съ вѣдою по низу, 5 листовъ чертежей.
в) Ж.-д. мостъ чер. Аргенъ въ Лагсаргенѣ, 3 листа чертежей. Цѣна 1 р. 25 к.
г) Ж.-д. мостъ отверстіемъ 35 саж. съ вѣдою по низу Восточно-Китайской жел. дор., 5 листовъ чертежей.

17) Образцы чертежей деревянныхъ мостовъ.
1 лис. черт. моста съ фермами Тауна Цѣна 35 коп.
2 лис. черт. моста съ фермами Гау 70 коп.
5 лис. черт. мостовъ подкосной системы 1 руб. 50 коп.

ПРОДАЖА ВЪ КНИЖНЫХЪ МАГАЗИНАХЪ.

Складъ изданій у автора: Киевъ, Полтавскій Институтъ.

