

# Вопросъ объ усиленіи желѣзныхъ мостовъ на VIII международномъ желѣзнодорожномъ конгрессѣ.

*П. Я. Каленцева.*

Настоящая статья представляет отчетъ о командировкѣ на VIII международный желѣзнодорожный конгрессъ, засѣдавшій въ г. Бернѣ въ 1910 году.

Пользуясь представленными на конгрессъ докладами по вопросу объ усиленіи мостовъ, въ статьѣ приведены данныя о нормахъ нагрузокъ и допускаемыхъ напряженій, дѣйствующихъ въ настоящее время въ различныхъ государствахъ для расчета мостовъ, и описаны всѣ примѣнявшіеся до сихъ поръ способы усиленія желѣзныхъ мостовъ. Кромѣ того, въ началѣ статьи сдѣлана краткій общій обзоръ всѣхъ вопросовъ о желѣзныхъ мостахъ, какіе только обсуждались на бывшихъ восьми международныхъ желѣзнодорожныхъ конгрессахъ.

## I. Обзоръ вопросовъ о желѣзныхъ мостахъ, обсуждавшихся на желѣзнодорожныхъ конгрессахъ.

### § 1. Вопросы обсуждавшіеся на первыхъ семи конгрессахъ.

Вопросы о желѣзныхъ мостахъ ставились почти на всѣхъ конгрессахъ, начиная съ перваго. Прежде всего членовъ конгресса озабочивалъ вопросъ о необходимости регламентаціи опредѣленнаго типа поѣзда для расчета желѣзныхъ мостовъ, въ виду постепеннаго роста подвижной нагрузки. Затѣмъ обсуждался вопросъ о примѣненіи для мостовъ литого желѣза, а также о способѣ укладки пути на мостахъ. Наконецъ, на пятомъ и шестомъ конгрессахъ были поставлены вопросы: о количествѣ металла, употребляемаго для желѣзнодорожныхъ мостовъ въ связи съ нормами допускаемыхъ напряженій въ различныхъ странахъ; о спо-

собахъ испытанія мостовъ, примѣняемыхъ различными дорогами какъ для пріемки ихъ послѣ постройки, такъ и повторяемыхъ періодически при эксплуатаціи; о стоимости этихъ испытаній; о значеніи, которое придается въ дѣйствительности этимъ испытаніямъ, и о томъ, могутъ ли послѣднія разсматриваться какъ средство для опытнаго изученія дѣйствительныхъ условій прочности и безопасности мостовыхъ конструкцій.

Докладчикъ по послѣднимъ вопросамъ, г. фонъ-Леберъ, бывшій начальникъ одного изъ департаментовъ австрійскаго Министерства Путей Сообщенія, взглянулъ на нихъ довольно широко и представилъ (сначала на пятый конгрессъ, а затѣмъ съ значительными дополненіями на шестой конгрессъ) обширный докладъ о конструкціи и испытаніи металлическихъ мостовъ <sup>1)</sup>, представляющій собою очень цѣнный научный трудъ объ историческомъ развитіи постройки металлическихъ желѣзнодорожныхъ мостовъ, о нормахъ подвижной нагрузки, функционировавшихъ къ 1900 году въ различныхъ государствахъ для расчета мостовъ, о соответствіи этихъ нормъ съ фактически обращающимся на линияхъ подвижнымъ составомъ, о производствѣ сварочнаго и литого желѣза, о техническихъ условіяхъ для нихъ, о теоріяхъ и формулахъ работы металла для всевозможныхъ случаевъ дѣйствія внѣшнихъ силъ, о нормахъ допускаемыхъ напряженій для металла въ различныхъ странахъ, о вѣсѣ мостовъ со сплошными и сквозными фермами, о степени безопасности, обеспечиваемой расчетомъ прочности мостовъ, о наилучшей конструкціи мостовъ, о выдающихся по размѣрамъ мостахъ и объ испытаніи мостовъ.

Въ приложеніяхъ къ докладу г. фонъ-Лебера приведены цѣнные свѣдѣнія о 35 наиболѣе замѣчательныхъ желѣзнодорожныхъ мостахъ различныхъ странъ, съ указаніемъ главнѣйшихъ ихъ размѣровъ и вѣса и съ иллюстраціями нѣкоторыхъ изъ мостовъ.

## § 2. Вопросъ объ усиленіи желѣзныхъ мостовъ на VIII конгрессѣ.

На VIII желѣзнодорожномъ конгрессѣ были поставлены два вопроса о мостахъ, а именно: 1) вопросъ объ усиленіи металлическихъ мостовъ и 2) вопросъ о мѣрахъ, обеспечивающихъ

<sup>1)</sup> См. Congrès international des chemins de fer. Sixième session. Compte rendu général. 2-me volume.

Bulletin du congrès, Septembre 1900, 1 fascicule, p. 5955.

движеніе поѣздовъ по поворотнымъ мостамъ безъ замедленія хода. Второй изъ этихъ вопросовъ касался не только поворотныхъ мостовъ, но и путевыхъ устройствъ, какъ-то: стрѣлочныхъ переводовъ и глухихъ пересѣченій. Поворотные мосты на главныхъ желѣзнодорожныхъ путяхъ, гдѣ именно и требуется большая скорость, сравнительно рѣдки, а потому докладчики обратили главное вниманіе на стрѣлочные переводы, а не на поворотные мосты, и посему представленный конгрессу матеріалъ относительно послѣднихъ не богатъ. Вопросъ же объ усиленіи желѣзныхъ мостовъ получилъ на конгрессѣ всестороннее освѣщеніе.

Наиболѣе обстоятельные доклады по вопросу объ усиленіи мостовъ представили: 1) г. Maurer—относительно Австро-Венгрии, 2) г. Randich—относительно Франціи и Италіи, 3) г. Labes—относительно желѣзныхъ дорогъ Германіи, Даніи, Норвегіи, Швеціи и Швейцаріи, 4) г. Zahariade—относительно Румыніи, 5) проф. Бѣлелобскій и инженеръ Богуславскій—относительно Россіи, 6) г. Schroeder van der Kolk—относительно Бельгіи и Голландіи и 7) г. Coderch—относительно Испаніи и Португаліи. Остальные два доклада,—г. Jacomb-Hood—относительно Англіи и г. Vuers—относительно Америки заключаютъ только общіе выводы, полученные докладчиками на основаніи отвѣтовъ отъ желѣзныхъ дорогъ, но совершенно не даютъ ни конкретныхъ примѣровъ усиленія мостовъ, ни частныхъ подробностей о постановкѣ этого дѣла въ указанныхъ странахъ.

Всѣ означенные доклады разработаны авторами на основаніи данныхъ, полученныхъ отъ различныхъ желѣзныхъ дорогъ въ отвѣтъ на слѣдующіе 13 вопросовъ особо произведенной анкеты, а именно:

1) Какія постановленія объ условіяхъ прочности металлическихъ желѣзнодорожныхъ мостовъ изданы оффиціально послѣ 1850 года и, главное, какія существовали нормы нагрузокъ и допускаемыхъ напряженій для металла.

2) Какія обстоятельства побудили правительства и частныя общества обратить вниманіе на необходимость пересоставленія расчетовъ прочности существующихъ металлическихъ мостовъ. Имѣлась ли въ виду продолжительность службы сооруженія, или увеличеніе вѣса подвижного состава, или же увеличеніе скорости поѣздовъ.

3) По какимъ правиламъ производятся означенные пере-

счеты, и соответствують ли эти правила установленнымъ для новыхъ мостовъ.

4) Указывали ли произведенные подсчеты на необходимость повысить прочность нѣкоторыхъ мостовъ посредствомъ усиленія ихъ, или какимъ другимъ способомъ.

5) Какія, въ главныхъ чертахъ и наиболѣе интересныхъ деталяхъ, работы по усиленію мостовъ исполнены или проектируются на дорогѣ.

6) Какіе элементы проѣзжей части, а также какія соединенія ихъ, требовалось усиливать или возобновлять болѣе часто, или въ большемъ числѣ.

7) Какія особенныя затрудненія встрѣчались при этихъ работахъ. Какія дѣлались распоряженія и какія принимались мѣры и предосторожности противъ этихъ затрудненій для обезпеченія полной успѣшности работъ и достиженія такого способа производства ихъ, при которомъ дѣйствительные результаты усиленія приблизились бы насколько возможно къ предположеніямъ проекта, не была бы затруднена эксплуатация линіи и была бы обезпечена безопасность движенія.

8) Какіе получились результаты испытаній усиленныхъ мостовъ, сравнительно съ расчетными предположеніями.

9) Имѣя въ виду, съ одной стороны, что почти всѣ усиляемые мосты построены изъ сварочнаго желѣза, а съ другой, что примѣненіе литого желѣза въ металлическихъ конструкціяхъ распространяется все болѣе и болѣе, спрашивается, какіе существуютъ взгляды и мнѣнія относительно сорта металла, употребляемаго для усиленія мостовъ изъ сварочнаго желѣза. Предпочитають ли сохраненію однородности металла повышеніе прочности при примѣненіи въ работахъ по усиленію мостовъ литого желѣза.

10) Какъ велика стоимость (абсолютная и пропорціональная) полезнаго вѣса металла, поставленнаго на мѣсто при усиленіи, принимая во вниманіе трудности, присущія работамъ этого рода, и различныя помѣхи, связанныя съ обезпеченіемъ движенія поѣздовъ.

11) Сообщите, если возможно, ваше мнѣніе, основанное на болѣе или менѣе продолжительныхъ опытахъ, производившихся на вашей дорогѣ, о срокѣ дѣйствительности усиленія и объ ожидаемомъ увеличеніи расходовъ на ремонтъ, которые будутъ имѣть мѣсто, сравнительно съ металлическимъ строеніемъ неусиленнымъ, но той-же степени прочности.

12) Въ какихъ случаяхъ и по какимъ мотивамъ предпочи-

таютъ усиленію мостовъ недостаточной прочности замѣну ихъ новыми металлическими же, замѣну каменными мостами или другими.

13) До какой степени считаютъ полезнымъ или необходимымъ оградить себя отъ увеличенія въ будущемъ вѣса подвижного состава какъ по отношенію къ проектамъ новыхъ строящихся мостовъ, такъ и относительно усиленія существующихъ мостовъ.

Наиболѣе богатый матеріалъ представленъ по вопросамъ о нормахъ нагрузокъ и допускаемыхъ напряженіяхъ въ металлъ мостовъ, о способахъ усиленія мостовъ и отчасти объ экономической сторонѣ этихъ работъ.

## II. Нормы нагрузокъ и напряженій для расчета мостовъ въ различныхъ государствахъ.

§ 3. Нормы нагрузокъ. Первые желѣзные дороги въ Европѣ начали строиться въ тридцатыхъ годахъ прошлаго столѣтія. Одновременно съ постройкой дорогъ явилась потребность и въ устройствѣ желѣзнодорожныхъ мостовъ. За исключеніемъ Англіи, во всей Европѣ и Америкѣ первые желѣзнодорожные мосты строились деревянные и каменные (въ Англіи, а позже и въ Америкѣ были распространены и чугунные). Желѣзные мосты на желѣзныхъ дорогахъ стали распространяться лишь съ пятидесятыхъ годовъ прошлаго вѣка<sup>2)</sup>. Во всѣхъ безъ исключенія государствахъ никакихъ нормъ для расчета мостовъ въ первое, болѣе или менѣе продолжительное, время не существовало, и выборъ тѣхъ или иныхъ нормъ зависѣлъ отъ составителя проекта. При этомъ необходимо добавить, что не всѣ мосты и рассчитывались. Напримѣръ, въ Америкѣ мостостроеніе долгое время находилось въ рукахъ практиковъ, не имѣвшихъ понятія объ опредѣленіи уси-

---

<sup>2)</sup> Первые желѣзные мосты для желѣзной дороги были открыты въ слѣдующіе годы:

1) въ 1845 г. рѣшетчатый мостъ прол. 42,67 м. черезъ Royalkanal у Дублина.

2) въ 1847 г. Конвэйскій мостъ трубчатой системы отверстіемъ 400 фуг. на желѣзной дорогѣ изъ Честера въ Голигедъ и

3) въ 1848 г. мостъ Британія той же системы и на той же дорогѣ въ 4 пролета, общимъ отверстіемъ  $2 \times 70, 10 + 2 \times 140 = 420,20$  м.

лії въ элементахъ мостовъ и руководившихся, и то лишь иногда, изученіемъ работы моделей мостовъ.

Послѣдовавшая затѣмъ разработка теоріи расчета мостовъ, съ одной стороны, и непрерывное развитіе желѣзнодорожной сѣти, съ другой, вызвали сознание необходимости установленія однородныхъ нормъ для расчета мостовъ. Однако, необходимость въ установленіи подобныхъ нормъ въ различныхъ государствахъ признавалась и признается далеко не одинаково, и тогда какъ во Франціи общія нормы нагрузокъ для расчета мостовъ были установлены правительствомъ еще въ 1858 году, въ Америкѣ и въ Англии такія назначаются каждой дорогой по собственному усмотрѣнію до сихъ поръ.

Постепенно возрастающее развитіе движенія на желѣзныхъ дорогахъ вызываетъ потребность въ паровозахъ бѣльшей мощности и въ вагонахъ бѣльшей вмѣстимости, а слѣдовательно и большаго вѣса.—Нормы нагрузокъ, установленныя въ семидесятыхъ годахъ, оказывались уже несоотвѣтствующими вѣсу обращающагося на дорогахъ подвижнаго состава въ восьмидесятыхъ годахъ, новыя нормы снова опережались дѣйствительностью въ слѣдующіе десять лѣтъ, и это состязаніе оффиціальныя нормъ съ условіями, выдвигаемыми самою жизнью, продолжается, и повидимому безъ успѣха, до сихъ поръ. Во многихъ государствахъ оффиціальныя нормы измѣнялись уже 3—4 раза и по всей вѣроятности придется ихъ измѣнять и еще нѣсколько разъ. Для характеристики, насколько великъ ростъ вѣса подвижнаго состава, я привожу ниже данныя объ одномъ изъ самыхъ сильныхъ паровозовъ конца шестидесятыхъ годовъ прошлаго вѣка и о современныхъ типахъ европейскаго и американскаго паровозовъ.

Европейскій паровозъ конца шестидесятыхъ годовъ прошлаго столѣтія:

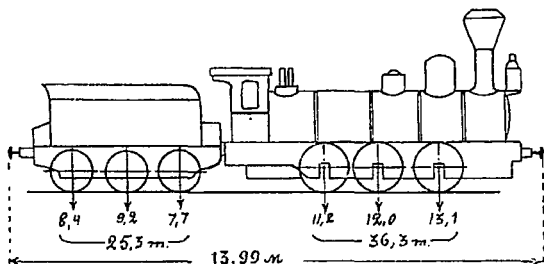


Рис. 1. Паровозъ завода Борзига 1868.

Наиболѣе тяжелый паровозъ изъ экспонированныхъ на Брюссельской выставкѣ 1910 г.:

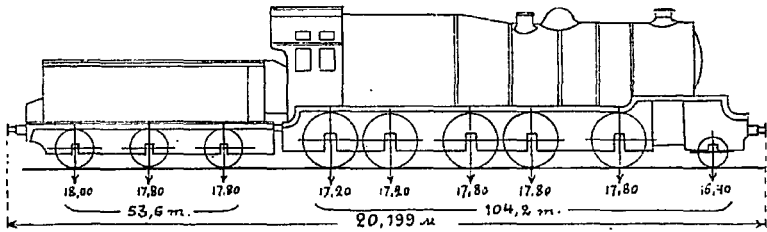


Рис. 2. Товарный паровозъ Бельгійскихъ ж. д.

Одинъ изъ наиболѣе тяжелыхъ американскихъ паровозовъ:

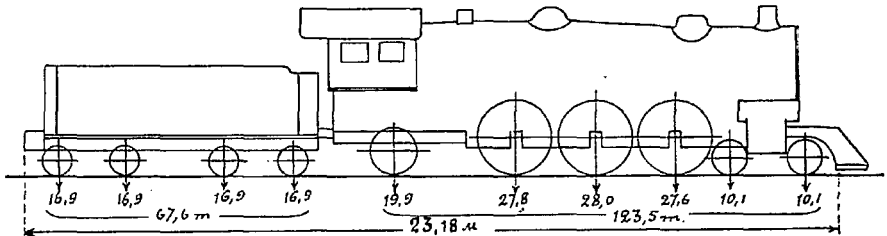


Рис. 3. Пассажирскій паровозъ 1908 г.

Параллельно съ увеличеніемъ вѣса подвижного состава возрастаетъ все время и скорость движенія поѣздовъ. Невыясненность вліянія скорости движенія поѣздовъ на прочность мостовъ побудила Постоянную Комиссію Конгресса въ числѣ анкетныхъ вопросовъ поставить и этотъ, но, къ сожалѣнію, данныхъ относительно вліянія скорости на работу мостовъ почти не представлено. Имѣется только указаніе г. Byers'a на опыты Общества американскихъ желѣзнодорожныхъ инженеровъ (The American Railway Engineering and Maintenance of Way Association), по которымъ выяснилось, что: 1) увеличеніе напряженій въ частяхъ мостовыхъ сооружений при движеніи поѣзда, сравнительно со статической нагрузкой, объясняется вѣроятнѣе всего отсутствіемъ у паровозовъ надлежаще уравновѣшенныхъ балансировъ; 2) при скоростяхъ меньше 16—20 килом. въ часъ ударное дѣйствіе подвижной нагрузки практически исчезаетъ; 3) наибольшее повышеніе напряженія отъ ударнаго дѣйствія нагрузки для пролетовъ не

болѣе 15 метровъ составляетъ около 50%, а для пролетовъ въ 30,5 м.—вѣроятно, не превосходить 15%.

Затѣмъ въ связи съ этимъ можно отмѣтить, что по послѣднимъ венгерскимъ нормамъ 1907 года ударный коэффициентъ для мостовъ пролетомъ въ 20 метровъ и болѣе назначенъ въ 1,5, а для мостовъ пролетомъ менѣе 20 метр. опредѣляется по формулѣ  $\mu = 1,5 + 0,001(20 - l)^2$  для главныхъ линій и  $\mu = 1,5 + 0,0007(20 - l)^2$  для второстепенныхъ, такъ что, напримѣръ, для мостовъ пролетомъ въ 5 м.  $\mu = 1,725$ . Такимъ образомъ ударные коэффициенты, назначенные венгерскими нормами, значительно расходятся съ данными американскихъ опытовъ, и, къ сожалѣнiю, не имѣется указанiй, на основанiи какихъ соображенiй установлена ихъ величина.

Насколько мнѣ извѣстно, введенiе опредѣленнаго ударнаго коэффициента въ нормы расчета желѣзнодорожныхъ мостовъ сдѣлано пока исключительно въ Саксонiи, Баварiи и Венгрии; въ другихъ же государствахъ влiяние ударной нагрузки для желѣзнодорожныхъ мостовъ учитывается въ скрытомъ видѣ уменьшенiемъ допускаемыхъ напряженiй въ зависимости отъ уменьшенiя пролета въ той или иной пропорцiи, при чемъ опредѣленiе усилiй производится для статической нагрузки. Нельзя не признать, что послѣднiй способъ расчета нѣсколько затуманиваетъ истинное положенiе степени прочности отдѣльныхъ частей мостового сооруженiя, и потому нововведенiе, сдѣланное впервые саксонскими нормами 1905 г., слѣдуетъ только привѣтствовать.

Для сравненiя функционирующихъ въ настоящее время въ главнѣйшихъ государствахъ Европы нормъ нагрузокъ для расчета желѣзнодорожныхъ мостовъ ниже приведены подробныя данныя о нихъ и представлены графики эквивалентныхъ нагрузокъ для изгибающихъ моментовъ и поперечныхъ силъ, соответствующихъ этимъ нормамъ, по которымъ легко усматривается разница между нормами и ростъ ихъ сравнительно съ первыми французскими нормами 1858 г.

Австрія. Послѣднія нормы 1904 г. для главныхъ линій:

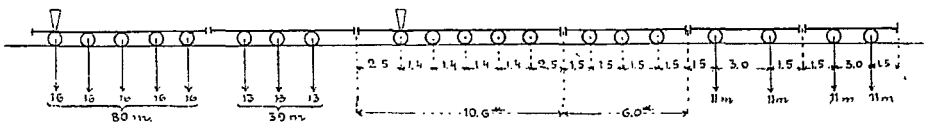


Рис. 4.



При расчетѣ небольшихъ мостовъ, а также продольныхъ и поперечныхъ балокъ, когда на линіи возможнаго нагруженія не устанавливаются 5 осей паровоза, давленіе одной изъ осей, находящейся въ болѣе невыгодномъ положеніи (критическій грузъ), увеличивается до 20 тоннъ.

Венгрія. Послѣднія нормы 1907 г. для главныхъ линій:

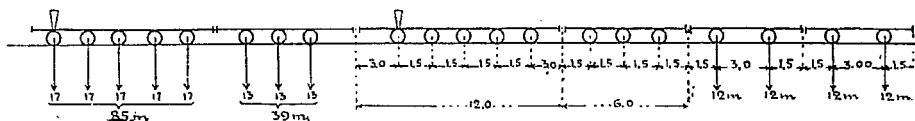


Рис. 5.

Для тѣхъ пролетовъ, гдѣ это окажется болѣе невыгоднымъ, требуется предвидѣть вмѣсто 5-ти осныхъ паровозовъ, 4 оси по 18 т., или 3 оси по 19 т., или, наконецъ, 2 оси по 20 т., при разстояніи между осями въ 1,5 м.

На второстепенныхъ линіяхъ всѣ мосты, за исключеніемъ перекрывающихъ судоходныя рѣки, рассчитываются на поѣздъ изъ двухъ танкъ-паровозовъ, вѣсомъ каждый въ  $4 \times 12 = 48$  тоннъ, при разстояніи между осями въ 1,2 м. и общей длинѣ 8,4 метра, и изъ нормальныхъ вагоновъ вѣсомъ 24 т.

Германія. Прусскія нормы 1903 г., принятыя почти во всей Германіи:

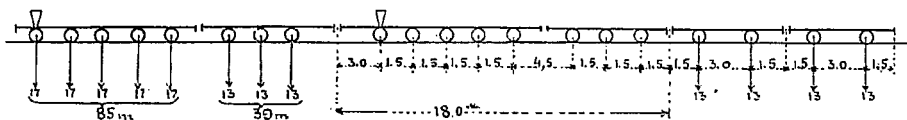


Рис. 6.

Для мостовъ малыхъ пролетовъ и для проѣзжей части разсматривается, кромѣ того, дѣйствіе или одной оси въ 20 т., или двухъ осей по 20 т. или трехъ осей по 19 т., или четырехъ осей по 18 т., причѣмъ разстояніе между осями во всѣхъ случаяхъ принимается въ 1,5 м.

Италія. Нормами 1909 года для главныхъ линій установлены два типа поѣзда: нормальный и особо тяжелый для линій съ большимъ движеніемъ и большими подъемами.

Нормальный поѣздъ:

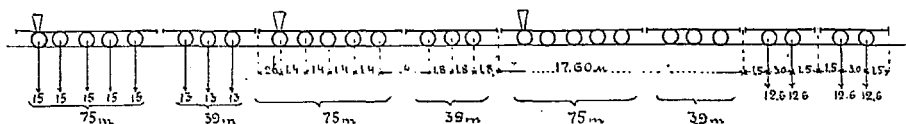


Рис. 7.

Особо тяжелый поѣздъ:

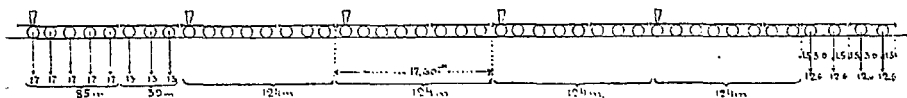


Рис. 8.

Кромѣ этого, предписано, въ случаяхъ, гдѣ это окажется болѣе невыгоднымъ, разсматривать дѣйствіе или одной оси въ 21 т., или трехъ осей по 18 тон. съ разстояніемъ въ 1,5 м.

Россія. Нормы 1907 г. для всѣхъ ширококолейныхъ линій:

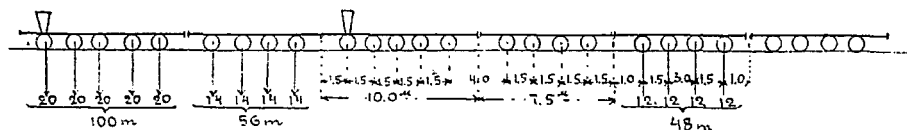


Рис. 9.

Франція. Во Франціи еще дѣйствуютъ отчасти устарѣвшія нормы 1891 г., по которымъ металлическіе мосты должны быть разсчитаны на нагрузку отъ поѣзда дѣйствительно обращающагося на дорогѣ и на нагрузку нормальнымъ поѣздомъ слѣдующаго состава:

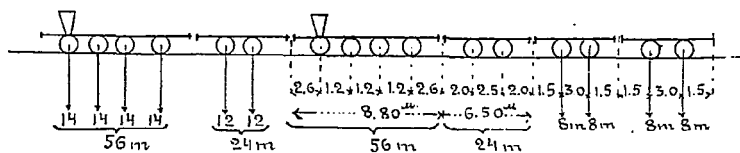


Рис. 10.

Кромѣ того, по тѣмъ же нормамъ принимается въ разсчетъ дѣйствіе одной оси въ 20 т.

Въ дѣйствительности Сѣверныя желѣзныя дороги при разсчетахъ мостовъ пролетомъ до 20 м. нормальную нагрузку увеличи-

ваютъ на 30%, а для мостовъ пролетомъ свыше 25 м. — на 40% и вмѣсто отдѣльной оси въ 20 т. разсматриваютъ дѣйствіе одной оси вѣсомъ въ 25 т. Другія дороги производятъ расчеты мостовъ большею частью на наиболѣе тяжелый подвижной составъ, обращающійся на дорогѣ въ данное время.

Сравненіе приведенныхъ выше нормъ нагрузокъ, установленныхъ въ главнѣйшихъ европейскихъ государствахъ, по отдѣльнымъ давленіямъ на ось, или по общимъ вѣсамъ паровозовъ и тендеровъ, не можетъ служить правильною оцѣнкою нормъ. Поэтому ниже представлены два графика равномерныхъ нагрузокъ, эквивалентныхъ по своему дѣйствию нагрузкамъ паровозами, тендерами и вагонами, согласно указаннымъ нормамъ, и рассчитанныхъ для разныхъ пролетовъ по невыгоднѣйшему положенію поѣзда. Пользуясь этими графиками легко видѣть, для какихъ пролетовъ и какія именно нормы являются менѣе выгодными другихъ.

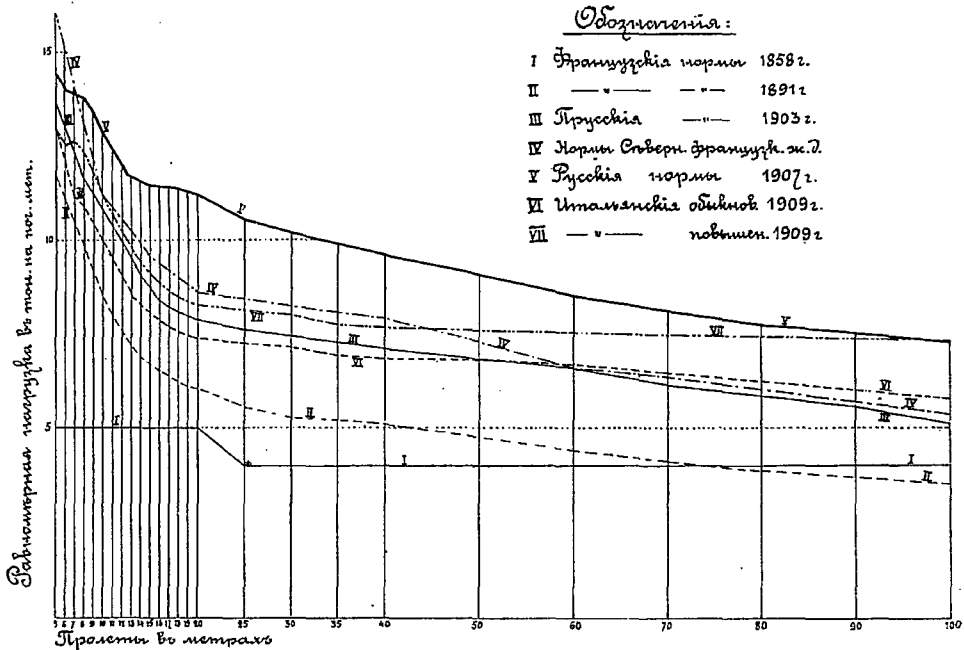


Рис. 11. Графикъ эквивалентныхъ нагрузокъ для изгибающихъ моментовъ.

На каждомъ изъ графиковъ нанесено 7 линій соотвѣтствующихъ вѣсамъ вышеприведеннымъ нормамъ, за исключеніемъ

венгерскихъ, такъ какъ послѣднія довольно близко подходятъ къ прусскимъ нормамъ 1903 г.

На обоихъ графикахъ линіи нагрузокъ по русскимъ нормамъ оказываются расположенными выше всѣхъ другихъ. И только для малыхъ пролетовъ до 7 м. изгибающій моментъ по нормамъ

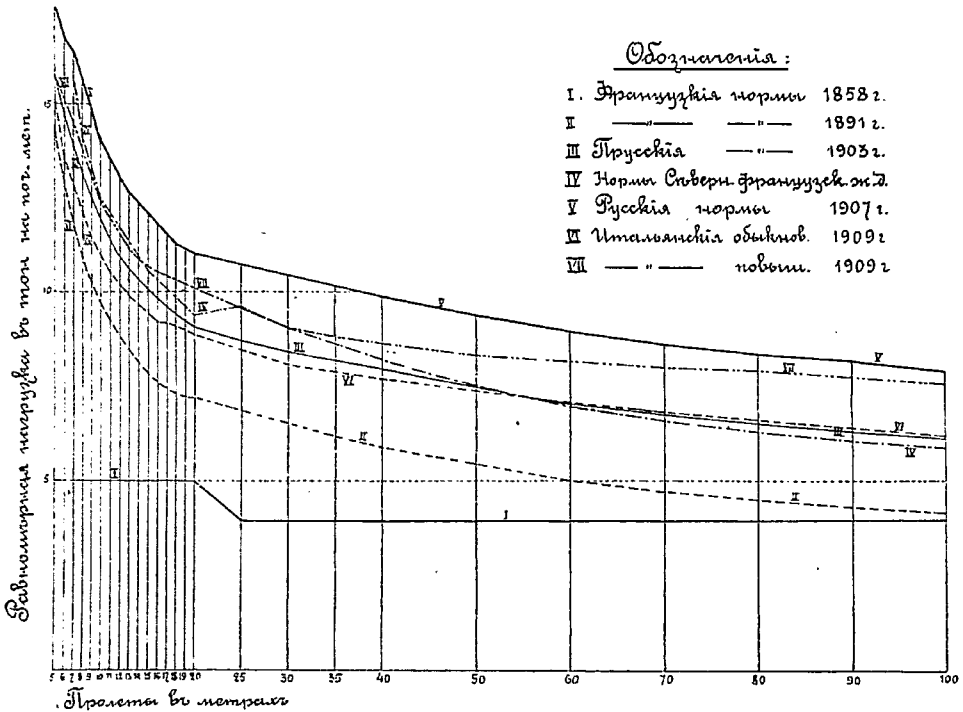


Рис. 12. Графикъ эквивалентныхъ нагрузокъ для поперечныхъ силъ.

французскихъ Сѣверныхъ желѣзныхъ дорогъ, а для пролета въ 100 м. — по Итальянскимъ повышеннымъ нормамъ, получается больше, чѣмъ по русскимъ. Но въ общемъ русскія нормы значительно выше всѣхъ остальныхъ, и для среднихъ пролетовъ отъ 25 до 70 метровъ это превышеніе составляетъ отъ 25 до 10%.

Кромѣ подвижной нагрузки оффиціальными нормами устанавливаются опредѣленные данныя для учета вліянія вѣтра, центробѣжной силы, боковыхъ колебаній подвижного состава, температуры и др., но эти послѣднія нормы имѣютъ меньшее значеніе, и потому подробныхъ данныхъ о нихъ не приводится.

§ 4. Нормы напряженій. Переходя теперь къ обзору нормъ допускаемыхъ напряженій для металла мостовъ, слѣдуетъ отмѣ-

тить, что въ началѣ постройки металлическихъ мостовъ теорія расчета ихъ переживала экспериментальный періодъ и только еще созидалась. Первые курсы расчета металлическихъ мостовъ были изданы только въ концѣ пятидесятихъ годовъ прошлаго вѣка (1857 г.— „Traité de la construction des ponts métalliques“, M-rs Molinos et Pronnier, и „Bau der Brückenträger“, Laissle und Schübler), а примѣненіе предложенныхъ ими методовъ вошло въ жизнь, вѣроятно, не ранѣе начала шестидесятихъ годовъ. Поэтому первые нормы допускаемыхъ напряженій были установлены официально лишь въ 1860 году (въ Пруссіи), причемъ предѣльное напряженіе для сварочнаго желѣза было установлено въ 735 кг./см<sup>2</sup>. для всѣхъ частей мостового сооруженія безъ различія. Различныя напряженія для главныхъ фермъ малыхъ и большихъ пролетовъ, а также для балокъ проѣзжей части, были установлены лишь въ семидесятихъ годахъ (русскія и голландскія нормы 1875 г., французскія нормы 1877 г. и др.), когда, повидимому, вопросъ о различіи въ работѣ отдѣльныхъ частей моста и о большемъ вліяніи подвижной нагрузки на мосты малыхъ пролетовъ былъ выясненъ въ достаточной степени.

Въ настоящее время въ главнѣйшихъ европейскихъ государствахъ функционируютъ слѣдующія нормы допускаемыхъ напряженій:

Австрія. Нормы 1904 г.:

Обозначеніе нагрузки и родъ напряженія.	Допускаемое напряженіе въ кг/см <sup>2</sup> .	
	Сварочное желѣзо.	Литое желѣзо.
А) Если не приняты во вниманіе вѣтеръ и боковыя колебанія отъ подвижнаго состава.		
1) На растяженіе и сжатіе		
для пролетовъ отъ 0 до 10 м. . . . .	700 + 2l	750 + 2l
„ 10 „ 20 „ . . . . .	700 + 2l	760 + 4l
„ 20 „ 40 „ . . . . .	700 + 2l	800 + 2l
„ 40 „ 80 „ . . . . .	720 + 1,5l	840 + l
„ 80 „ 120 „ . . . . .	720 + l	840 + l
„ 120 и выше „ . . . . .	820 + 0,5l	840 + l
наивысшіе . . . . .	900	1000

Обозначеніе нагрузки и родъ напряженія.	Допускаемое напряжение кг./см <sup>2</sup> .	
	Сварочное желѣзо.	Литое желѣзо.
2) Заклепки:		
а) на срѣзываніе.....	600	700
б) на смятіе.....	1400	1600
В) Если приняты во вниманіе вѣтеръ и боковыя колебанія:		
3) На растяженіе и сжатіе.....	1000	1200
4) Заклепки:		
а) на срѣзываніе.....	700	800
б) на смятіе.....	1600	1800

Венгрія. Нормы 1907 г.:

Родъ напряженія.	Допускаемое напряжение въ кг/см <sup>2</sup> .	
	Сварочное желѣзо.	Литое желѣзо.
На растяженіе для главныхъ фермъ поперечныхъ и продольн. балокъ... $R_0$	1100	1200
На рястяженіе для связей и поперечныхъ распорокъ..... $R_0$	900	1100

На скальваніе  $0,8 R_0$ . Для заклепокъ, прикрѣпляющихъ продольныя балки къ поперечнымъ  $R_t = 0,5 R_0$ , если же продольныя балки сосѣднихъ панелей связаны между собой особыми накладками (рыбками), тогда  $R_t = 0,8 R_0$ . На смятіе допускается  $R_s = 2,2 R_0$ .

Для сжатыхъ частей допускаемое напряженіе опредѣляется

по формуламъ, составленнымъ на основаніи опытовъ Тетмайера, а именно:

Для главныхъ фермъ и продольныхъ балокъ:

при  $\lambda \leq 100$                       при  $\lambda > 110$

для литого желѣза  $R_k = 1200 - 5,5\lambda$                       и  $R_k = \frac{7100000}{\lambda^2}$

для сварочн. желѣза  $R_k = 1100 - 5\lambda$                       и  $R_k = \frac{6600000}{\lambda^2}$

Для связей и распорокъ:

для литого желѣза  $R_k = 1000 - 4,6\lambda$                       и  $R_k = \frac{4900000}{\lambda^2}$

для сварочн. желѣза  $R_k = 900 - 4,1\lambda$                       и  $R_k = \frac{5400000}{\lambda^2}$

Въ этихъ формулахъ  $\lambda$  равно отношенію длины элемента къ радіусу инерціи его сѣченія —  $\lambda = \frac{l}{\sqrt{\frac{J}{\omega}}}$ .

Приведенныя величины основного допускаемаго напряженія  $R_0$  назначены при условіи принятія во вниманіе ударнаго коэффиціента для подвижной нагрузки, какъ указано на стр. 8.

Германія. Прусскія нормы 1903 г.:

1) Для литого желѣза въ частяхъ главныхъ фермъ, сплошныхъ и сквозныхъ, пролетомъ болѣе 10 метровъ, на растяженіе и сжатіе допускается:

для пролета до	20	40	80	120	160	200 м.
а) безъ вѣтра	850	900	950	1000	1050	1100 кг/см <sup>2</sup> .
б) при вѣтрѣ	1000	1050	1100	1150	1200	1250 „

Сжатые части повѣряются на продольный изгибъ по формулѣ Эйлера при наименьшемъ пятикратномъ запасѣ прочности.

2) Для сплошныхъ фермъ пролетомъ до 10 м. для литого желѣза допускается 800 кг/см<sup>2</sup>, а для сварочнаго—750 кг/см<sup>2</sup>.

3) Для поперечныхъ и продольныхъ балокъ: а) при укладкѣ пути на балластѣ допускаются тѣ же напряженія, что и для главныхъ фермъ; б) при укладкѣ пути на деревянныхъ попере-

чинахъ допускаются для литого желѣза 750 кг/см<sup>2</sup>. и для сварочнаго 700 кг/см<sup>2</sup> и в) при укладкѣ пути на металлическихъ поперечинахъ, или непосредственно на продольныхъ балкахъ—для литого желѣза 700 кг/см<sup>2</sup>. и для сварочнаго 650 кг/см<sup>2</sup>.

4) Для вѣтровыхъ и поперечныхъ связей допускаются тѣ же нормы, что и для главныхъ фермъ при вѣтрѣ (п. 1, б.) но обусловлено наименьшее сѣченіе для вѣтровыхъ связей полосовое—80 × 10 мм. и для поперечныхъ связей угловое 70 × 70 × 10 мм.

5) Для заклепокъ въ частяхъ главныхъ фермъ допускаются: а) на срѣзываніе тѣ же напряженія, что и для главныхъ фермъ изъ сварочнаго желѣза безъ вѣтра, т.-е. 90% отъ указанныхъ въ пунктѣ 1, б; б) на смятіе вдвое болѣе, чѣмъ на срѣзываніе.

На срѣзываніе заклепокъ въ прикрѣпленіяхъ продольныхъ и поперечныхъ балокъ допускается на 50 кг/см<sup>2</sup>. менѣе основного напряженія для этихъ балокъ (пун. 2 и 3).

Италія. Нормы 1909 г.:

Для мостовъ и путепроводовъ на одинъ путь основное напряженіе въ кг/см<sup>2</sup>.

Для пролета <i>L</i>	Со сплошной стѣнкой.				Со сквозной стѣнкой.			
	Сварочное желѣзо.		Литое желѣзо.		Сварочное желѣзо.		Литое желѣзо.	
	Безъ вѣтра.	Съ вѣтр.	Безъ вѣтра.	Съ вѣтр.	Безъ вѣтра.	Съ вѣтр.	Безъ вѣтра.	Съ вѣтр.
	<i>R</i>	<i>R'</i>	<i>R</i>	<i>R'</i>	<i>R</i>	<i>R'</i>	<i>R</i>	<i>R'</i>
5	600	650	700	750	600	650	700	750
10	700	750	800	850	650	700	750	800
20	750	800	900	950	700	750	850	900
40	800	850	1000	1050	750	800	950	1000
80	—	—	—	—	800	900	1000	1100
160 и болѣе	—	—	—	—	850	1000	1050	1200

Для пролетовъ, не указанныхъ въ таблицѣ, допускаемое напряженіе опредѣляется интерполированіемъ.



Для поперечныхъ связейъ допускается:

	Безъ вѣтра.	При вѣтрѣ.
Для литого желѣза . . . . .	800 кг/см <sup>2</sup> .	900 кг/см <sup>2</sup> .
Для сварочнаго желѣза . . . . .	700 „	800 „

На скалываніе стѣнки и на перерѣзываніе заклепокъ допускается 0,7 отъ основного напряженія  $R$  или  $R'$ . При чемъ для заклепокъ, подверженныхъ дѣйствію силы съ постояннымъ направлениемъ и знакомъ, напряженіе на срѣзываніе можетъ быть повышено на 100 кг/см<sup>2</sup>. противъ указаннаго. На смятіе заклепокъ допускается 2,5  $R$  или 2,5  $R'$ .

Россія. Нормы 1905 г. для литого желѣза:

- 1) для главныхъ фермъ и связейъ основное напряженіе:
  - а) безъ вѣтра—750 + 2  $l$  кг./см.<sup>2</sup>, но не болѣе 1050 кг./см.<sup>2</sup>
  - б) при вѣтрѣ—750 + 4  $l$  „ но не болѣе 1250 „
- 2) для провѣзжей части—750 кг./см.<sup>2</sup>
- 3) для заклепокъ:
  - а) въ фермахъ и связяхъ 0,8 отъ основного но не свыше 735 и 833 кг./см.<sup>2</sup>
  - б) въ провѣзжей части, въ соединеніяхъ составныхъ частей продольныхъ и поперечныхъ балокъ 643 кг./см.<sup>2</sup>, а въ прикрѣпленіяхъ балокъ — 536 кг./см.<sup>2</sup>

Франція. Нормы допускаемыхъ напряженій 1891 г.

для литого желѣза . . .	850 кг./см. <sup>2</sup>
„ сварочнаго . . . . .	650 „
„ чугуна на растяженіе.	150 „
„ „ на изгибъ . . . . .	250 „
„ „ на сжатіе . . . . .	600 „

Для сжатовытянутыхъ частей:

изъ литого желѣза . . .	600 кг./см. <sup>2</sup>
„ сварочн. „ . . . . .	400 „

Для мостовъ пролетомъ свыше 30 м. могутъ быть взяты болѣе высокія нормы напряженій, но во всякомъ случаѣ не свыше 1150 кг./см.<sup>2</sup> для литого желѣза и 850 кг./см.<sup>2</sup> для сварочнаго.

При совмѣстномъ дѣйствіи вертикальной нагрузки и вѣтра означенныя нормы повышаются на 100 кг./см.<sup>2</sup>

Для проѣзжей части при литомъ желѣзѣ допускается 750 кг./см.<sup>2</sup>, а при сварочномъ 550 кг./см.<sup>2</sup>

Для заклепокъ на срѣзываніе допускается 0,8 отъ основнаго, а при работѣ на отрываніе заклепокъ не свыше 400 кг./см.<sup>2</sup>

Для удобства сравненія приведенныхъ нормъ допускаемыхъ напряженій ниже представленъ графикъ основныхъ напряженій для главныхъ фермъ изъ литого желѣза, при расчетѣ ихъ на работу исключительно отъ вертикальной нагрузки. Венгерскія нормы на графикѣ не представлены, такъ какъ для приведенія ихъ къ сравнимому виду требуется знать соотношеніе между постоянной нагрузкой и временной для венгерскихъ мостовъ различныхъ пролетовъ.

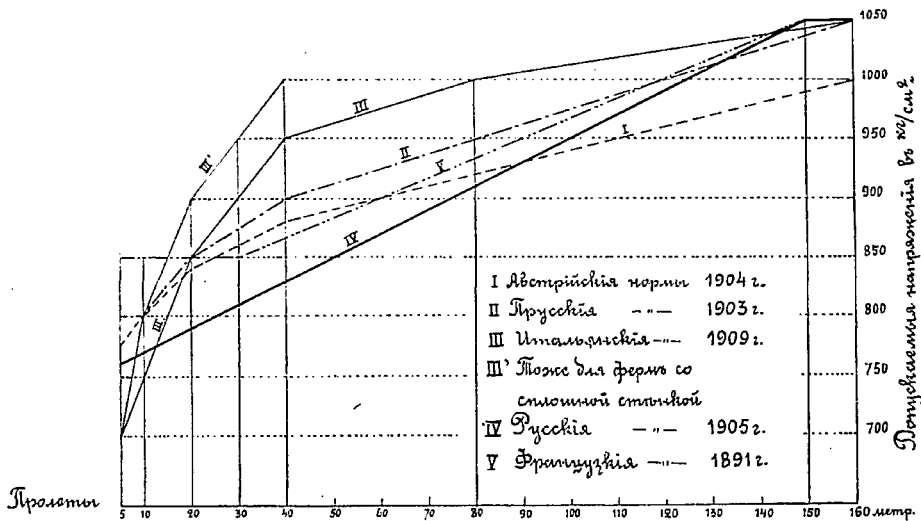


Рис. 13. Графикъ основныхъ допускаемыхъ напряженій для литого желѣза.

Въ противоположность графику нагрузокъ линія русскихъ нормъ оказывается одной изъ низкихъ: ниже ея итальянскія до пролета 13 метр., и австрійская отъ 90 метр. и болѣе. Для наиболѣе употребительныхъ для желѣзныхъ мостовъ пролетовъ отъ 13 до 90 метровъ русскія нормы допускаемыхъ напряженій ока-

зываются наимизшими при наивысшей въ то же время (изъ европейскихъ) подвижной нагрузкѣ.

Это обстоятельство указываетъ, что коэффициентъ запаса прочности для русскихъ мостовъ по сравненію съ мостами другихъ государствъ значительно больше, въ среднемъ, примѣрно на 20%. Если же принять во вниманіе, что дѣйствительный вѣсъ нашихъ паровозовъ и вагоновъ въ общемъ ниже, чѣмъ въ другихъ европейскихъ государствахъ, скорости же движенія значительно менѣе, то нельзя не признать излишнюю преувеличенность осторожности въ проектированіи нашихъ желѣзнодорожныхъ мостовъ. Что же касается полезности учета оффиціальными нормами будущаго увеличенія вѣса подвижного состава, то не надо забывать, что излишне высокія нормы нагрузокъ при низкихъ въ то же время нормахъ допускаемыхъ напряженій вызываютъ довольно значительныя затраты, въ первое время эксплуатаціи сооруженія являющіяся совершенно непроизводительными. По прошествіи извѣстнаго числа лѣтъ, когда вѣсъ паровозовъ и вагоновъ достигнетъ предвидѣнной нормами величины, затраты эти получатъ оправданіе, но къ тому времени сумма процентовъ на излишне затраченный капиталъ можетъ оказаться настолько высокою, что выгоднѣе было бы именно тогда усилить или замѣнить старыи мостъ новымъ, нежели затрачивать лишній капиталъ въ началѣ эксплуатаціи. Наши облигаціонныя желѣзнодорожныя займы заключаются въ среднемъ изъ  $5\frac{1}{2}$ —6%. При этомъ размѣръ процентовъ капиталъ, отданный въ ростъ по сложнымъ процентамъ, утраивается черезъ 21—19 лѣтъ и учетверяется черезъ 24—26 лѣтъ. Слѣдовательно, если мостъ, спроектированный для нагрузокъ, значительно превосходящихъ наибольшія дѣйствительно обращающіяся на линіи, будетъ стоить дороже моста, удовлетворяющаго послѣднимъ нагрузкамъ, процентовъ на 30—40, то излишнія затраты на болѣе сильный мостъ окажутся полезными только въ томъ случаѣ, когда вѣсъ подвижного состава достигнетъ до повышенныхъ нормъ не позже какъ въ 15 лѣтъ; въ противномъ же случаѣ, при достиженіи подвижной нагрузкой указанныхъ нормъ не ранѣе какъ черезъ 20 лѣтъ, затраты на постройку болѣе сильнаго моста не могутъ быть оправданы, такъ какъ при этихъ условіяхъ оказывается болѣе выгодной постройка первоначально легкаго моста съ послѣдующей замѣной его новымъ съ прочностью, соотвѣтствующей увеличившемуся вѣсу подвижного состава.

Кромѣ того нельзя не упомянуть объ обращающемъ вниманіе при разсмотрѣніи сравнительнаго графика недостаткѣ нашихъ нормъ допускаемыхъ напряженій—объ измѣненіи ихъ по закону прямой, тогда какъ въ другихъ государствахъ, по крайней мѣрѣ, для пролетовъ до 40 метровъ линія допускаемыхъ напряженій имѣеть параболическій видъ, соотвѣтственно степени вліянія подвижной нагрузки на мостъ.

### III. Усиленіе мостовъ.

#### § 5. Общія соображенія.

Увеличеніе вѣса подвижнаго состава, обращающагося на желѣзнодорожныхъ линіяхъ, обнаруженіе недостатковъ старой конструкции, а главное бывшіе случаи крушеній металлическихъ желѣзнодорожныхъ мостовъ (у Мюнхенштейна въ Швейцаріи въ 1891 г., черезъ Мораву въ Сербіи, черезъ р. Тэй въ Англіи) понудили всѣ желѣзнодорожныя управленія обратить вниманіе на выясненіе вопроса, насколько существующіе мосты удовлетворяють условіямъ безопасности при современномъ подвижномъ составѣ. Произведенные для этого расчеты въ большинствѣ случаевъ показали, что напряженія въ нѣкоторыхъ, а иногда и во всѣхъ элементахъ существующихъ мостовъ, рассчитанныя по тѣмъ же принципамъ, по которымъ составляются расчеты новыхъ мостовъ, значительно превосходятъ нормы допускаемыхъ напряженій, обязательныя въ это время для новыхъ. Особенно сильное увеличеніе расчетнаго напряженія наблюдается въ элементахъ проѣзжей части мостовъ, такъ какъ именно на нихъ больше всего отражается увеличеніе давленія отъ паровозныхъ осей.

Самъ по себѣ фактъ превышенія расчетныхъ напряженій надъ допускаемыми еще не указываетъ, конечно, на опасное для желѣзнодорожнаго движенія состояніе моста, такъ какъ въ этомъ отношеніи можетъ имѣть значеніе лишь степень этого превышенія. Для обоснованнаго установленія той или иной допускаемой степени превышенія расчетнаго напряженія, или лучше максимальнаго отношенія этого напряженія къ предѣлу упругости матеріала моста, необходимо было бы знать, насколько именно наши теперешніе расчеты мостовъ приближаются къ дѣйствительности, другими словами, такова дѣйствительная степень прочности со-

оруженій, расчитанныхъ по практикуемымъ нами методамъ. Но такъ какъ при настоящемъ положеніи строительной механики вопросъ этотъ не можетъ быть еще рѣшенъ съ достаточной точностью, то при установленіи допускаемой степени превышенія расчетнаго напряженія надъ обычными нормами различныя желѣзнодорожныя управленія исходятъ изъ разныхъ соображеній, и тогда какъ одни считаютъ недопустимымъ превышеніе установленнаго допускаемаго напряженія свыше 20%, другіе свободно допускаютъ превышеніе въ 33%, а при принятіи извѣстныхъ мѣръ даже до 100%. Такъ, напримѣръ, по русскимъ и прусскимъ правиламъ не требуется усиленія существующихъ мостовъ только въ томъ случаѣ, если расчетныя напряженія превосходятъ допускаемая не свыше 20%, по венгерскимъ не свыше 25% и по швейцарскимъ на свыше 30%. По правиламъ же французскихъ дорогъ это превышеніе допускается свободно до 33%; кромѣ того, въ случаѣ, если превышеніе составляетъ отъ 33 до 66% по правиламъ Южныхъ дорогъ и отъ 33 до 100% по правиламъ Сѣверныхъ дорогъ, усиленіе моста или замѣна его признается необходимой лишь послѣ испытанія моста и послѣ измѣренія дѣйствительныхъ напряженій въ элементахъ его, и только въ случаѣ превышенія расчетнаго напряженія—болѣе 66% на Южныхъ дорогахъ и 100% на Сѣверныхъ усиленіе или замѣна существующаго моста новымъ признаются необходимыми безусловно.

Самая возможность такой большой расходимости въ нормахъ разныхъ дорогъ относительно допускаемаго увеличенія расчетныхъ напряженій достаточно ярко показываетъ, насколько не выяснена точность производимыхъ нами расчетовъ мостовъ и насколько необходимо производство опытовъ надъ существующими мостами, съ цѣлью выясненія критическихъ нагрузокъ для мостовъ разныхъ системъ и пролетовъ. Единственнымъ возраженіемъ противъ этого могла бы быть выставлена дороговизна этихъ опытовъ. Но если принять во вниманіе тотъ огромнѣйшій капиталъ, который будетъ затраченъ въ болѣе или менѣе продолжительное время на усиленіе или замѣну новыми существующихъ мостовъ на однѣхъ русскихъ желѣзныхъ дорогахъ, то расходъ на опыты надъ существующими мостами представится совершенно незначительнымъ; цѣнность же этихъ опытовъ сама по себѣ можетъ оказаться настолько высокой, что впослѣдствіи, при принятіи во вниманіе результатовъ опытовъ, сокращенія въ расхо-

дахъ по усиленію мостовъ не только покроютъ произведенные на опыты расходы, но еще дадутъ и большія сбереженія капитала.

Что результатомъ указываемыхъ опытовъ явится сокращеніе расходовъ на усиленіе мостовъ, а не увеличеніе, подтверждается практикою свободнаго пропуска тяжелыхъ поѣздовъ по существующимъ мостамъ при значительномъ превышеніи расчетныхъ напряженій противъ принятыхъ нормъ и тѣми немногими опытами надъ опредѣленіемъ критической нагрузки мостовъ, которые производились съ этою цѣлью. Въ докладахъ конгресса имѣются данныя объ одномъ изъ такихъ опытовъ, произведенномъ въ Венгріи надъ мостомъ системы Шведлера пролетомъ 29,5 м. Нѣсколько такихъ мостовъ, существовавшихъ съ 1872 г. на линіи Királyháza-Márgorossziget, въ виду увеличенія вѣса поѣздовъ (эквивалентная нагрузка достигала 5,33 тон./м.) и неудовлетворительнаго качества желѣза, было рѣшено замѣнить новыми. Плохое качество сварочнаго желѣза этихъ мостовъ, установленное наружнымъ осмотромъ, констатировавшимъ множество раковинъ на изогнутыхъ частяхъ и углахъ, подтвердилось и лабораторнымъ испытаніемъ желѣза, показавшимъ временное сопротивленіе на разрывъ вдоль прокатки отъ 33 до 40 кг./мм.<sup>2</sup> при удлиненіи отъ 4 до 12%, а на разрывъ поперекъ прокатки отъ 25,45 до 30,50 кг./мм.<sup>2</sup> при удлиненіи всего лишь въ 1,25 до 2%. Надъ однимъ изъ этихъ старыхъ мостовъ и былъ произведенъ опытъ нагрузки его до разрушенія. Въ видѣ временной статической нагрузки были взяты рельсы, укладывавшіеся на мосту рабочими, пока вѣсъ рельса на погон. метръ моста не достигъ 11,4 тоннъ, соответствовавшихъ нагрузкѣ до предѣла упругости. При этомъ въ концѣ четвертаго дня съ начала загрузенія прогибъ моста былъ опредѣленъ въ 43 мм., или  $\frac{1}{686}$  пролета. Дальнѣйшая нагрузка моста до его разрушенія производилась уже помощью подвижнаго крана и была доведена на восьмой день до 17,4 тон. на пог. метръ. Эта нагрузка и оказалась критической; такъ какъ во время перерыва въ нагруженіи рельсы и послѣдовало крушеніе моста, начавшееся съ выпучиванія среднихъ панелей верхняго пояса. Наибольшій прогибъ, измѣренный передъ крушеніемъ, опредѣленъ въ 77 мм. или  $\frac{1}{383}$  пролета. Такимъ образомъ оказалось, что, несмотря на плохія качества матеріала, мостъ оказался способнымъ вынести статическую нагрузку въ 3,26 раза больше

той, которая была признана для него уже опасной. Если даже принять во вниманіе динамическое дѣйствіе нагрузки отъ поѣзда, то и въ этомъ случаѣ коэффициентъ запаса прочности будетъ равняться  $\frac{3,26}{1,5} = 2,2$ ; но при этомъ не нужно также забывать, что нагрузка поѣздомъ дѣйствуетъ только въ теченіе нѣсколькихъ минутъ, а нагрузка моста рельсами производилась въ теченіи восьми дней.

Какъ было уже упомянуто, при рѣшеніи вопроса о необходимости усиленія существующаго моста не всегда руководствуются только результатами повѣрочнаго расчета, а обращаютъ вниманіе на качество матеріала моста, на цѣлесообразность и качество исполненія конструкціи, на состояніе заклепокъ, особенно въ прикрѣпленіяхъ балокъ проѣзжей части другъ къ другу и къ главнымъ фермамъ, и на величину прогиба моста отъ той нагрузки, которая считается предѣльной для даннаго моста.

Когда изслѣдованіемъ моста и повѣрочнымъ расчетомъ убѣждаются въ непригодности его для пропуска тяжелаго подвижнаго состава, потребность введенія котораго на участкѣ, гдѣ расположенъ разсматриваемый мостъ, вызывается общими условіями развитія движенія на дорогѣ, возникаетъ вопросъ о необходимости усиленія существующаго моста или о замѣнѣ его новымъ. Рѣшающимъ факторомъ въ вопросѣ, слѣдуетъ ли предпочесть усиленіе моста или замѣну новымъ, является главнымъ образомъ стоимость работъ въ томъ и другомъ предположеніи, а также общее состояніе стараго моста. Стоимость пуда металла при усиленіи обходится въ 1,5—3 раза дороже стоимости металла новаго моста, поэтому, если для усиленія моста требуется металла свыше 35% отъ вѣса новаго моста, то обычно предпочитаютъ замѣну стараго моста новымъ. Однако, общаго рѣшенія даннаго вопроса не можетъ быть, такъ какъ оно зависитъ отъ многихъ побочныхъ условій, и въ каждомъ данномъ случаѣ правильное рѣшеніе можетъ быть найдено только посредствомъ сравненія двухъ параллельныхъ подсчетовъ стоимости работъ въ одномъ и другомъ предположеніи.

Въ нѣкоторыхъ докладахъ объ усиленіи мостовъ приведены подробныя свѣдѣнія о стоимости заграничныхъ работъ по усиленію мостовъ, напр., въ докладахъ гг. Maurer'a и Randich'a, но для насъ эти свѣдѣнія особаго значенія имѣть не могутъ, и поэтому я приведу здѣсь только цѣны, сообщенныя нѣкоторыми русскими

дорогами на работы, производившіяся въ послѣднее время. Такъ, по даннымъ Сѣверо-Западныхъ дорогъ 1 пудъ металла при усиленіи обходился отъ 4 до 5 руб., а при поставкѣ новыхъ мостовъ, отъ 2,70 до 3 руб., слѣдовательно, стоимость усиленія была на 48 — 67% дороже; по даннымъ Южныхъ дорогъ и Сызрано-Вяземской стоимость усиленія мостовъ опредѣляется отъ 6 до 8 рублей за пудъ новаго металла.

Усиленіе существующихъ мостовъ производится разнообразными способами въ зависимости отъ типа моста; степени усиленія и мѣстныхъ условий. Чаще всего производится усиленіе проѣзжей части, вѣтровыхъ и поперечныхъ связей, а затѣмъ усиленіе стыковъ и прикрѣпленій отдѣльных частей въ главныхъ фермахъ со сплошной и сквозной стѣнкой. Для усиленія преимущественно пользуются литымъ желѣзомъ, хотя бѣльшая часть старыхъ усиливаемыхъ мостовъ построена изъ сварочнаго желѣза.

Всѣ примѣняемые способы усиленія мостовъ, о которыхъ приведены данныя въ докладахъ конгрессу, могутъ быть подраздѣлены на слѣдующія главнѣйшія группы:

- 1) Увеличеніе сѣченій отдѣльных частей.
- 2) Измѣненіе системы мостовыхъ балокъ.
- 3) Увеличеніе числа балокъ.
- 4) Измѣненіе способа передачи нагрузки.
- 5) Устройство дополнительныхъ опоръ.
- 6) Обращеніе простой металлической конструкціи въ желѣзо-бетонную.

Усиленіе проѣзжей части мостовъ производится способами, указанными въ первыхъ трехъ группахъ, а усиленіе связей—по способамъ, указаннымъ въ первыхъ двухъ группахъ.

Описаніе различныхъ способовъ усиленія приводится ниже въ порядкѣ обычной постепенности усиленія мостовъ, а именно: сперва описывается усиленіе проѣзжей части, затѣмъ усиленіе связей и, наконецъ, усиленіе главныхъ фермъ.

## А) Усиленіе проѣзжей части.

§ 6. Способы усиленія проѣзжей части въ значительной степени зависятъ отъ того, требуется ли произвести усиленіе безъ перерыва движенія по мосту, или же на время производства работъ по усиленію движеніе по мосту можетъ быть прекращено.



Въ первомъ случаѣ примѣняются такіе способы, при выполненіи которыхъ связь между составными частями существующаго сѣченія нарушается только на короткое время и не по всей длинѣ балки; во второмъ же случаѣ послѣднее условіе не имѣетъ значенія.

Увеличеніе сѣченія сплошныхъ продольныхъ и поперечныхъ балокъ производится наклепкою горизонтальныхъ листовъ на пояса балокъ и уголковъ съ вертикальными или горизонтальными листами на стѣнку, какъ указано на рис. 14, 15, 16 и 17.

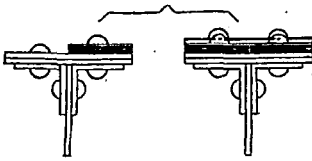


Рис. 14.

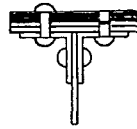


Рис. 15.

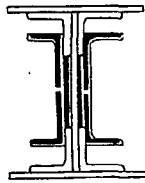


Рис. 16.

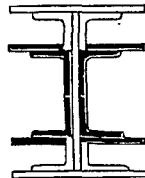


Рис. 17.

Если усиливаемыя балки не имѣли горизонтальныхъ листовъ, то наклепываніе таковыхъ не представляетъ особыхъ затрудненій и безъ прекращенія движенія по мосту. При наличіи же старыхъ горизонтальныхъ листовъ наклепка новыхъ производится двумя особыми способами. Наиболѣе простымъ и надежнымъ является способъ разрѣзки вдоль требующихся листовъ пополамъ и отдѣльнаго наклепыванія на балку каждой половины (см. рис. 14). Для этого сперва срубается и удаляется одинъ рядъ заклепокъ въ горизонтальныхъ листахъ, затѣмъ накладывается одна половинка новыхъ листовъ и по возможности въ промежутокъ между поѣздами эта половинка пояса склепывается. Для увеличенія сопротивленія скалыванію пояса, до постановки новыхъ заклепокъ взамѣнъ удаленныхъ, рекомендуется заполнять свободныя отверстія болтами или штырями. По окончаніи склепыванія первой половины, срубаютъ заклепки второго ряда и въ томъ же порядкѣ приклепываютъ остальную часть новыхъ листовъ. Для связи между обѣими

половинками новых листовъ, черезъ извѣстные промежутки наклепываются короткія накладки. Второй способъ (рис. 15) разръзки наклепываемыхъ листовъ не требуетъ и состоитъ въ томъ, что сначала всѣ обыкновенныя вертикальныя заклепки, расположенныя на длинѣ новыхъ листовъ, замѣняются заклепками съ потайными головками, послѣ чего накладываются новые листы съ заранее приготовленными отверстиями, заклепки съ потайными головками постепенно удаляются и замѣняются новыми обычнаго типа. Способъ этотъ очень дорогой въ виду двойного склепыванія и расклепыванія и, кромѣ того, вызываетъ сомнѣнія въ достаточности прочности на скалываніе при потайныхъ заклепкахъ.

Усиленіе по способамъ, указаннымъ на рис. 16 и 17, совершенно не требуетъ замѣны поясныхъ заклепокъ другими и можетъ быть произведено, не снимая полотна. Но недостатокъ этихъ способовъ заключается въ малой степени использования новаго матеріала, въ виду расположенія его вблизи нейтральной оси сѣченія.

Въ случаѣ укладки пути на мосту на балластѣ и наличія, напр., сплошнаго лоткового настила, примѣненіе указанныхъ способовъ симметричнаго усиленія балокъ безъ перерыва движенія затруднительно, и поэтому здѣсь примѣняется обычно подклепываніе къ нижнему поясу, или стѣнкѣ усиливаемыхъ балокъ, новыхъ элементовъ различныхъ профилей, какъ указано на рис. 18 — 24. При короткихъ промежуткахъ времени между поѣздами ограничиваются постановкою во время перерыва лишь нѣсколькихъ паръ заклепокъ на обоихъ концахъ и посерединѣ балки (напр., при усиленіи поперечныхъ балокъ путепроводовъ и эстакадъ Берлинскаго метрополитена ставилось по 5 паръ заклепокъ на концахъ и 3 пары въ серединѣ), остальные же заклепки ставятся и при проходѣ поѣзда.



Рис. 18.



Рис. 19.



Рис. 20.



Рис. 21.



Рис. 22.



Рис. 23.



Рис. 24.

Кромѣ непосредственнаго увеличенія сѣченія, продольныя и поперечныя балки усиливаются шпирелями, устраиваемыми для продольныхъ балокъ самостоятельно, а для поперечныхъ, при ѣздѣ

поверху, большею частью соответствующимъ измѣненіямъ системы поперечныхъ связей. Примѣръ усиленія продольныхъ балокъ шпренгелями, осуществленный на мостѣ черезъ Днѣпръ у Кременчуга на Харьковско-Николаевской ж. д., имѣющемъ 11 пролетовъ по 41 сажени, представленъ на рисункахъ 25 и 26. Всѣ новыя части, поставленныя при усиленіи, показаны на этихъ рисункахъ пунктиромъ. Крестовое сѣченіе стоекъ и тавровое тяжей

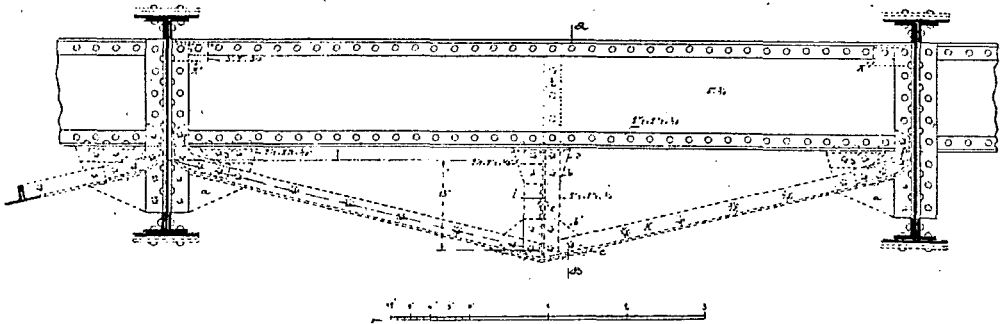


Рис. 25.

шпренгеля составлено изъ 2-хъ уголковъ  $2\frac{1}{2}'' \times 2\frac{1}{2}'' \times \frac{3}{8}''$ . Для увеличенія сопротивленія продольныхъ балокъ на срѣзываніе на опорѣ, стыки уголковъ тяжей и вертикальныхъ уголковъ, прикрѣпляющихъ продольную балку къ поперечной, перекрыты особыми уголками (*f*). Для перекрытія стыка уголковъ верхняго

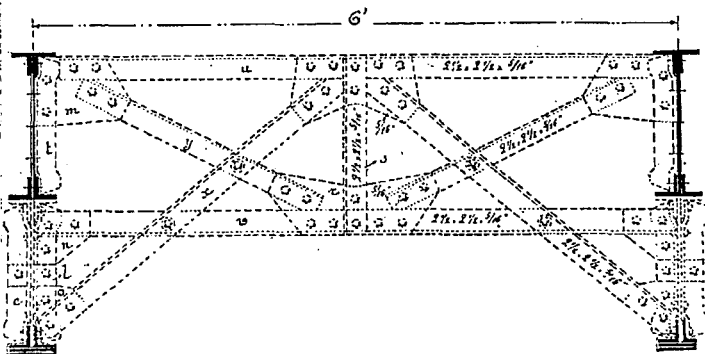


Рис. 26.

пояса балки съ вертикальными предполагалась постановка уголковъ  $3'' \times 2'' \times \frac{3}{8}''$  (*k'*), но затѣмъ это было признано необязательнымъ. Несмотря на длину панели около 9,5 фута, продольныя

балки не имѣли ни уголково́й жесткости, ни поперечныхъ связей, поэтому одновременно со шпренгелями, какъ указано на рис. 26, были поставлены довольно сильныя поперечныя связи изъ уголковъ  $2\frac{1}{2}'' \times 2\frac{1}{2}'' \times \frac{5}{16}''$ .

Примѣръ усиленія шпренгелемъ поперечной балки моста представленъ на рис. 27, 28 и 29, иллюстрирующихъ усиленіе моста через р. Pescaга на линіи Pescaга—Sulmona Итальянскихъ ж. д. Поперечныя балки этого моста имѣютъ коробчатое сѣченіе состоящее изъ вертикальнаго листа и двухъ уголковъ. Усиленіе сѣченія балки второй парой уголковъ требовало смѣны всѣхъ существующихъ заклепокъ и не могло быть исполнено безъ пол-

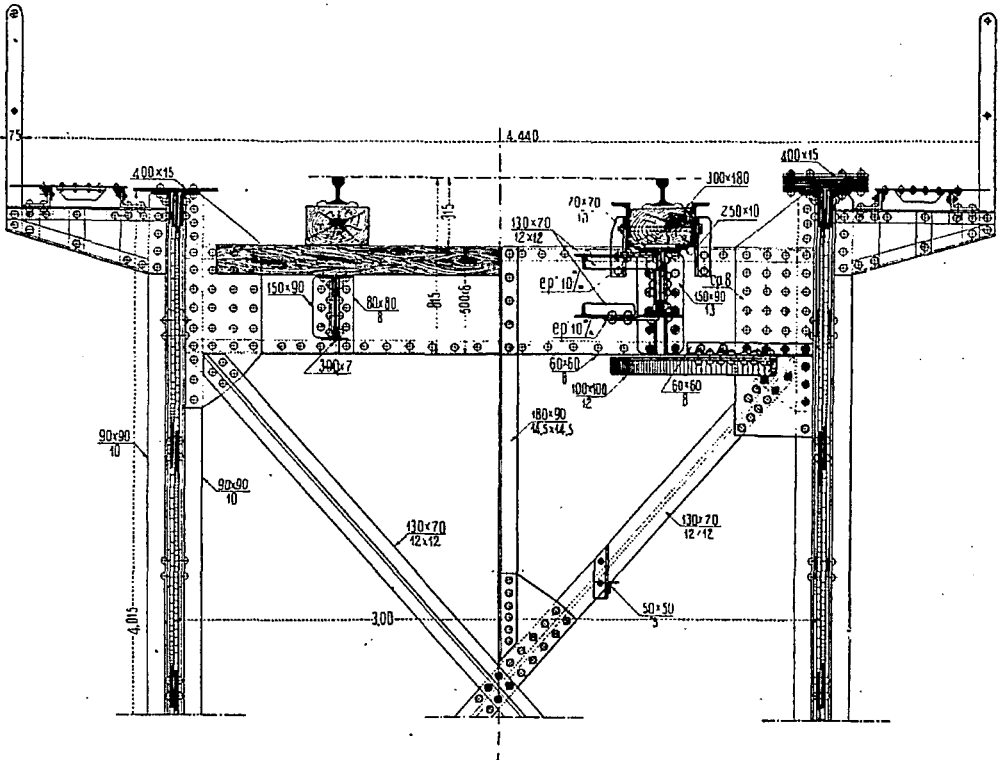


Рис. 27. Разрѣзъ по АВ (до усиленія).

Рис. 28. Разрѣзъ по CD (послѣ усиленія).

наго разгруженія балки, а, кромѣ того, было и недостаточно. Поэтому рѣшено было 'усилить балку устройствомъ промежуточной опоры въ видѣ подпорной стойки тавроваго сѣченія изъ 2-хъ

уголковъ  $180 \times 90 \times 14,5$  мм., образующей вмѣстѣ съ верхними половинками диагоналей поперечныхъ связей вспомогательный шпренгель. Такъ какъ поперечныя связи до усиленія моста были не подъ каждой поперечною балкой, а черезъ двѣ панели, то для усиленія всѣхъ балокъ одинаковымъ способомъ число поперечныхъ связей пришлось удвоить. Сѣченія диагоналей изъ тавровъ разм.  $130 \times 70 \times 12 \times 12$  мм. въ верхнихъ, вытянутыхъ, половинахъ оказались достаточными для принятія дополнительной нагрузки отъ поперечной балки, и только нижнія половины диагоналей, въ виду возможности работы ихъ на продольный изгибъ, усилены наклепкою такихъ же тавровъ.

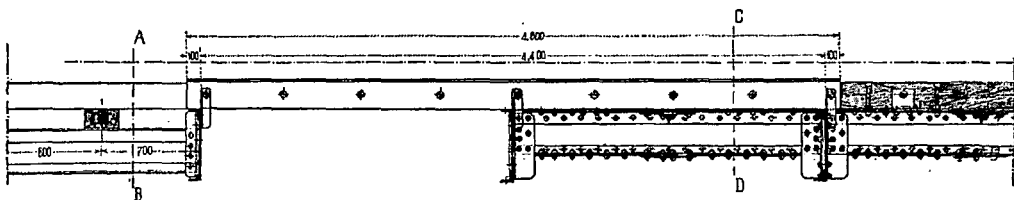


Рис. 29. Продольный разрѣзъ.

Въ этомъ примѣрѣ интересенъ еще способъ производства работъ по усиленію продольныхъ балочекъ и поднятію ихъ до уровня верхняго пояса поперечныхъ балокъ. Поднятіе продольныхъ балочекъ вызывалось, во-первыхъ, необходимою возвышенія головки рельсовъ, для удовлетворенія новому габариту, до уровня верхнихъ листовъ поясовъ главныхъ фермъ, а во-вторыхъ, желаніемъ имѣть непрерывный продольный лежень подъ рельсами, вмѣсто отдѣльныхъ обрубковъ между поперечными балками. Усиленіе продольныхъ балокъ состояло въ наклепываніи на пояса одной пары горизонтальныхъ листовъ и было произведено не на мѣстѣ, что сопряжено всегда со многими затрудненіями, а въ мастерской. Для этого сначала рельсовый путь на всемъ мосту былъ поднять на требующуюся высоту, посредствомъ укладки между лежнями и продольными балочками деревянныхъ поперечинъ, затѣмъ на протяженіи двухъ смежныхъ панелей старые лежни замѣнялись новымъ лежнемъ, усиленнымъ двумя зетами, а послѣ этого продольныя балочки этихъ двухъ панелей отклепывались отъ поперечныхъ и въ мастерской усиливались наклепкою листовъ. Въ то же время въ стѣнкахъ поперечныхъ балокъ сверлились отверстия для приклепыванія новыхъ прикрѣпляющихъ уголковъ. Послѣ постановки на мѣсто усиленныхъ балочекъ временные продольные

лежни продвигались на слѣдующія двѣ панели и работа снова производилась въ томъ же порядкѣ.

Особая цѣнность этого способа заключается въ томъ, что перерывы въ движеніи при немъ могутъ быть сведены до минимума, а исполненіе работъ по усиленію, какъ производимое въ мастерской, достигаетъ высокаго качества.

Примѣръ усиленія поперечной балки специальнымъ шпиргелемъ, примененный для усиленія моста черезъ р. Тибръ на линіи Римъ-Анкона Итальянскихъ ж. д., съ вѣдою понижу, представленъ на рисункахъ 30 и 31.

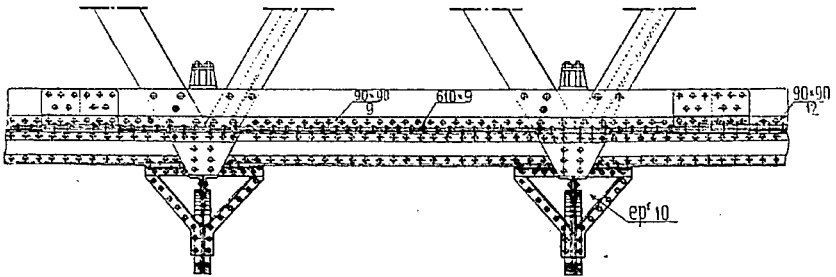


Рис. 30.

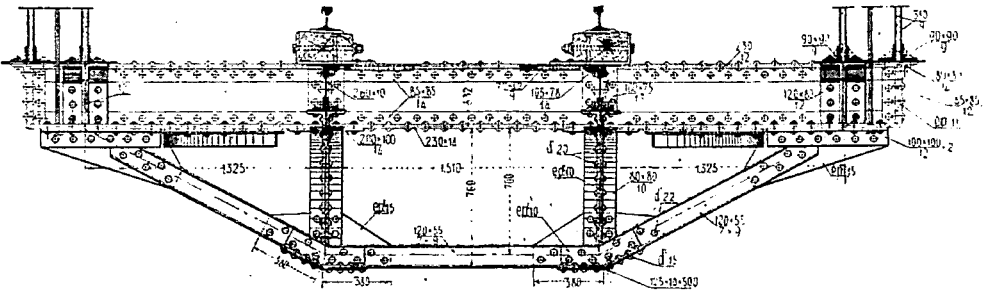
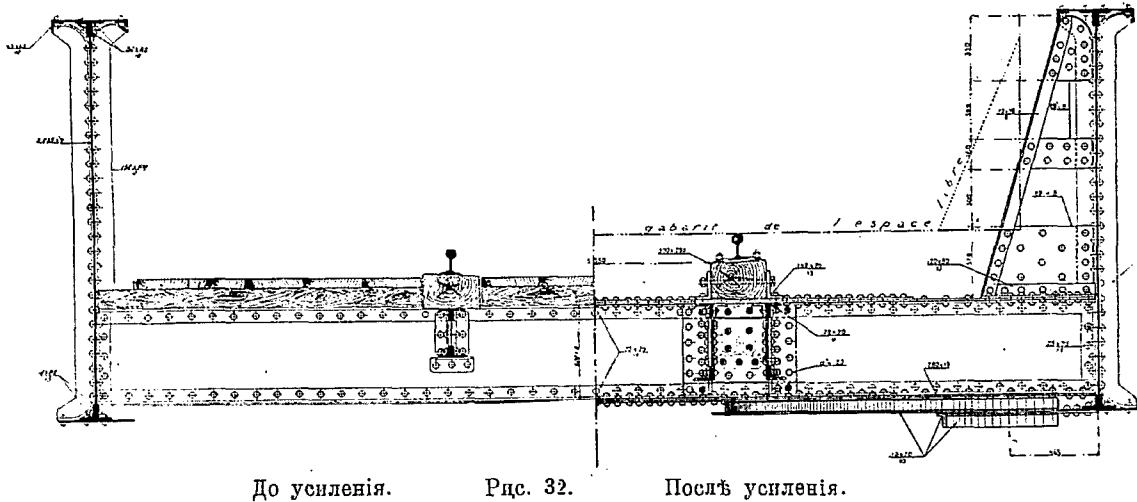


Рис. 31.

До усиленія моста поперечныя балки были подвѣшены къ нижнему поясу двумя болтами на каждомъ концѣ и для жесткости приклепаны къ небольшому торцовому листу, расположенному подъ вѣшнымъ вертикальнымъ листомъ пояса. Это же прикрѣпленіе оставлено и послѣ усиленія и только для уменьшенія боковыхъ колебаній концовъ балокъ добавлено на каждомъ концѣ по четыре уголка жесткости, приклепанныхъ одной половиной къ стѣнкѣ

поперечной балки, а другой половиной къ горизонтальнымъ листамъ пояса.

Третій способъ усиленія проѣзжей части—увеличеніемъ числа балокъ—примѣняется сравнительно рѣдко и главнымъ образомъ въ случаѣ укладки пути на продольныхъ лежняхъ, а не на поперечинахъ. Такъ, напр., въ многорѣшетчатыхъ мостахъ при укладкѣ пути на лежняхъ безъ продольныхъ балочекъ, наиболѣе простымъ способомъ усиленія поперечныхъ балокъ является удваиваніе ихъ числа постановкою новыхъ въ промежуточныхъ узлахъ. Примѣръ удваиванія продольныхъ балочекъ представленъ на рис. 32, изображающемъ поперечный разрѣзъ мостовъ черезъ рр. Мюсонъ и Потенца на линіи Анкона-Фоджа Итальянскихъ



ж. д. Старыя продольныя балки здѣсь были настолько слабы и узки, что пришлось каждую изъ нихъ замѣнить новыми сдвоенными балочками коробчататаго вида, разставленными соотвѣтственно ширинѣ продольнаго лежня подъ рельсомъ. Этимъ способомъ была достигнута возможность прикрѣпленія новыхъ продольныхъ балочекъ безъ предварительнаго снятія старыхъ.

Иногда, вмѣсто удваиванія продольныхъ балокъ, пользуются постановкой третьей продольной балки по оси пути, раздвигая существующія на разстояніе до 2,30 м., если ранѣе онѣ находились непосредственно подъ рельсами, и укладываемая путь на поперечинахъ.

## В) Усиленіе связей.

§ 7. Во всѣхъ старыхъ мостахъ обычно наблюдается недостаточное количество связей между главными фермами, слабость ихъ и часто полное отсутствіе связей между продольными балками. Усиленіе существующихъ связей большею частью заключается или въ замѣнѣ плоскихъ діагоналей новыми жесткаго сѣченія, или въ наклепкѣ на плоскія діагонали уголковъ, или, иногда, въ подтягиваніи только ослабѣвшихъ діагоналей. Новыя дополнительныя связи (горизонтальныя и вертикальныя) приходится ставить преимущественно между продольными балками, а иногда и между главными фермами, такъ какъ многочисленныя наблюденія показываютъ, что при отсутствіи достаточно жесткихъ связей значительно увеличиваются боковыя колебанія моста при проходѣ поѣзда. На французскихъ дорогахъ для увеличенія сопротивленія мостовъ боковымъ колебаніямъ распространена замѣна деревяннаго настила мостовъ сплошнымъ металлическимъ.

Примѣры усиленія связей представлены на рис 26, 31, 32 и 93.

## С) Усиленіе главныхъ фермъ со сплошной стѣнкой.

§ 8. Различныя способы увеличенія сѣченія главныхъ фермъ со сплошной стѣнкой, если усиленіе ихъ производится на мѣстѣ, указаны при описаніи усиленія балокъ проѣзжей части.

При усиленіи фермъ въ мастерской, кромѣ указанныхъ способовъ увеличенія сѣченія фермъ, возможно примѣненіе еще способовъ, представленныхъ на рис. 33—37.

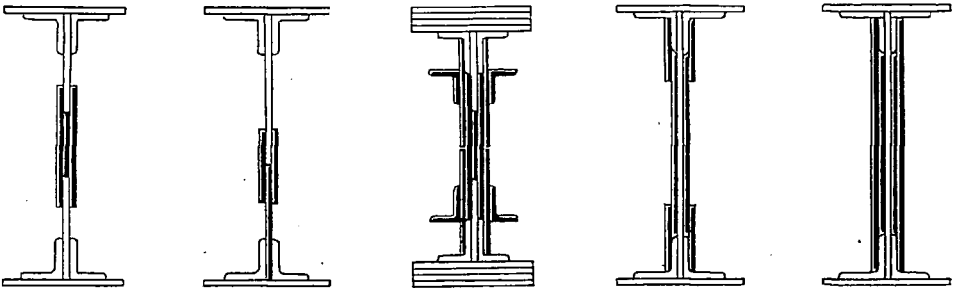


Рис. 33 — 37.

На первыхъ двухъ рисункахъ показаны различныя способы увеличенія высоты главныхъ фермъ, а именно: на рис. 33 встав-



кою новаго вертикальнаго листа между разрѣзанными половинками стараго и на рис. 34 надставкою стараго листа новымъ безъ разрѣзки. Въ первомъ случаѣ поясныя заклепки совершенно не трогаются, во второмъ же случаѣ заклепки, прикрывающія одинъ изъ поясовъ къ вертикальному листу приходится срубить. При срубкѣ заклепокъ возможны поврежденія материала поясныхъ уголковъ и вертикальнаго листа въ заклепочныхъ отверстіяхъ, поэтому первый способъ увеличенія высоты фермъ предпочтительнѣе второго. На рис. 35 показано увеличеніе высоты фермы по первому способу одновременно съ усиленіемъ ея двумя дополнительными вертикальными листами и четырьмя уголками. На рис. 36 и 37 представлены два способа увеличенія сѣченія фермы дополнительными листами.

Иногда увеличеніе сѣченія фермъ производится замѣною старой фермы меньшаго пролета старою же фермою, снятою съ другого моста, но большаго пролета, съ соответствующею урубкою ея концовъ.

Кромѣ увеличенія сѣченія, при усиленіи фермъ со сплошной стѣнкой приходится принимать мѣры для уменьшенія напряженія въ поясныхъ заклепкахъ при повѣркѣ на скалываніе пояса фермы по стѣнкѣ, а также увеличивать число заклепокъ въ стыкахъ и ставить дополнительные уголки жесткости противъ выпучиванія стѣнки.

Пониженіе напряженія въ поясныхъ заклепкахъ производится или замѣною старыхъ заклепокъ новыми увеличеннаго диаметра, или постановкою дополнительныхъ заклепокъ, какъ указано на рис. 38 и 39, при условіи, чтобы новый шагъ заклепокъ былъ не

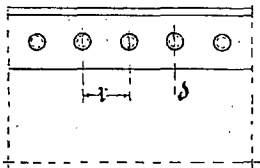


Рис. 38.

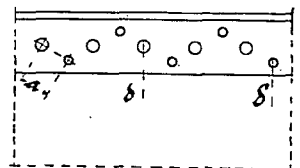
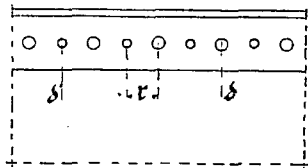


Рис. 39.

менѣе трехъ диаметровъ заклепокъ или не менѣе  $3 \cdot \frac{d + d'}{2}$  при различныхъ діаметрахъ (при шахматномъ расположеніи эти нормы соблюдаются для разстоянія между заклепками— $a$ ), или же увеличеніемъ числа плоскостей сръзванія заклепокъ наклепкою на

поясные уголки и вертикальный листъ при помощи прокладокъ узкихъ вертикальныхъ накладокъ, какъ указано на рис. 40.

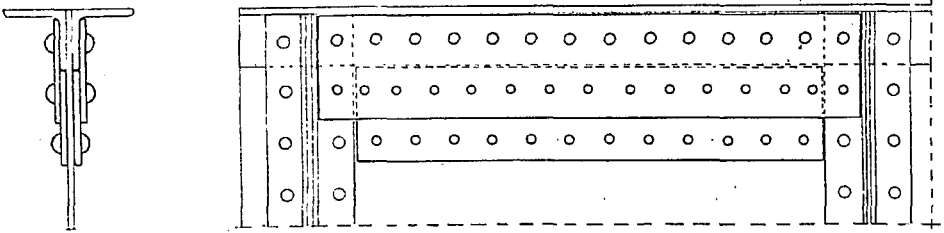


Рис. 40.

Усиленіе стыковъ сплошной стѣнки фермъ можетъ быть произведено очень просто увеличеніемъ диаметра заклепокъ, или же наклепкою на вертикальныя полки поясныхъ уголковъ добавочныхъ листовъ, какъ указано на рисункахъ 41, 42 и 43.

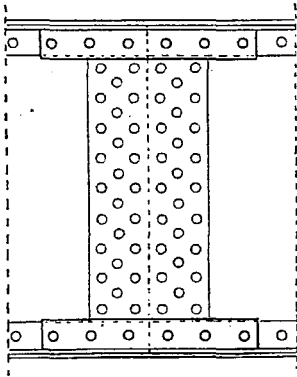


Рис. 41.

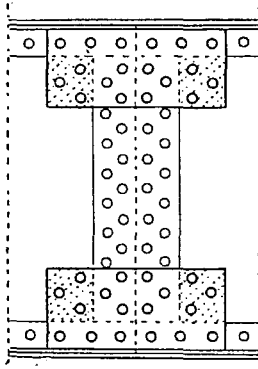


Рис. 42.

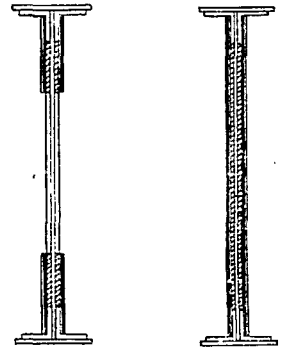


Рис. 43.

Примѣръ усиленія стѣнки уголками жесткости, которые предпочитается ставить наклонно, представленъ на рис. 44.

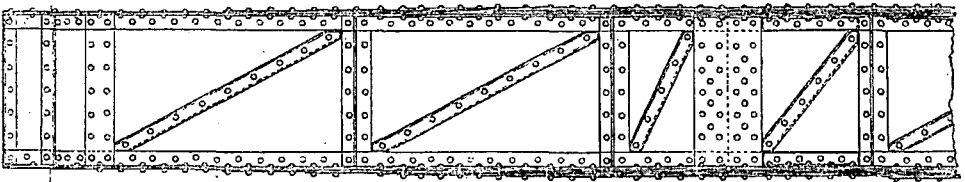


Рис. 44.

Усиление ферм со сплошной стѣнкой увеличеніемъ числа ихъ примѣняется лишь при небольшихъ пролетахъ, при чемъ обычно главныя фермы удваиваются добавлением такихъ же фермъ, снятыхъ съ другого моста одинаковаго пролета. Чтобы имѣть увѣренность въ равномерной работѣ каждой половины составныхъ главныхъ фермъ, новыя фермочки склеиваются со старыми сплошнымъ горизонтальнымъ листомъ, какъ указано на рис. 45. Наличие этихъ соединеній, а также устройство попе-

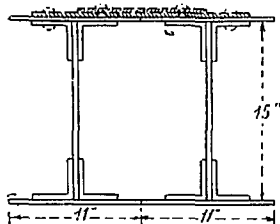


Рис. 45.

речныхъ и горизонтальныхъ связей обезпечиваетъ одинаковый прогибъ всѣхъ балокъ, и поэтому при расчетѣ предполагается, что нагрузка на балки распредѣляется пропорционально ихъ моментамъ сопротивленія.

Наконецъ, интересно еще отмѣтить примѣняемый на Парижъ-Орлеанской ж. д. способъ усиленія мостовъ небольшихъ пролетовъ превращеніемъ желѣзныхъ балокъ въ желѣзобетонныя, или устройствомъ сплошной желѣзобетонной плиты по всей ширинѣ моста. На рис. 46 и 47 представлено усиленіе желѣзобетономъ

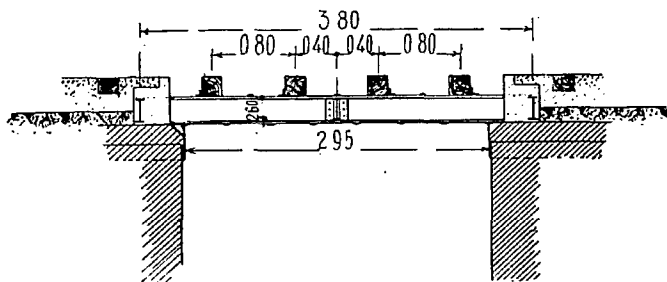


Рис. 46.

сдвоенныхъ главныхъ фермочекъ открытаго мостика отверстіемъ 3,00 м., при чемъ желѣзобетономъ заполнены лишь промежутки между сдвоенными фермочками.

На рис. 48 и 49 представлено усиленіе моста устройствомъ сплошной желѣзобетонной плиты, въ которую забетонированы всѣ балки моста. Для поддержанія боковыхъ тротуаровъ и средняго прохода устроены спеціальныя желѣзобетонныя балки. На рис.

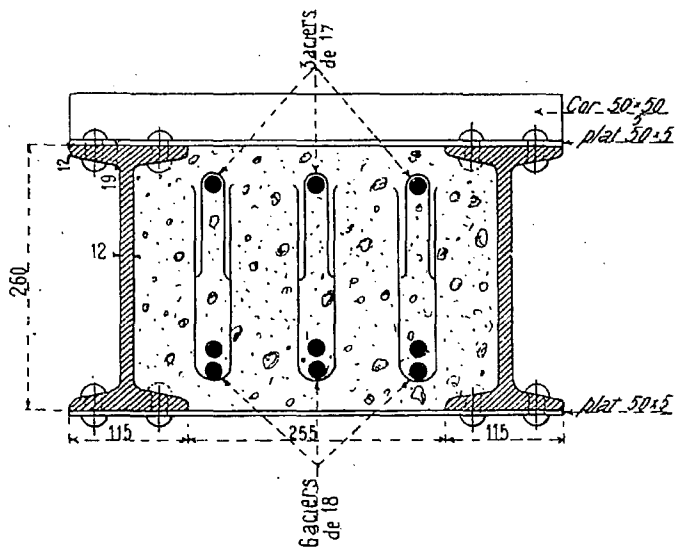


Рис. 47.

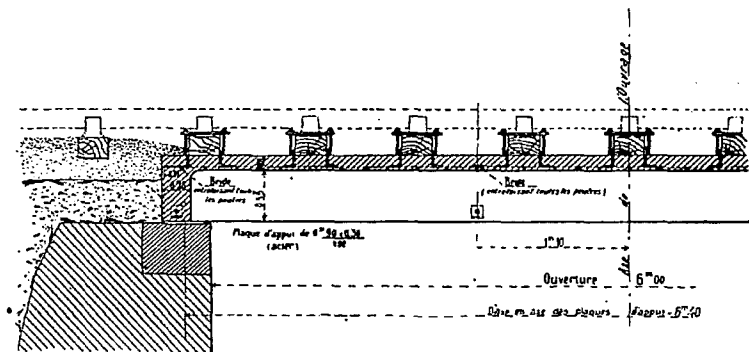


Рис. 48. Продольный разрезъ.

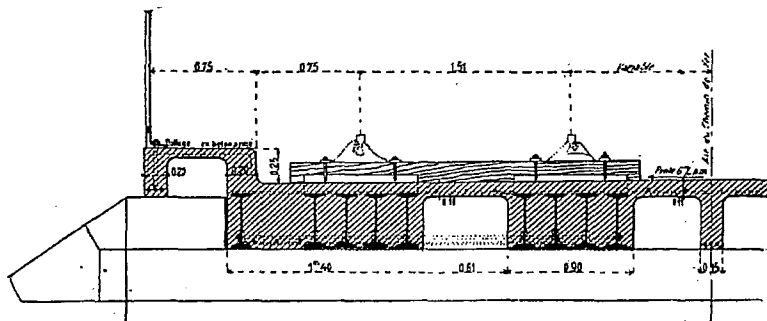


Рис. 49. Поперечный разрезъ.

50 и 51 представлень примѣръ устройства желѣзобетонной плиты

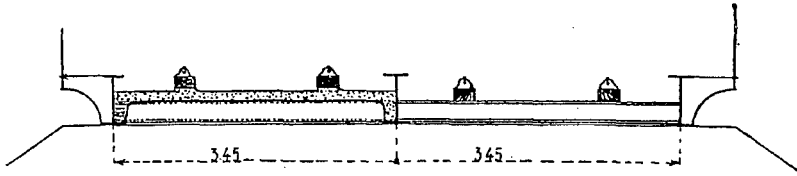


Рис. 50.

между главными фермами, при чемъ послѣднія оставлены безъ непосредственнаго усиленія, такъ какъ значеніе плиты заключается не только въ усиленіи поперечныхъ балокъ моста, но, глав-

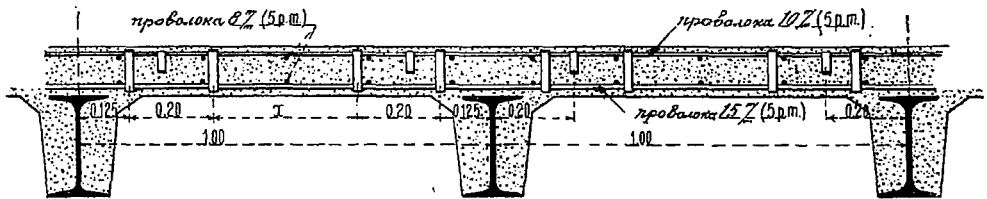


Рис. 51.

нымъ образомъ, въ распредѣленіи временной нагрузки на большую длину полотна, вслѣдствіе чего значительно облегчается работа главныхъ фермъ.

На рис. 52 и 53 показана деталь укрѣпленія на желѣзобетонной плитѣ деревянныхъ подрельсовыхъ по-

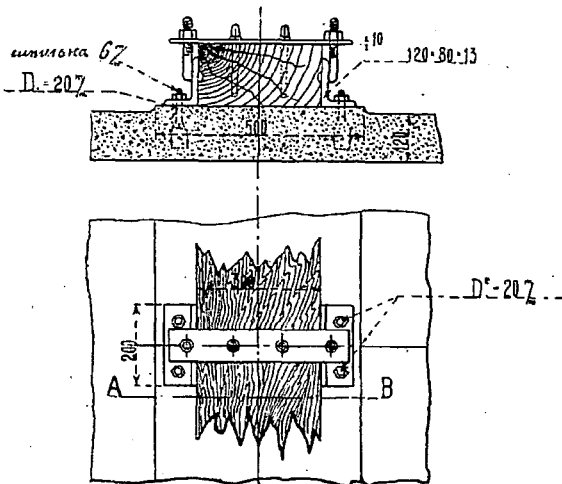


Рис. 52. Деталь прикрѣпленія лежня.

перечинь или продольныхъ лежней. Подрельсные поперечины или леж-

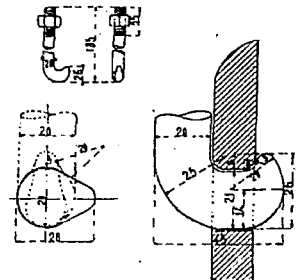


Рис. 53. Детали болта.

пи укладываются между уголками, укрѣпленными на плитѣ помощью задѣланныхъ въ нее болтовъ, и притягиваются къ нимъ двумя болтами съ крючковидными головками посредствомъ полой накладки, служащей въ то же время при продольномъ лежаніи подрельсовой подкладкой. При этомъ способѣ получается наименьшее ослабленіе дерева и вполнѣ достаточная надежность прикрѣпленія.

## D) Усиленіе главныхъ сквозныхъ фермъ.

### § 9. Способы увеличенія сѣченій различныхъ элементовъ фермъ.

Увеличеніе сѣченія элементовъ фермъ можетъ производиться въ двухъ предположеніяхъ: при расчетѣ новыхъ добавочныхъ частей на работу только отъ временной нагрузки, или же при расчетѣ ихъ на совмѣстную работу съ существующими частями на полную нагрузку, т.-е. на постоянную и временную. Въ первомъ случаѣ усиленіе фермъ производится безъ постановки ихъ на подмости, т.-е. безъ разгруженія отъ постоянной нагрузки; во второмъ случаѣ означенное разгруженіе необходимо, и усиленіе фермъ можетъ производиться только послѣ установки ихъ на подмости. Ниже оба эти случая разсмотрѣны отдѣльно.

#### *а) Усиленіе фермъ безъ разгруженія отъ постоянной нагрузки.*

Въ данномъ случаѣ увеличеніе сѣченія элементовъ главныхъ фермъ производится преимущественно такъ, чтобы существующія поясные заклепки, а также основныя заклепки въ прикрѣпленіи раскосовъ и стоекъ, по возможности, не трогались. Въ виду этого добавочныя части сѣченія приходится часто располагать не симметрично по отношенію къ центру тяжести сѣченія, вследствие чего ось усиленнаго сѣченія не совпадаетъ съ теоретическою осью элемента (осью силы), и возникаютъ дополнительные напряжения отъ вѣцентренности сѣченія. Это обстоятельство, а также невозможность использовать полностью добавочныя части сѣченія, вследствие расчета ихъ только на временную нагрузку, и затруднительность, въ большинствѣ случаевъ, наклепыванія новыхъ частей безъ срубки существующихъ поясныхъ и стыковыхъ заклепокъ ясно указываютъ на несовершенство этого способа усиленія фермъ. Примѣненіе его можетъ быть оправдано или благопріят-

ными типами сѣченій существующаго моста или экономическими соображеніями.

Наиболѣе простые примѣры увеличенія сѣченія поясовъ приведены на рис. 54—59; раскосовъ и стоекъ—на рис. 60—65.

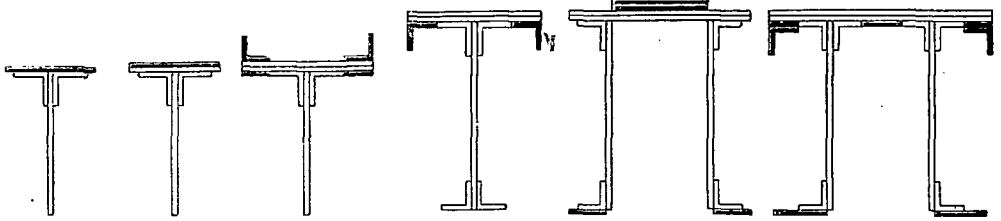


Рис. 54—59.

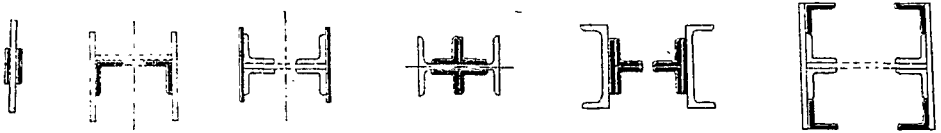


Рис. 60—65.

На рис. 66 показанъ примѣръ прикрѣпленія добавленной при усиленіи полосы раскоса безъ нарушенія прикрѣпленія къ фасонному листу основной полосы раскоса.

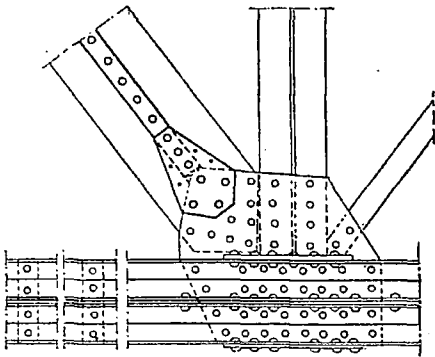


Рис. 66.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда срубка поясныхъ заклепокъ въ узлахъ и заклепокъ, прикрѣпляющихъ раскосы, неизбежна, принимаютъ особыя мѣры противъ перемѣщенія поясовъ, замѣняя работу раскосовъ постановкою тяжелой при вытянутыхъ раскосахъ

и деревянныхъ подпорокъ при сжатыхъ. На рис. 67—70 представленъ какъ разъ такой примѣръ усиленія нижняго пояса и раскоса двухпутнаго моста пролетомъ 27,3 м. на Центральной Берлинской ж. д., въ которомъ уголки усиленія пояса могли быть приклепаны къ фасонному листу только поясными заклепками,

а существовавший раскосъ разм.  $235 \times 13$  мм. былъ замѣненъ новымъ, размѣромъ  $360 \times 16$  мм. Во избѣжаніе перемѣщенія поясовъ фермы во время смѣны раскосовъ, здѣсь пользовались парными тѣжами, показанными на рис. 67 и 70 пунктиромъ. Поря-

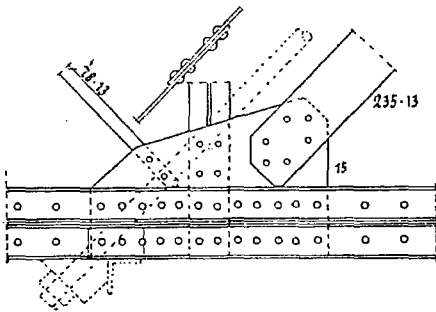


Рис. 67. До усиленія.

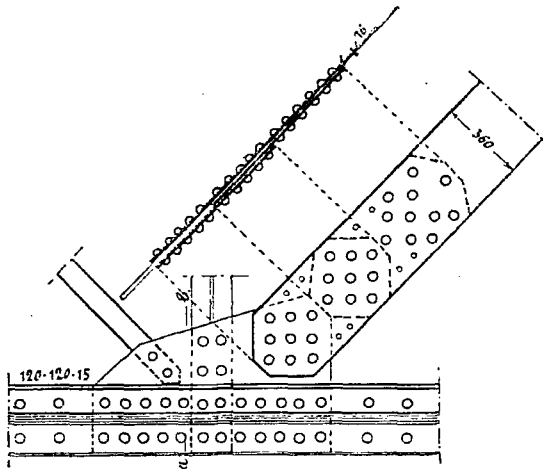


Рис. 68. Послѣ усиленія.



Рис. 69.

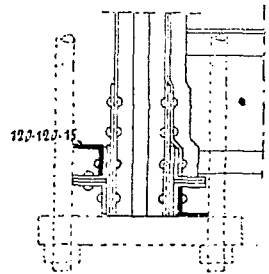


Рис. 70. Разрѣзъ по аб.

докъ усиленія былъ такой: сначала ставился на протяженіи всего пояса одинъ уголокъ усиленія, при чемъ приклепываніе его въ узлахъ исполнялось во время перерыва въ движеніи, производившагося по одному изъ путей, и затѣмъ замѣнялись наклепкою двухъ полосъ (см. рис. 69) старые стыковые уголки, которые необходимо было снять при усиленіи. Когда всѣ операци по постановкѣ одного уголка усиленія пояса были закончены, переходили къ постановкѣ въ томъ же порядкѣ второго уголка усиленія. По окончаніи усиленія поясовъ одной фермы приступали къ смѣнѣ раскосовъ, которая производилась также отдѣльно для каждой половины фермы.

*б) Усиленіе главныхъ фермъ при разгрузеніи ихъ отъ постоянной нагрузки.*

Разгрузеніе главныхъ фермъ отъ постоянной нагрузки про-



изводится двояко: 1) установкою фермъ на постоянныхъ подмостяхъ и подбивкою въ каждомъ узлѣ нижняго пояса, или подъ каждой поперечной балкой, обычныхъ клиновыхъ подушекъ и 2) установкою подъ каждымъ узломъ фермъ одного изъ поясовъ неравноплечихъ коромыселъ, укрѣпленныхъ на постоянныхъ подмостяхъ, при чемъ передаваемая на короткое плечо коромысла постоянная нагрузка моста уравнивается соответствующимъ нагруженіемъ длиннаго плеча.

Первый изъ способовъ разгрузки отличается простотой и потому примѣняется въ большинствѣ случаевъ. Недостатокъ его заключается въ невозможности точно установить степень разгрузки и его равномерность. Чрезмѣрность разгрузки можетъ быть опредѣлена лишь по вышнимъ признакамъ, какъ-то: по ослабленію раскосовъ, по поднятію поясовъ надъ опорными узлами и проч.

Второй изъ способовъ разгрузки этого недостатка не имѣетъ, такъ какъ степень разгрузки можетъ быть заранѣе опредѣлена расчетомъ для каждаго узла фермы и можетъ быть осуществлена въ такой именно мѣрѣ, какая требуется для каждаго отдѣльнаго узла. Всякое дополнительное нагруженіе фермъ (новыми частями, подмостями и проч.) также легко парализуется соответствующимъ увеличеніемъ противовѣсовъ. Несмотря на кажущуюся неустойчивость этой системы, поѣзда по усиливаемому мосту пропускаются свободно, но съ ограничленную скоростью (5 вер. въ часъ), для уменьшенія колебаній коромыселъ. Для обезпеченія правильности дѣйствія коромыселъ принимаются надлежащія мѣры противъ осадки и смятія головъ свай, на которыхъ обычно укрѣпляются коромысла. Отношеніе плечъ коромыселъ измѣняется отъ 1:5 до 1:10. На рис. 71—76 представлены примѣры устройства коромыселъ для разгрузки фермъ.

На рис. 71—74 показанъ примѣръ расположенія коромыселъ перпендикулярно къ оси моста. Каждое коромысло, составленное изъ трехъ швеллеровъ, опирается на двѣ свай, при помощи брусчатой насадки и уложенной на нее специальной опорной подушки. Для поддержанія коромысла при сборкѣ его, а также послѣ прекращенія разгрузки, подъ конецъ длиннаго плеча коромысла забита третья свая, связанная наклонными и горизонтальными схватками съ первымъ двумя, для приданія жесткости свайнымъ опорамъ по направленію теченія рѣки. Для полного обезпеченія жесткости этихъ опоръ обѣ главныя свай нарациваются стойками

и къ распоркѣ укрѣпленной наверху стоекъ прибалчиваются двѣ желѣзныя полосы, захватывающія своими крючкообразными концами за уголки стоекъ главныхъ фермъ и пружинящія при прогибѣ послѣднихъ. Соотвѣтственнымъ натяженіемъ этихъ полосъ достигается плотное прижатіе стоекъ къ нижнему поясу фермъ и

Рис. 71. Общая схема расположения.

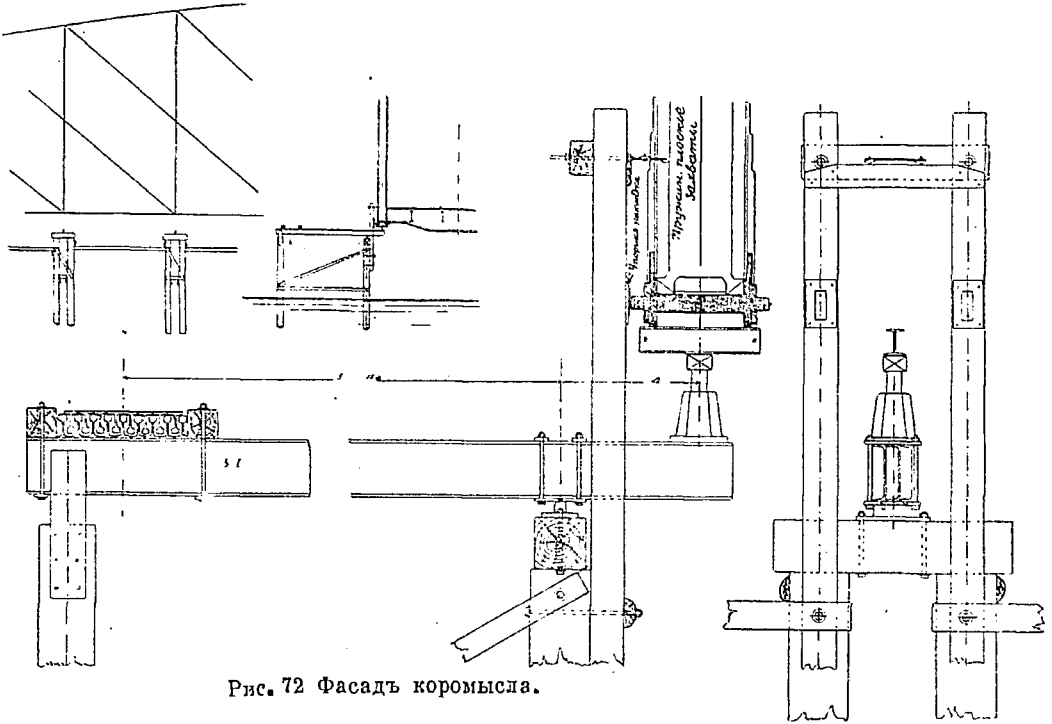


Рис. 72 Фасадъ коромысла.

Рис. 74.  
Поперечный разрѣзь.

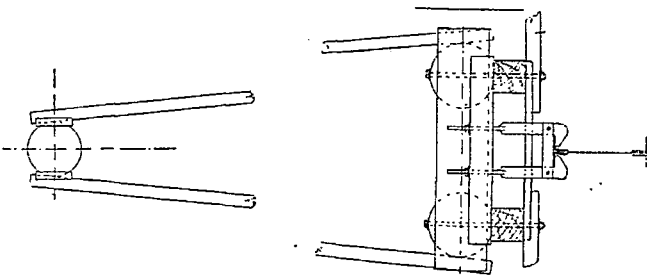


Рис. 73 Планъ свайныхъ опоръ.

тѣмъ самымъ неизбежность опорныхъ свай. Во избѣжаніе поврежденія деревянныхъ стоекъ въ мѣстѣ прижатія ихъ къ поясу

главныхъ фермъ укрѣплены желѣзныя планки. Немного ниже захватовъ къ стойкамъ пришта доска, служащая для провѣрки положенія фермы. Противовѣсомъ коромыселъ служатъ обрѣзки старыхъ рельсъ. Горизонтальное положеніе коромыселъ достигается измѣненіемъ высоты домкрата, установленнаго на концѣ короткаго плеча.

На рис. 75 и 76 показанъ примѣръ примѣненія продольныхъ

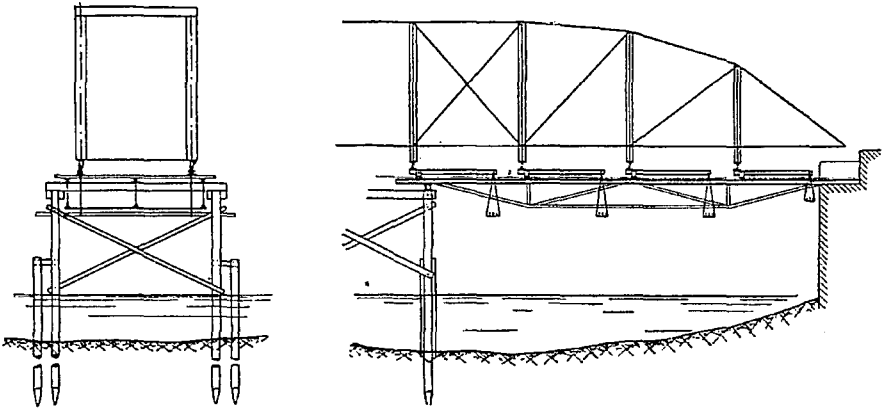


Рис. 75. Общая схема расположенія.

коромыселъ, требующихъ менѣе мѣста по сравненію съ коромыслами перпендикулярными къ оси моста. Разница въ деталяхъ конструкціи легко усматривается изъ рисунковъ.

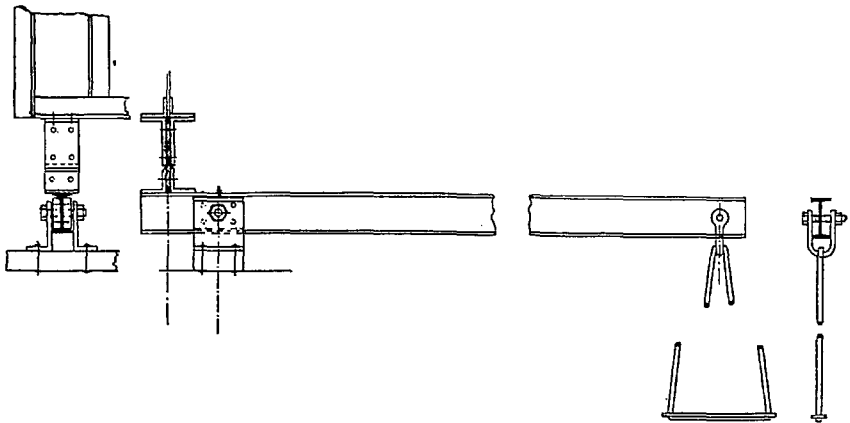


Рис. 76. Детали коромысла.

При усиленіи фермъ на подмостяхъ никакихъ препятствій въ расклепкѣ узловыхъ соединеній не встрѣчается и потому уве-

личение сѣченія элементовъ фермъ въ этомъ случаѣ можетъ производиться въ болѣе широкихъ размѣрахъ.

§ 10. Способы усиленія фермъ посредствомъ измѣненія системы ихъ.

Усиленіе фермъ помощью увеличенія сѣченія часто возбуждаетъ сомнѣнія въ смыслѣ правильности учета работы новаго матеріала, а иногда является совершенно нераціональнымъ. Въ такихъ случаяхъ стремятся усилить ферму измѣненіемъ ея системы. Напримѣръ, усиленіе рѣшетки въ многорѣшетчатыхъ фермахъ легко достигается увеличеніемъ системъ раскосовъ и постановкою стоекъ, а въ фермахъ—раскосныхъ постановкою обратныхъ раскосовъ. Для полнаго избѣжанія увеличенія сѣченій и

Рис. 77. Схема фермъ.

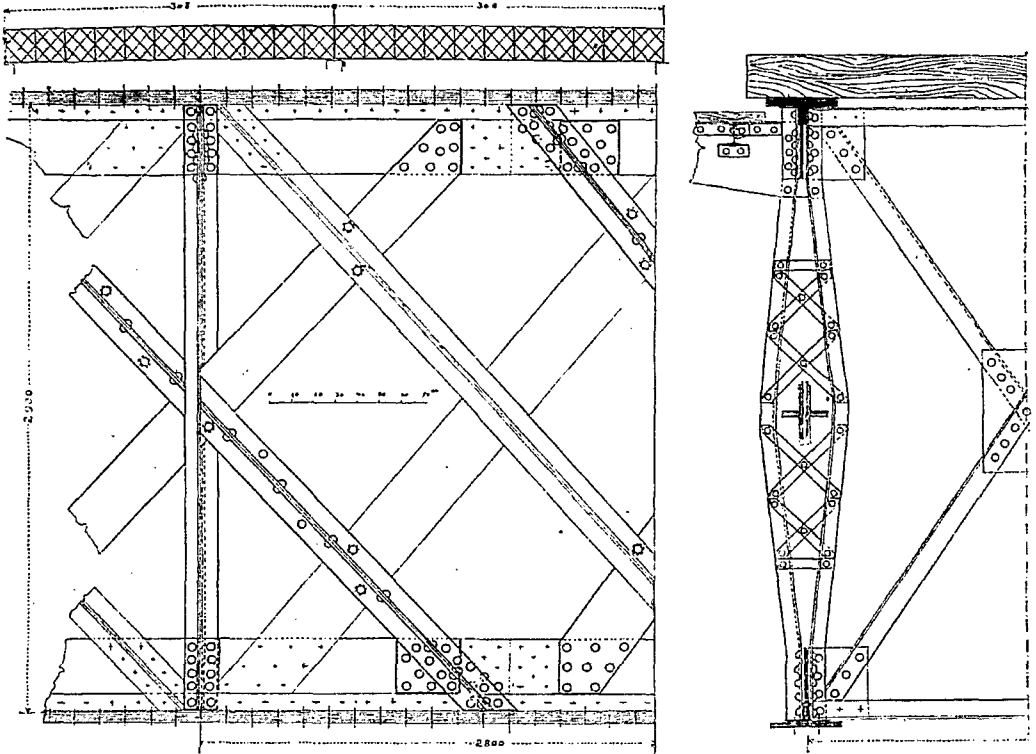


Рис. 78 и 79. Детали усиленія.

поясовъ фермы и рѣшетки, которое иногда оказывается затруднительнымъ по невозможности устройства подмостей или по другимъ

причинамъ, вполнѣ рациональнымъ и экономичнымъ способомъ усиленія фермъ является устройство третьяго пояса въ видѣ арки или цѣпи разгрузенія.

На рис. 77 — 79 представлено усиленіе двухпролетныхъ неразрѣзныхъ фермъ моста черезъ р. Вагъ у Торнока, на линіи Будапештъ—Маршеггъ, добавленіемъ двухъ новыхъ системъ раскосовъ и постановкою стоекъ рыбообразнаго сѣченія для пропуска раскосовъ.

На рис. 80 показанъ примѣръ усиленія раскосной фермы съ

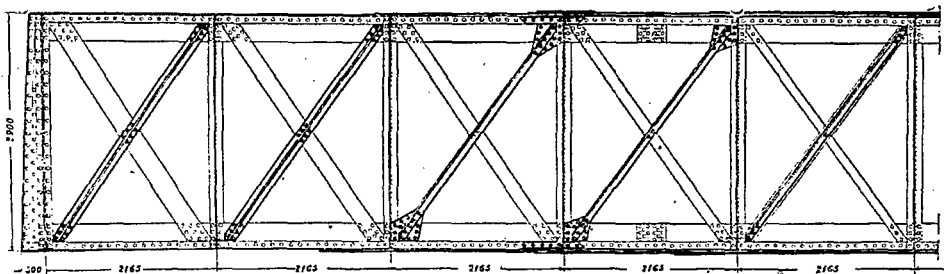


Рис. 80.

плоскими раскосами постановкою обратныхъ раскосовъ жесткаго сѣченія. Усиленіе пояса произведено наклепкою добавочныхъ горизонтальныхъ листовъ.

Примѣненіе для усиленія старыхъ мостовъ арки или цѣпи разгрузенія впервые было сдѣлано на С.Готардской жел. д. въ Швейцаріи. На рис. 81—83 представлено усиленіе двупутнаго косяго моста пролет. 29,58 м. черезъ р. Реуссъ на Готардской ж. д. По проекту усиленія арка должна была воспринять не только часть временной нагрузки, но и постоянной, такъ какъ расчетъ усиленія былъ сдѣланъ въ предположеніи, что старая ферма и арка собраны на подмостяхъ какъ бы въ одно время. Въ виду этого пришлось придать фермамъ изгибъ вверхъ и устроить опоры арки на клиньяхъ для возможности измѣненія ихъ положенія. Сборка арокъ и приклепываніе подвѣсокъ къ старымъ фермамъ производились на подмостяхъ, укрѣпленныхъ на самыхъ фермахъ, въ видѣ внѣшнихъ консолей, сначала не обращая вниманія на распределеніе постоянной нагрузки. Когда же арки со всеми подвѣсками и связями были собраны и склепаны, фермы вмѣстѣ со склепанными съ ними арками были подняты, согласно расчету, на 8 мм. и въ этомъ положеніи были забиты насколько возможно опорные



Вся операция по подъему продолжалась нѣсколько минутъ и была выполнена въ промежутокъ между поѣздами. Упругій прогибъ середины фермы, наблюдавшійся до усиленія въ 14 мм., послѣ усиленія уменьшился до 6 мм.

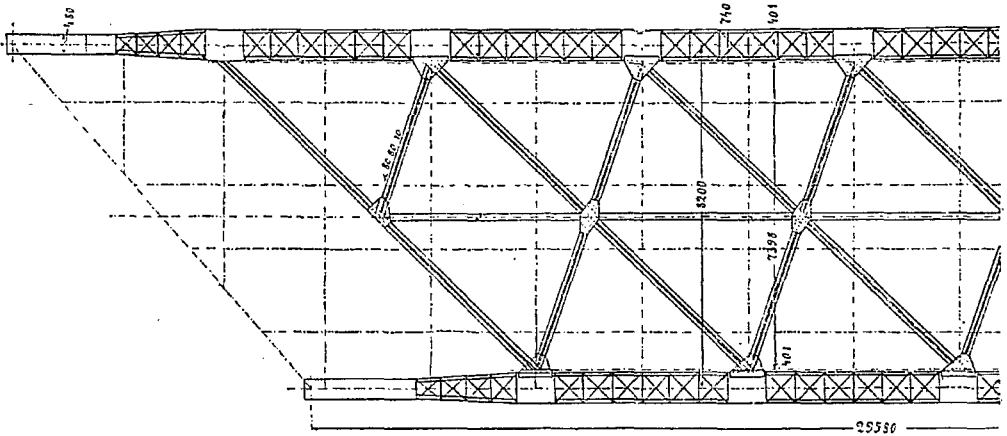


Рис. 83. Планъ связей между арками.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда арка не рассчитывается на передачу ей постоянной нагрузки, надобности въ специальныхъ опорахъ для нея не встрѣчается и она можетъ быть просто приклепана къ существующей фермѣ.

На рис. 84—87 показано усиленіе однопутнаго моста съ ѣздомъ

Рис. 84. Общій видъ.

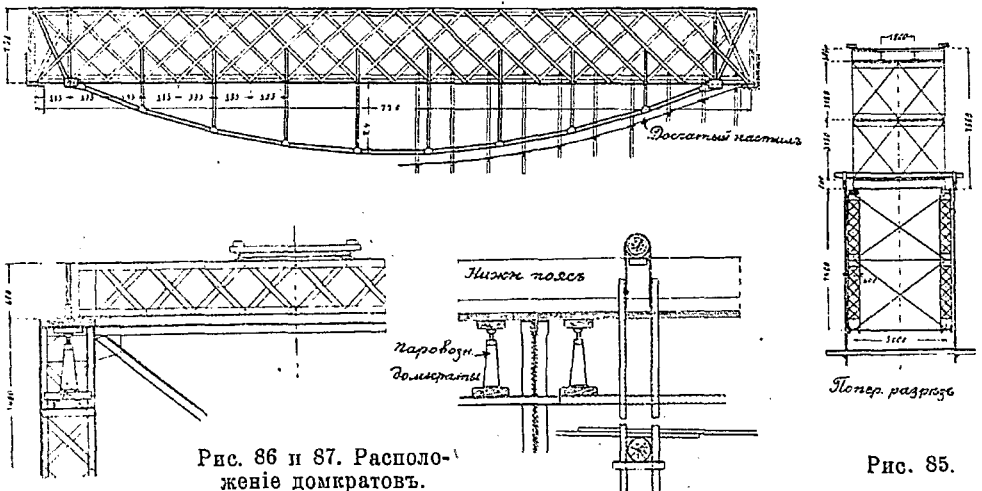


Рис. 86 и 87. Расположеніе домкратовъ.

Рис. 85.

поверху, пролет. 77,0 м., на Готардской ж. д. черезъ р. Реуссъ у Инши, посредствомъ цѣпи разгруженія, приклепанной къ нижнему поясу многорѣшетчатыхъ старыхъ фермъ. Прикрѣпленіе цѣпи къ поясу по конструктивнымъ условіямъ сдѣлано не въ опорныхъ узлахъ, поэтому опорныя панели фермъ усилены особо. Цѣпь разгруженія была рассчитана, какъ и въ предыдущемъ примѣрѣ, на принятіе соотвѣтственной части постоянной нагрузки, для чего требовалось дать фермѣ обратный подъемъ. Расположеніе моста надъ глубокимъ ущельемъ лишило возможности воспользоваться для этого какими-либо временными опорами, въ видѣ свай и пр., и потому здѣсь былъ примѣненъ такой способъ. Цѣпь и стойки ея строились въ мастерскихъ, совершенно не принимая во вниманіе подъема фермъ. При сборкѣ цѣпи на мѣстѣ, подпорныя стойки прикрѣплялись къ нижнему поясу сначала временно болтами, опорные же концы цѣпи приклепывались къ поясу окончательно сразу. По окончаніи сборки и приклейки цѣпи на рѣшеткѣ стоекъ были укрѣплены вдоль пояса двѣ швеллерныя балочки, а на нихъ съ прокладкою деревянныхъ подушекъ поставлены домкраты, по два у каждой подпорной стойки. Одновременнымъ дѣйствіемъ домкратовъ, съ одной стороны, достигалось опусканіе цѣпи, а съ другой, — поднятіе старыхъ фермъ. По расчету необходимо было удлинить среднюю подпорную стойку на 70 мм., поэтому работа домкратовъ была прекращена въ то время, когда цѣпь опустилась на 52 мм., а ферма поднялась на 18 мм.; получившіеся при этомъ зазоры между стойками и нижнимъ поясомъ фермъ были заполнены прокладками требовавшейся по расчету толщины. Напряженіе отъ растяженія средняго элемента цѣпи, измѣренное тремя аппаратами, при поднятій фермъ оказалось равнымъ 380 кг/см.<sup>2</sup>, по расчету же на горизонтальный распоръ, вызывающій тоже удлиненіе стоекъ, это напряженіе должно было быть равно 360 кг/см.<sup>2</sup>; т. е. немного менѣе. При нагрузкѣ моста 3-мя самыми тяжелыми паровозами и составомъ товарныхъ вагоновъ напряженіе въ цѣпи увеличилось до 760 кг/см.<sup>2</sup>; упругій прогибъ при этомъ опредѣленъ въ 20 мм.  $= \frac{1}{3850} l$ , вмѣсто наблюдавшихся до усиленія 40 мм.

Второй примѣръ усиленія однопутнаго моста цѣпью разгруженія, примѣненный въ Румыніи для моста съ ѣздою понизу пролет. 21,40 м. черезъ р. Пенжа у ст. Балсъ на линіи Бухарестъ-Верціорова, представленъ на рис. 88 — 89. Въ данномъ случаѣ и цѣпь и стойки были окончательно приклепаны къ фермѣ до подъ-



ема ея. Для возможности же подъема фермъ безъ подмостей и передачи части постоянной нагрузки на цѣпи, нижніе концы стоек оставались не склепанными съ цѣпями, пока въ одинъ нѣтъ

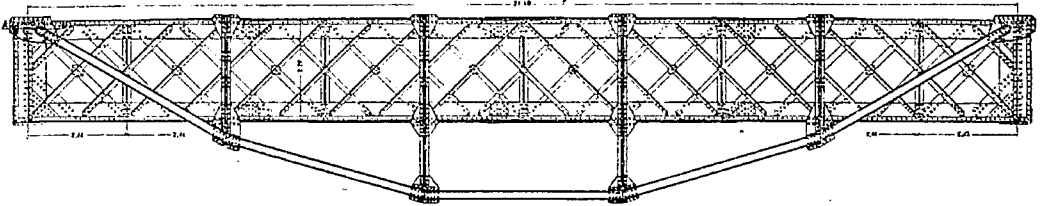


Рис. 88.

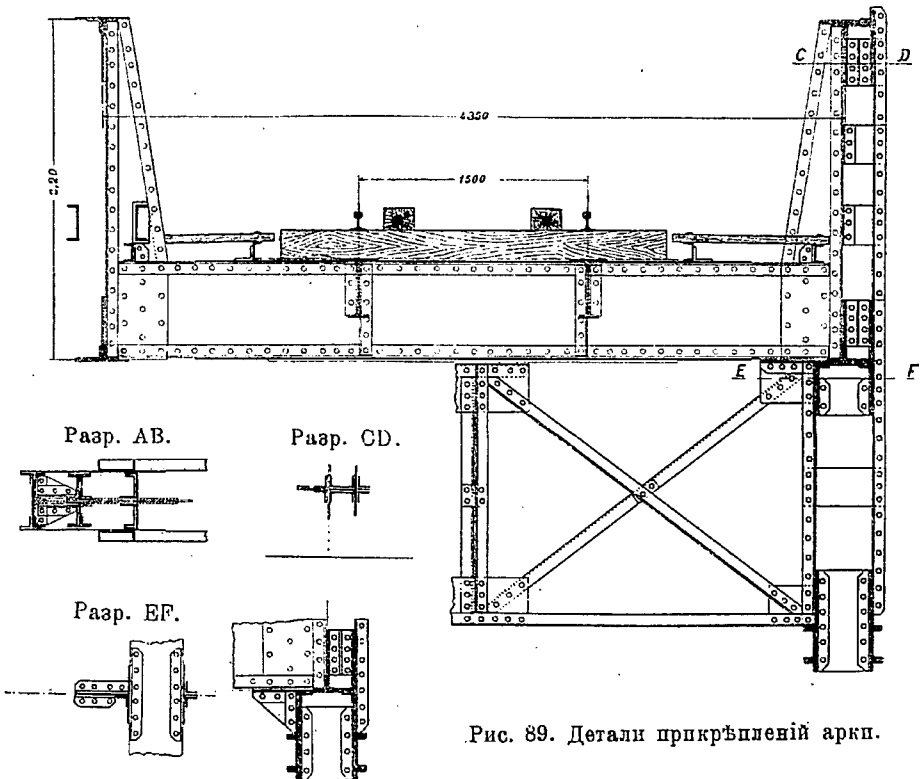


Рис. 89. Детали прикрѣпленій арки.

промежутковъ между поѣздами помощью домкратовъ не было получено требующееся по расчету разстояніе между нижнимъ поясомъ фермъ и цѣпями. Примѣненіе здѣсь цѣпи разгрузки по

низило стоимость усиленія моста до 5000 франковъ, вмѣсто требовавшихся 9000 фр. при обыкновенномъ способѣ усиленія—увеличеніемъ сѣченій.

Изъ приведенныхъ описаній усиленія фермъ помощью арки или цѣпи разгруженія легко усматриваются слѣдующія преимущества этого способа:

- 1) возможность усиленія старыхъ фермъ почти совершенно безъ переклепки существующихъ элементовъ,
- 2) возможность регулированія степени нагрузки новыхъ элементовъ соответствующимъ натяженіемъ арки или цѣпи,
- 3) возможность изготовлять почти всѣ новыя части на заводѣ и значительное сокращеніе поѣздки работъ, производимыхъ на мѣстѣ, и
- 4) удешевленіе работъ сравнительно съ другими способами.

#### § 11. Усиленіе фермъ увеличеніемъ числа ихъ.

Увеличеніе числа главныхъ фермъ является наиболѣе простымъ способомъ усиленія въ тѣхъ случаяхъ, когда слабыми оказываются не только фермы, но и ихъ опоры, что часто наблюдается у арочныхъ фермъ. При усиленіи балочныхъ фермъ къ этому способу прибѣгаютъ въ случаѣ необходимости передачи новымъ частямъ значительной доли нагрузки моста и примѣняютъ его преимущественно при одноствѣнчатыхъ главныхъ фермахъ.

Число добавляемыхъ главныхъ фермъ различно: чаще существующія фермы удваиваются, но есть примѣры установки одной новой фермы между двумя существующими.

Недостаткомъ этого способа усиленія служитъ необеспеченность въ большинствѣ случаевъ того именно распредѣленія нагрузки между старыми и новыми фермами, которое принимается при расчетѣ фермъ. Но въ нѣкоторыхъ случаяхъ, какъ указано въ приводимыхъ ниже примѣрахъ, недостатокъ этотъ устранимъ и распредѣленіе нагрузки между фермами можетъ быть осуществлено строго согласно расчету.

На рисун. 90—93 представлено усиленіе балочнаго моста, пролетомъ 20,68 м., черезъ р. Вахна у Верціорова въ Румыніи, произведенное добавленіемъ двухъ новыхъ фермъ того же типа, какъ и старыя, рассчитанныхъ на 40% полной нагрузки моста. Распредѣленіе нагрузки на новыя фермы обеспечивается вертикальными діафрагмами между стойками фермъ и наклепанными

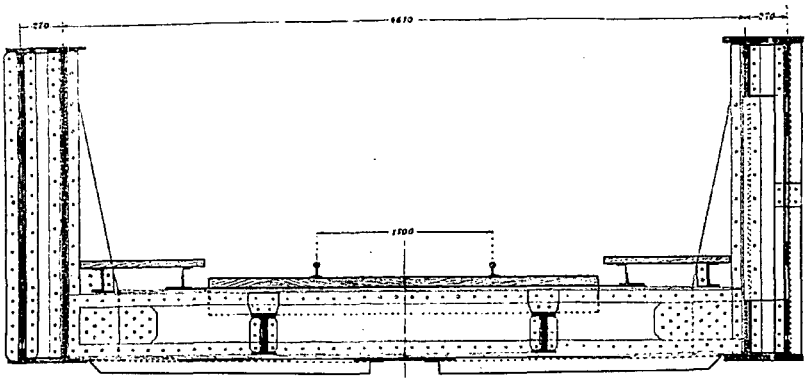


Рис. 90. Поперечный разрезъ.

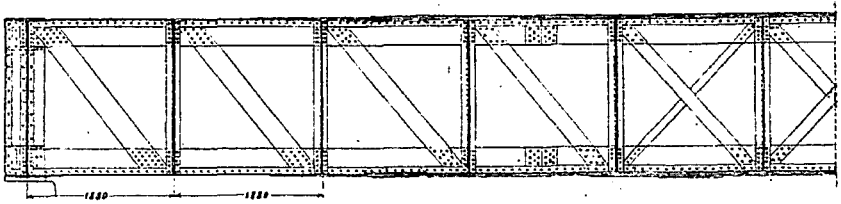


Рис. 91. Фасадъ старой фермы.

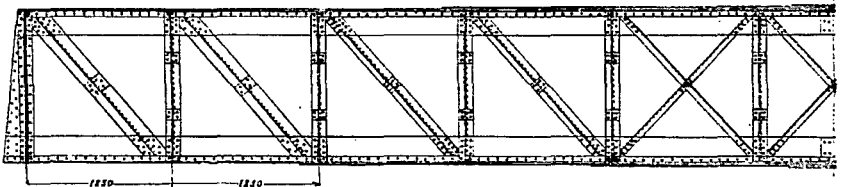


Рис. 92. Фасадъ новой фермы.

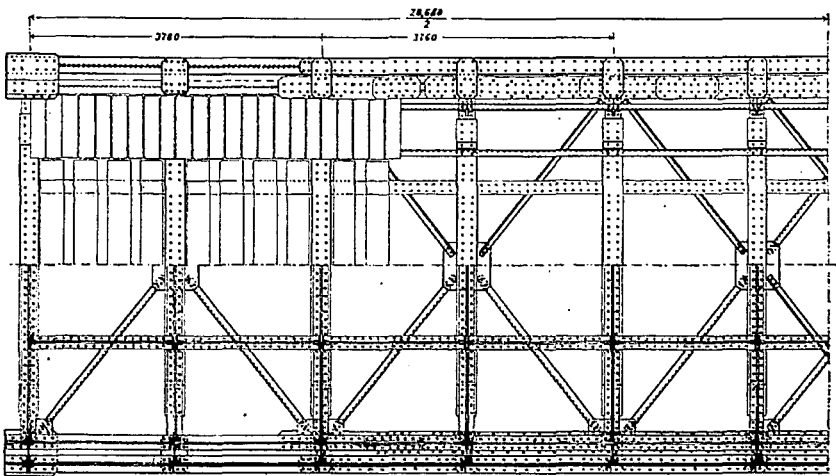


Рис. 93. Планъ.



Интересный примѣръ усиленія арочнаго моста удвоеніемъ главныхъ фермъ, съ обезпеченіемъ строго опредѣленнаго распре- дѣленія нагрузки на новыя и старыя фермы, представляетъ уси- ление двухпутнаго моста черезъ р. Рейнъ у Хорхгейма, близъ Кобленца, въ два пролета по 106,0 м., произведенное въ теченіе 1900 и 1901 гг.<sup>3)</sup> На рис. 95 представлень общій видъ, а на рис. 96, 97 и 98—продольный и поперечный разрѣзы и планъ усилен- наго моста.

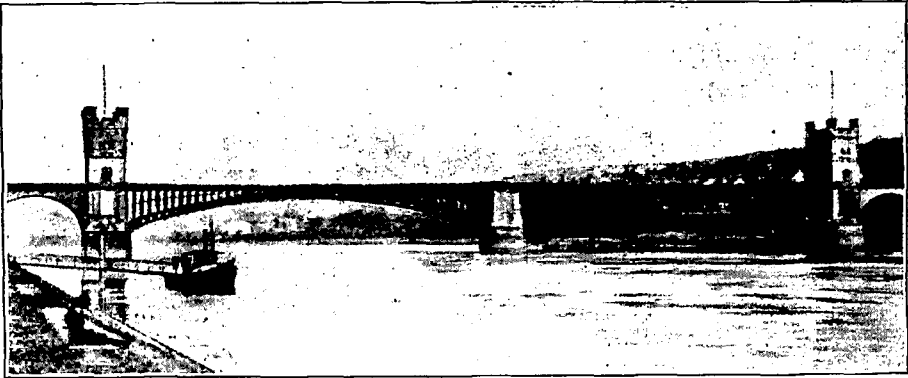


Рис. 95.

Новыя арочныя фермы, поставленныя снаружи на разстояніи 1,5 м. отъ старыхъ, совершенно тождественны съ существующими

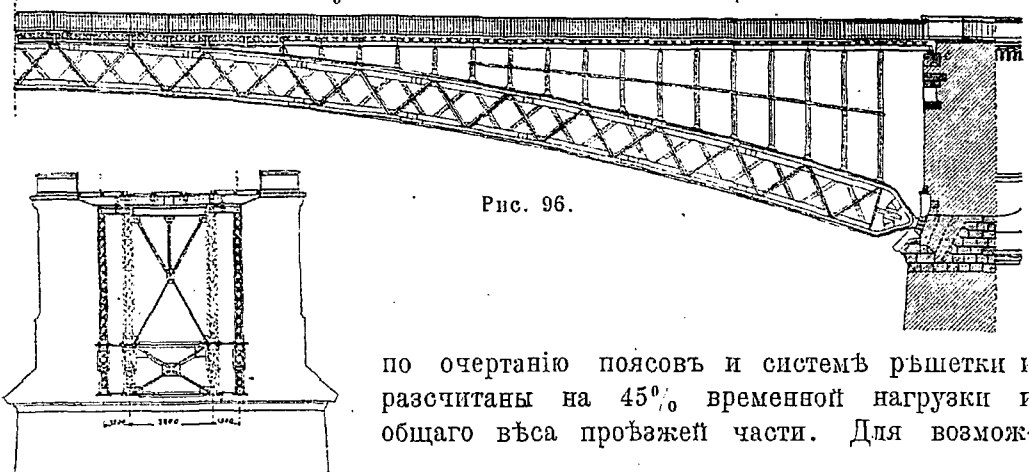


Рис. 96.

по очертанію поясовъ и системъ рѣшетки и рассчитаны на 45% временной нагрузки и общаго вѣса проѣзжей части. Для возмож-

Рис. 97.

<sup>3)</sup> См. Zft. für Bauwesen. 1902. S. 517.

ности независимаго прогиба фермъ, никакихъ жесткихъ соединеній между старыми и новыми арками не сдѣлано, а устойчивость новыхъ фермъ обеспечивается горизонтальными планками, приклепанными къ обоимъ поясамъ смежныхъ арокъ во всѣхъ узлахъ (см. рис. 98 и 99). Правильность принятаго въ расчетъ распределенія нагрузки между новыми и старыми фермами обеспечена устройствомъ опоръ поперечныхъ балокъ на вспомогательныхъ балочкахъ, укрѣпленныхъ шарнирно однимъ концомъ на стойкахъ старыхъ фермъ, а другимъ—на стойкахъ новыхъ (см. рис. 99 и 100), и распределяющихъ давленіе отъ поперечныхъ балокъ на старую и новую арку по закону рычага, обратно пропорціонально разстоянію точки опоры поперечной балки отъ осей указанныхъ стоекъ.

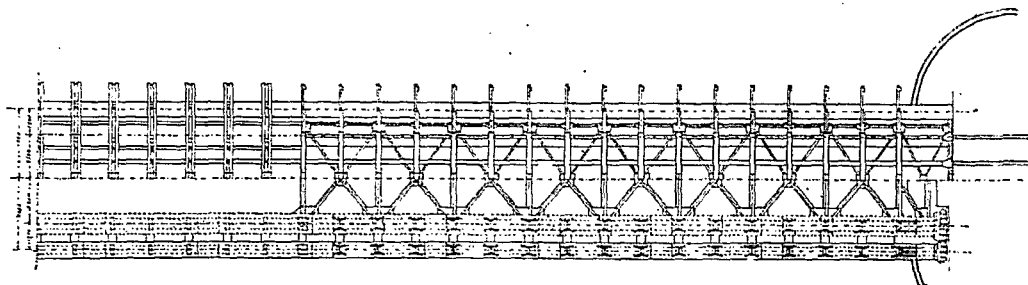


Рис. 98.

Кромѣ постановки новыхъ арочныхъ фермъ, здѣсь было произведено еще усиленіе связей, существовавшихъ въ плоскостяхъ обоихъ поясовъ арокъ и въ плоскости полотна, устроены отсутствовавшія раньше поперечныя связи между старыми фермами, и перестроена проѣзжая часть для соответствія повышеннымъ нагрузкамъ и для полученія уширенныхъ пѣшеходныхъ тротуаровъ.

До усиленія моста путевые рельсы были уложены непосредственно на продольныхъ балочкахъ, расположенныхъ между поперечными, при чемъ послѣднія были поставлены черезъ двѣ панели. При усиленіи число поперечныхъ балокъ удвоено, такъ что новыя удлиненныя для устройства тротуаровъ поперечныя балки поставлены теперь надъ каждой стойкой арки; продольныя балки, укоротившіяся отъ этого вдвое, поставлены болѣе низкія, и рельсовые пути оказалось возможнымъ уложить на деревянныхъ поперечинахъ (см. рис. 101). Во время работъ по усиленію движеніе

по мосту не прерывалось и при усилении связей старых фермъ, а также при постановкѣ новыхъ, производилось по обоимъ путямъ,

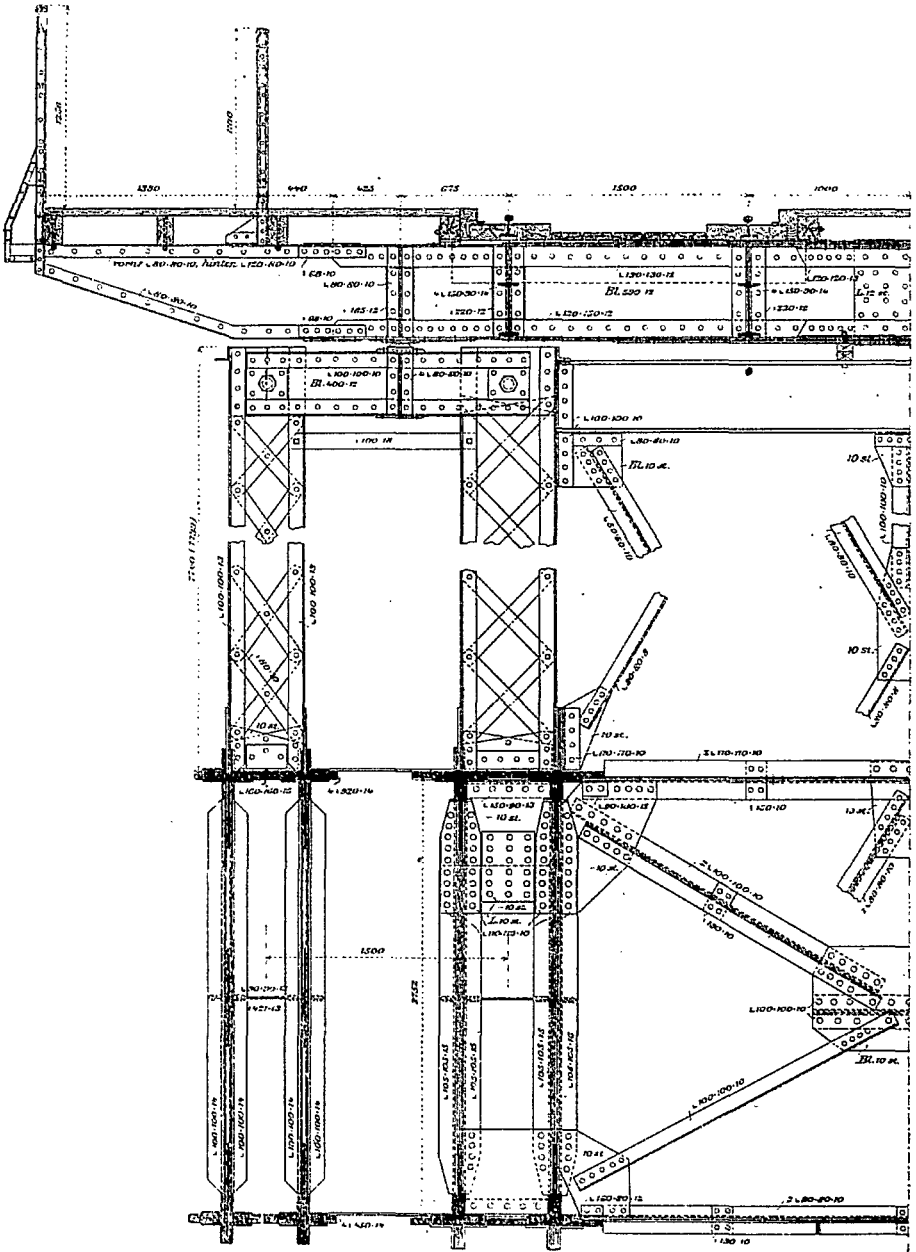


Рис. 99. Деталь поперечнаго разрѣза.

при перестройкѣ же проѣзжей части, въ силу необходимости, переводилось на одинъ путь. Но всѣ работы по переустройству проѣзжей части велись такъ, чтобы въ случаѣ мобилизаціи двухпутное движеніе могло быть восстановлено не позже пяти дней послѣ объявленія ея. При переводѣ движенія на одинъ путь всѣ существующія поперечныя балки помощью клиньевъ были оперты

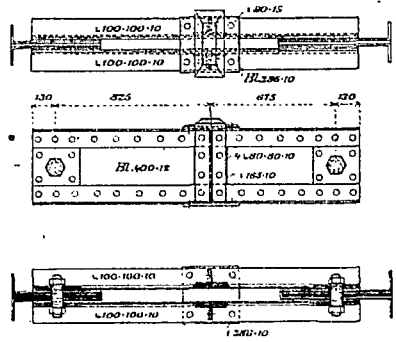


Рис. 100. Вспомогательная балочка.

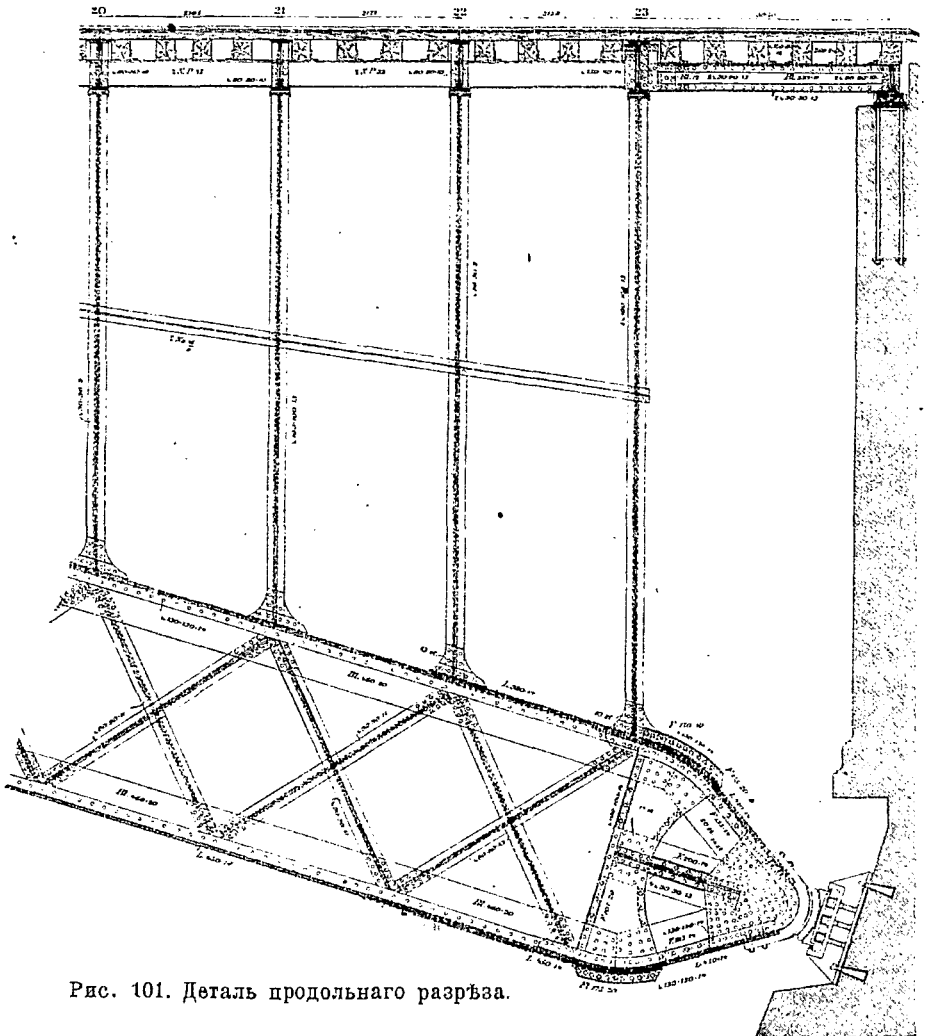


Рис. 101. Деталь продольного разреза.



близъ середины на верхнія распорки вертикальныхъ связей, устроенныя съ этою цѣлью очень сильными, а затѣмъ разрѣзаны точно посерединѣ. Расположеніе клиньевъ ясно видно на рис. 99. Послѣ этого освобожденная отъ рельсоваго пути часть полотна была разобрана и замѣнена новой. Половины новыхъ поперечныхъ балокъ такимъ же способомъ укрѣплялись на распоркахъ связей, приклепывались новыя продольныя балки, возобновлялся разобранный путь и, при переводѣ движенія на него, въ томъ же порядкѣ замѣнялась вторая половина полотна и, наконецъ, окончательно склепывались между собою составленныя половины новыхъ поперечныхъ балокъ. Рис. 102 представляетъ общій видъ работъ по

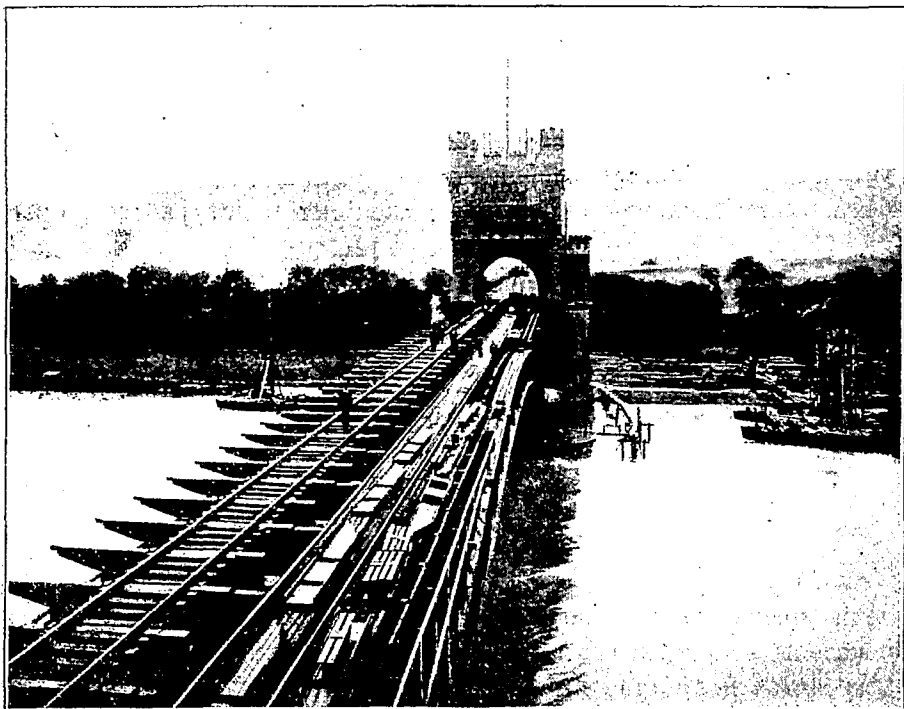


Рис. 102.

переустройству проѣзжей части какъ разъ въ то время, когда закончена укладка одного пути на новыхъ балкахъ и начата разборка второй половины стараго полотна.

### § 12. Другіе способы усиленія фермъ.

Кромѣ указанныхъ выше способовъ, косвенное усиленіе главныхъ фермъ можетъ быть произведено въ нѣкоторыхъ случаяхъ измѣненіемъ способа передачи нагрузки, а именно преобразованіемъ непосредственной нагрузки, вызывающей мѣстный изгибъ поясовъ, въ узловую, посредствомъ устройства поперечныхъ и продольныхъ балокъ; а затѣмъ — устройствомъ новыхъ дополнительныхъ опоръ, вслѣдствіе чего достигается уменьшеніе пролета, и получается возможность сохранить старыя фермы для значительно повышенной временной нагрузки почти безъ усиленія.

### § 13. Подмости для усиленія фермъ.

Заканчивая описаніе способовъ усиленія фермъ, я считаю не лишнимъ привести нѣсколько примѣровъ подмостей для производства работъ по усилению.

При усиленіи проѣзжей части и частичномъ усиленіи фермъ устройства постоянныхъ подмостей въ большинствѣ случаевъ избѣгаютъ по экономическимъ соображеніямъ и всѣ работы по уси-

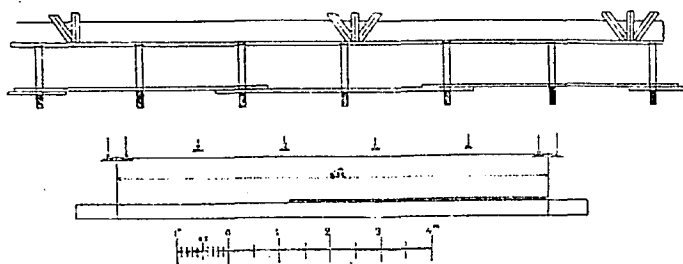


Рис. 103. Схема подвѣсныхъ подмостей.

ленію производить на подвѣсныхъ подмостяхъ, примѣры которыхъ показаны на рисункахъ 103—105. На рис. 103 представлена схема устройства подмостей въ продольномъ и поперечномъ видѣ, а на рис. 104 и 105 — различные способы закрѣпленія подвѣсныхъ хомутовъ: въ первомъ случаѣ хомуты пропущены въ имѣющійся зазоръ между горизонтальными листами пояса и укрѣплены на двухъ штыряхъ; во второмъ же случаѣ хомуты зацѣплены за вертикальные листы нижняго пояса.

Постоянныя подмости для усиленія главныхъ фермъ изображены на рисункахъ 106 и 107. Въ этомъ примѣрѣ по мѣстнымъ

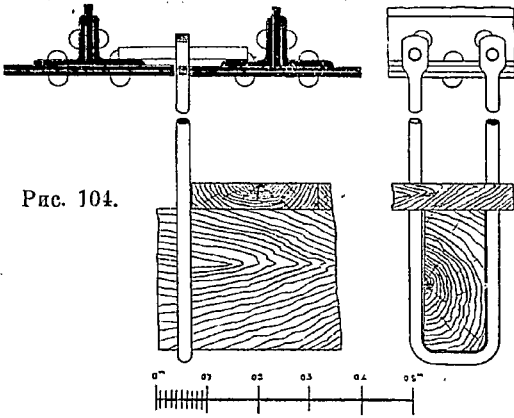


Рис. 104.

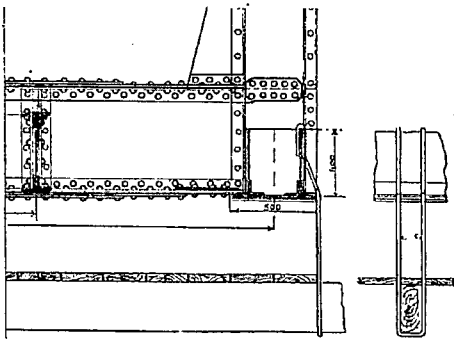


Рис. 105.

условіямъ, изъ-за сплава лѣса, пролеты между свайными опорами допущены не менѣе 8,7 м., а устройство подкосныхъ деревянныхъ подмостей было невозможно по недостаточности свободной высоты, почему перекрытіе пролетовъ сдѣлано двадцатью двутавровыми прокатными балочками. Для удобства производства работъ устроено нѣсколько ярусовъ рабочихъ площадокъ, при чемъ тѣ части этихъ площадокъ, которыя заходили за предѣлы габарита, были закрѣплены шарнирно и передъ проходомъ поѣзда (усиленіе про-

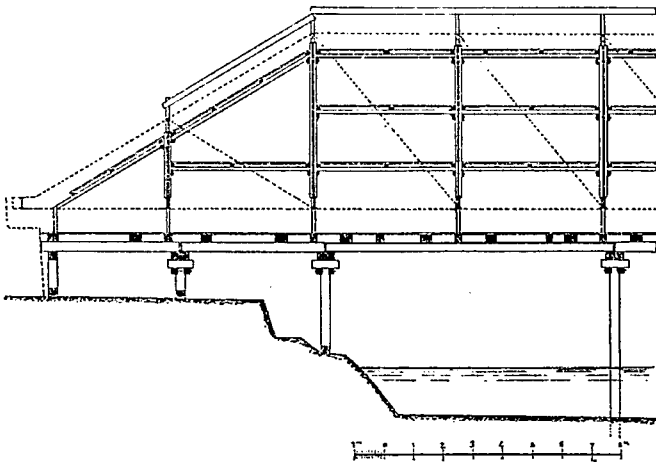


Рис. 106. Фасадъ подмостей.

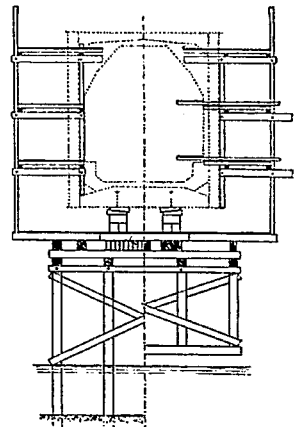


Рис. 107. Поперечный разрѣзь.

изводилось безъ перерыва движенія) помощью веревокъ подымались вверхъ, совершенно освобождая поперечное сѣченіе моста отъ загроможденія.

§ 14. Постановленіе VIII желѣзнодорожнаго конгресса относительно усиленія мостовъ.

Въ заключеніе я привожу постановленіе конгресса по вопросу усиленія мостовъ въ переводѣ особой русской комиссіи изъ членовъ конгресса: Н. А. Бѣлелюбскаго, С. Д. Карейши, Н. Б. Богуславскаго, А. А. Абрагамсона и А. В. Верховскаго. Оно состоитъ изъ слѣдующихъ семи пунктовъ:

„1) Усиленіе или замѣна мостовъ какой-либо желѣзной дороги, въ виду увеличенія скорости поѣздовъ и подвижной нагрузки, вызываютъ всегда значительные расходы и продолжительные сроки исполненія, въ силу чего слѣдуетъ возможно рѣже мѣнять дѣйствующія постановленія.

2) Необходимо озаботиться, чтобы до времени переустройства моста напряженіе металла въ частяхъ его не превосходило предѣльной величины, а потому слѣдуетъ имѣть въ виду соотвѣтственное ограниченіе въ подвижной нагрузкѣ. Въ этомъ отношеніи необходимо предварительное соглашеніе заинтересованныхъ службъ.

3) Всякій разъ при изданіи болѣе строгихъ постановленій относительно сооруженія мостовъ необходимо одновременно имѣть въ виду усиленіе или замѣну новыми мостовъ на существующихъ уже линіяхъ.

Въ противномъ случаѣ пришлось бы производить чрезмѣрные затраты для новыхъ линій въ общемъ съ относительно малымъ движеніемъ, не имѣя въ то же время возможности вводить болѣе тяжелыхъ и болѣе скоростныхъ поѣздовъ на линіяхъ старыхъ съ большимъ движеніемъ.

4) Вопросъ, слѣдуетъ ли произвести усиленіе моста или замѣнить его новымъ, подлѣжитъ въ каждомъ частномъ случаѣ особому разрѣшенію.

Этотъ вопросъ представляется особо важнымъ для сооруженій среднихъ отверстій. Для очень малыхъ пролетовъ эти работы не дороги и легко выполняются. Для весьма значительныхъ пролетовъ необходимость въ усиленіи или замѣнѣ мостовъ новыми является рѣже, притомъ для хорошо выполненныхъ сооруженій

можно допустить нѣкоторое превышеніе предѣльныхъ напряженій, принятыхъ при ихъ постройкѣ.

Если при повѣрочныхъ расчетахъ обнаруживаются въ нѣкоторыхъ частяхъ сооруженія напряженія выше допускаемыхъ по дѣйствующимъ постановленіямъ, изъ этого еще не слѣдуетъ предполагать, чтобы дѣйствительныя усилія достигали опаснаго предѣла. Съ другой стороны, представляется часто выгоднымъ до принятія какого-либо рѣшенія опредѣлять опытнымъ путемъ дѣйствительныя напряженія а также принимать во вниманіе результаты подробнаго осмотра сооруженія.

5) При среднихъ условіяхъ можно въ общемъ принимать, что тонна металла, идущаго на усиленіе моста, стоитъ вдвое дороже, чѣмъ при замѣнѣ стараго моста новымъ, считая въ томъ числѣ и всѣ дополнительные расходы.

При выборѣ одного изъ двухъ рѣшеній: замѣны моста новымъ или его усиленія необходимо принять въ соображеніе какъ указанные выше расходы, такъ и затрудненія, создаваемые движенію.

Усиленіе моста, исполненное при хорошихъ техническихъ условіяхъ, можетъ быть разсматриваемо съ точки зрѣнія безопасности движенія какъ удовлетворительное рѣшеніе.

6) При проектированіи усиленія мостовъ рекомендуется въ общемъ принимать въ основаніе расчетовъ дѣйствующія постановленія по нагрузкамъ для новыхъ мостовъ.

7) Не представляется никакихъ неудобствъ въ примѣненіи литаго желѣза для усиленія мостовъ изъ сварочнаго желѣза“.

Инженеръ П. Камелцевъ.