

4 1.752

На дом
не выдается

О НАИВЫГОДНѢЙШЕЙ СИСТЕМѢ

ВІАДУКОВЪ.

(ИЗЪ ЗАПИСОКЪ ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВЪ ПУТЕЙ СООБЩЕНІЯ.)

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

ТИП. РАФІА ТОВАРИЩЕСТВА «ОБЩЕСТВЕННАЯ ПОЛЬЗА»,

по мойкѣ, № 5.

1871.

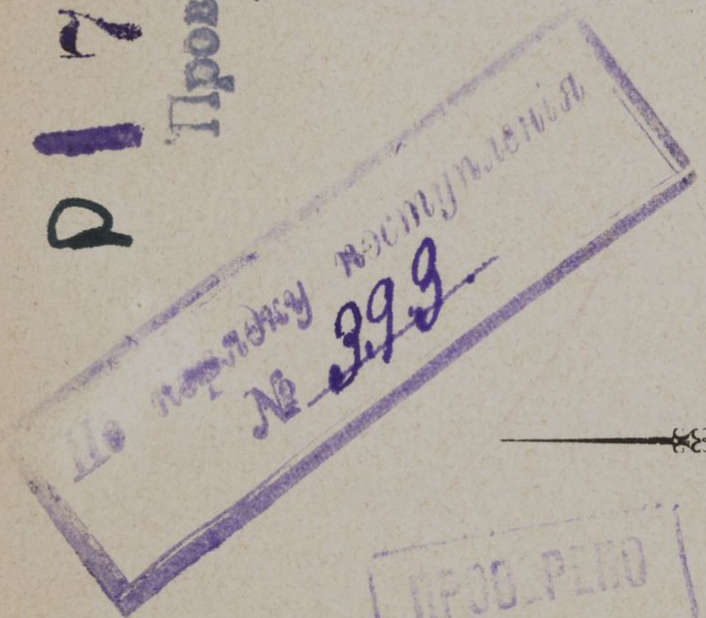
О НАИВЫГОДНѢЙШЕЙ СИСТЕМѢ

ВІАДУКОВЪ.

(ИЗЪ ЗАПСОКЪ ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВЪ ПУТЕЙ СООБЩЕНІЯ).

Р 1 752

Провер. 1935



БИБЛИОТЕКА
ИМПЕРАТОРСКАГО
МОСКОВСКАГО
ТЕХНИЧЕСКАГО УЧИЛИЩА

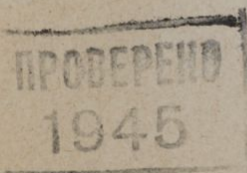


САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

ТИПОГРАФІЯ ТОВАРИЩЕСТВА «ОБЩЕСТВЕННАЯ ПОЛЬЗА»,

по мойкѣ, № 5.

1871.



Проверено
2002 г.

Дозволено ценсурою. С.-Петербургъ, 24 Августа 1871 г.

БИБЛИОТЕКА
ИМПЕРАТОРСКАГО
МОСКОВСКАГО
ТЕХНИЧЕСКАГО УЧИЛИЩА

О НАИВЫГОДНѢЙШЕЙ СИСТЕМѢ ЖЕЛѢЗНЫХЪ ВІАДУКОВЪ.

Проектированіе віадуковъ, въ настоящее время, производится на тѣхъ же основаніяхъ, какъ и обыкновенныхъ мостовъ, именно—пролетная часть и опоры не рассматриваются въ совокупности, а наивыгоднѣйшіе размѣры опредѣляются отдѣльно для опоръ и отдѣльно для пролетныхъ частей. Если же рассматривать вмѣстѣ обѣ сказанныя части, то для віадуковъ наивыгоднѣйшими окажутся подъемистыя фермы, въ составъ которыхъ отчасти будутъ входить и опоры. При разработкѣ, по указаніямъ Его Превосходительства Д. И. Журавскаго, вопроса о пролетныхъ частяхъ віадуковъ, получены выводы, изложенные въ двухъ нижеслѣдующихъ статьяхъ:

- 1) Сравненіе вѣса мостовъ различныхъ системъ.
- 2) Разборъ различныхъ желѣзныхъ подкосныхъ системъ.

Въ третьей затѣмъ статьѣ изложены соображенія о временной нагрузкѣ и о коэффициентахъ прочности, которые должны быть допускаемы въ пролетныхъ частяхъ, какъ желѣзныхъ мостовъ, такъ и віадуковъ.

СТАТЬЯ I.

СРАВНЕНИЕ ВСА ЖЕЛѢЗНЫХЪ МОСТОВЪ РАЗЛИЧНЫХЪ СИСТЕМЪ.

Въ этой статьѣ заключаются изслѣдованія: о вѣсѣ фермъ, непроизводящихъ горизонтальнаго давленія, о вѣсѣ фермъ, производящихъ распоръ, и о предѣльныхъ пролетахъ мостовъ.

А. ВѢСЪ ФЕРМЪ, НЕПРОИЗВОДЯЩИХЪ РАСПОРА.

Разсматривая ферму непроизводящую горизонтальнаго распора, какъ балку, лежащую на двухъ опорахъ, размѣры оной разсчитываютъ относительно продольныхъ и поперечныхъ усилій.

Продольныя усилія, (черт. 1) достигаютъ наибольшаго значенія при полной нагрузкѣ всей фермы.

Называя p — вѣсъ одной панели;

k — нагрузку въ точкахъ дѣленія на панели;

k_1 — нагрузку надъ опорами,

n — длину фермы въ панеляхъ,

l — длину фермы въ футахъ,

a — длину одной панели въ футахъ, получимъ моментъ внѣшнихъ силъ въ сѣченіи x :

$$M = \left(\frac{pn}{2} + \frac{k(n-1)}{2} + k_1 \right) x - (px) \frac{x}{2} - k_1 x - k(x-1) \dots$$

$$M = \frac{px}{2} (n-x) + \frac{k(n-1)}{2} x - \frac{k(x-1)}{2} x = \frac{(p+k)}{2} x (n-x)$$

или, полагая $p+k=q$, $M = q \frac{x}{2} (n-x)$. Слѣд. для различныхъ значеній x величина M представляетъ ординаты параболы.

Поперечныя усилія (черт. 2) получаютъ наибольшія значенія съ лѣвой стороны балки, при нагрузкѣ всей правой стороны отъ разсматриваемаго сѣченія до опоры.

Выдѣлимъ изъ многораскосной системы одну систему раскосовъ, которая начинается на разстояніи x панелей отъ опоры А

и оканчивается на разстояніи β панелей отъ опоры В. Здѣсь $\alpha + \beta = 2d$, гдѣ d высота фермы, выраженная въ панеляхъ. Кроме предъидущихъ обозначеній, примемъ:

h — высота фермы въ футахъ.

$x = \beta + 2rd$ — разстояніе отъ рассматриваемаго сѣченія до опоры В.

T — поперечное усиліе со стороны опоры А, которое будетъ наибольшимъ при расположеніи подвижной нагрузки на всѣхъ точкахъ отъ опоры В до рассматриваемаго сѣченія.

$$T = \frac{1}{4d} \left\{ p(2x + 2d - n) + \frac{q}{n} (x^2 + 2dx + \alpha\beta) \right\} \quad *)$$

*) Формула эта получится слѣдующимъ образомъ: Нагрузка въ какой либо точкѣ, на разстояніи x панелей отъ опоры В, даетъ на опорѣ А составляющую $\frac{p}{n} (\beta + 2rd)$. Измѣняя r для постоянныхъ грузовъ отъ 0 до $\left(\frac{n}{2d} - 1\right)$ и для подвижныхъ отъ 0 до r , получимъ полное противодѣйствіе опоры:

$$A = \frac{p}{n} \left\{ \beta \frac{n}{2d} + 2d \frac{1}{2} \left(\frac{n}{2d} - 1 \right) \frac{n}{2d} \right\} + \frac{k}{n} \left\{ \beta (r + 1) + 2d \frac{1}{2} r(r + 1) \right\}$$

$$A = \frac{p}{2d} \left\{ \beta + \frac{n - 2d}{2} \right\} + \frac{k(r + 1)}{n} \left\{ \beta + dr \right\}.$$

Вычитаемымъ въ этомъ случаѣ будетъ:

$$p \left(\frac{n}{2d} - 1 - r \right). \text{ — Затѣмъ } T = A - p \left(\frac{n}{2d} - 1 - r \right).$$

$$T = \frac{p}{2d} \left\{ \beta + \frac{n - 2d}{2} - n + 2d + 2dr \right\} + \frac{k(r + 1)}{2} (\beta + dr).$$

Замѣчая, что $x = \beta + 2rd$; $2rd = x - \beta$; $r = \frac{x - \beta}{2d}$; $r + 1 = \frac{x + \alpha}{2d}$, полу-

$$\text{чимъ } T = \frac{p}{2d} \left\{ \frac{n - 2d - 2n + 4d}{2} + x \right\} + \frac{k}{2nd} (x + \alpha) \frac{(x + \alpha)}{2}.$$

$$T = \frac{1}{4d} \left\{ p(2x + 2d - n) + \frac{k}{n} (x^2 + 2dx + \alpha\beta) \right\}.$$

По способу Г. Рехневскаго вертикальное напряженіе раскоса получится $T_1 = \frac{1}{4d} \left\{ p(2x - n) + \frac{kx^2}{n} \right\}$ (чер. 3); формула эта даетъ напряженіе мень-

Для системъ, такъ называемыхъ, голландскихъ, состоящихъ изъ стоекъ и раскосовъ, вмѣсто $2d$ должно поставить d и

$$T = \frac{1}{2d} \left\{ p(2x + d - n) + \frac{q}{n} (x^2 + dx + \alpha\beta) \right\}$$

суммуя эти напряженія отъ $x = \frac{n}{2}$ до $x = n$ и прибавляя натяженія обратныхъ раскосовъ, можно получить вертикальное напря-

шее дѣйствительнаго на величину $\frac{k}{4nd} (2dx + \alpha\beta)$. Измѣняя формулу Рехневскаго сообразно дѣйствительному способу передачи подвижныхъ грузовъ, какъ отдѣльно лежащихъ противъ точекъ схода подкосовъ, получимъ $A_{11} = \frac{pn}{2} + \frac{kx}{2n} (x + 1)$, а вертикальное напряженіе подкосовъ (черт. 4)

$$T_{11} = \frac{1}{4d} \left\{ p(2x - n) + \frac{k}{n} x (x + 1) \right\}.$$

Это выраженіе разнствууетъ отъ дѣйствительнаго на величину $T - T_{11} = \frac{k}{4nd} \left\{ 2dx + \alpha\beta - x \right\} = \frac{k}{4nd} \left\{ (2d - 1)x + \alpha\beta \right\}$.

И въ этомъ случаѣ по способу г. Рехневскаго получаются выводы меньшіе дѣйствительныхъ. Если въ выраженіи T въ послѣднемъ членѣ $\frac{k}{4nd} (x^2 + 2dx + \alpha\beta)$ будетъ измѣнять x отъ x до $x - (2d - 1)$ и въ $\alpha\beta = \alpha(2d - \alpha)$ величину α отъ 1 до $2d$, то получимъ: $\frac{k}{4nd} \left\{ \frac{x(x+1)(2x+1)}{6} - \frac{(x-2d)(x-2d+1)(2x-4d+1)}{6} \right\} + \frac{k}{4nd} \left\{ 2d \left(\frac{x + x - 2d + 1}{2} \right) 2d + 2d \left(\frac{2d + 1}{2} \right) 2d - \frac{2d(2d+1)(4d+1)}{6} \right\}$

Или по сокращеніи послѣдній членъ $A_{11} = \frac{kx}{2n} (x + 1)$. Представляя графически (черт. 5) поперечныя усилія, дѣйствующія на раскосы цѣлой большой панели (отъ $x = x - 2d + 1$ до $x = x$), увидимъ, что сумма этихъ поперечныхъ усилій $\frac{kx(x+1)}{2n}$ одинакова для обоихъ способовъ расчета, но частное напряженіе $\frac{kx(x+1)}{4nd}$, принимаемое по способу Рехневскаго, всегда менѣе дѣйствительнаго $\frac{k}{4nd} (x^2 + 2xd + \alpha\beta)$. Примѣръ. Для $n = 40$; $d = 4$; $\alpha = 1$, $\beta = 7$, $x = 39$, величина T дѣйствительная $= 2,875 p + 2,875 k$, а по формулѣ Рехневскаго $T = 2,5 p + 2,5 k$.

женіе всѣхъ раскосовъ въ полуфермѣ, но для сокращенія арифметическихъ передѣлокъ опредѣлимъ сумму поперечныхъ усилій для случая равномерно распределенныхъ подвижныхъ грузовъ. Это упрощеніе, относясь до фермъ всякаго рода, не повліяетъ на вѣрность выводовъ о сравнительномъ вѣсѣ ихъ.

Для равномерно распределенныхъ грузовъ (по чер. 6) поперечныя усилія выразятся формулой $T = \frac{k}{2n} (x^2 - 2nix + in^2)$, гдѣ $q = p + k, i = \frac{q}{k}$. Последнее выраженіе для T представляетъ параболу, площадь которой (чер. 7) даетъ сумму поперечныхъ уси-

лій въ полуфермѣ $\int_0^{\frac{n}{2}} T dx = \frac{kn^2}{48} (1 + 6i) = \frac{n^2}{48} (6p + 7k)$. Если

бы подвижная нагрузка распределена была равномерно по всему пролету, то поперечныя усилія представили бы прямую $T = \frac{q}{2} (n - 2x)$, а сумма ихъ въ полупролетѣ $\frac{qn^2}{8}$ и среднее напряженіе $\frac{qn}{4}$, т. е. $\frac{1}{4}$ вѣса всего моста.

Это очевидно, такъ какъ при нагрузкѣ по всему пролету поперечное усиліе на опорахъ, или вертикальное напряженіе всѣхъ прямыхъ и обратныхъ подкосовъ равно $\frac{qn}{2}$, а въ срединѣ балки нуль; слѣдовательно среднее напряженіе всѣхъ прямыхъ и обратныхъ подкосовъ полуфермы равно $\frac{qn}{4}$. Примѣнимъ полученные формулы къ разнаго рода фермамъ, производящимъ распора.

1. МНОГОРАСКОСНЫЯ ФЕРМЫ.

Поясъ. Пояса многораскосныхъ мостовъ выдерживаютъ всѣ усилія продольныя, проявляющіяся въ фермахъ, и потому пара, об-

разуемая напряженіями ихъ, должна уравновѣшиваться съ моментами внѣшнихъ силъ въ каждомъ сѣченіи. По черт. 8— $Qd = M$.

Если бы на поясъ дѣйствовали только продольныя усилія, то форма поясовъ была бы параболическая съ нулевыми размѣрами по концамъ. Но для противудѣйствія поперечнымъ усиліямъ сопротивленіе концовъ поясовъ не должно быть менѣе $\frac{qn}{4}$; слѣд. до ордонаты, соотвѣтствующей $Q = \frac{qn}{4}$, поясъ долженъ быть плоскій а далѣе параболическій (черт. 9).

Изъ уравненія $\frac{qn}{4R_1} = \frac{qx}{2dR} (n - x)$, или дѣлая $\frac{R}{R_1} = a$

$$\frac{and}{2} = nx - x^2; x^2 - nx = -\frac{and}{2} \text{ получимъ:}$$

$$x = \frac{n}{2} \pm \sqrt{\frac{n^2}{4} - \frac{and}{2}} \text{ Объемъ поясовъ:}$$

$$2 \left\{ 2 \frac{qn}{4R_1} \left(\frac{n}{2} - \sqrt{\frac{n^2}{4} - \frac{and}{2}} \right) + \int_{x_1}^{x_{11}} Q dx \right\} = \frac{gn^2}{2R_1} +$$

$$+ \frac{gn}{R} \left(\sqrt{n^2 - 2and} \right) \left(\frac{n - 2ad}{6d} \right).$$

Отсюда величина пропорціональная объему поясовъ =

$$\frac{qn^3}{6dR} \left\{ \frac{3ad}{n} + \sqrt{1 - 2 \frac{da}{n}} \left(1 - 2 \frac{da}{n} \right) \right\} = \frac{qn^3}{6dR} \left\{ 3v + \sqrt{(1 - 2v)^3} \right\}$$

Здѣсь $v = \frac{ad}{n}$ отношеніе высоты фермы къ длинѣ, умноженное на отношеніе коэффициентовъ $\frac{R}{R_1}$. Если бы весь поясъ былъ параболическій, то величина, пропорціональная объему обоихъ поясовъ, была бы равна $\frac{qn^2 l}{6d}$. Увеличеніе вѣса поясовъ концевыми накладками зависитъ отъ v .

Для $v = 0,1$ вѣсъ пояса увеличится на 1,5 %,

Для $v = \frac{1}{2}$ отъ накладокъ вѣсъ пояса возрастетъ ва 50%.

Для $a = 1,5; \frac{d}{n} = 0,1; v = 0,15$; увеличеніе вѣса = 3,6 %.

Принимая среднимъ числомъ для подъемовъ близкихъ къ $\frac{1}{10}$ запасъ въ 5 %, получимъ вѣсъ поясовъ $= \left(\frac{qn^2}{6d} \right) \frac{21}{20} \cdot \frac{l}{144R} \delta$. Здѣсь δ вѣсъ 1 куб. фута желѣза; $144 \times R$ коэффициентъ прочнаго сопротивленія 1 квадр. фута. Принимая $\frac{6}{144} = 0,093$; $R = 250$ пуд. и $n = 10d$, получимъ вѣсъ поясовъ $= \frac{651}{10^6} qnl$.

Раскосы. Раскосы прямые и обратные передаютъ напряженія отъ 0 до наибольшаго такимъ образомъ, что сумма этихъ вертикальныхъ напряженій въ полупролетѣ выражается формулой $\frac{n^2}{48} (6p + 7k)$, а въ цѣломъ пролетѣ $\frac{n^2}{24} (6p + 7k)$, или съ нѣкоторымъ запасомъ для мостовъ средней величины $0,27qn^2$. Сумма сѣченій всѣхъ раскосовъ плоскостію горизонтальною будетъ $\frac{0,27qn^2}{144 R_1}$. Принимая въ соображеніе, что длина каждаго раскоса равна высотѣ h , раздѣленной на $\cos \alpha$, гдѣ α уголъ раскоса съ вертикальною и что напряженіе передается подъ тѣмъ же угломъ, объемъ раскосовъ будетъ $\frac{0,27qn^2}{144R_1} \cdot \frac{h}{\cos^2 \alpha}$, гдѣ $nh =$ длинѣ фермы l . Или по сокращеніи $(0,27qnl) \frac{1}{R_1 \cos^2 \alpha} \cdot \frac{1}{144}$; вѣсъ $0,27qnl \frac{\delta}{144R_1 \cos^2 \alpha}$. Для $R_1 = 200$; $\alpha = 45^\circ$; $\frac{18}{144} = 0,093$, вѣсъ подкосовъ $\frac{252}{10^6} qnl$.

Стойки на опорахъ. Приблизительно имѣютъ вѣсу $\left(\frac{qn^2}{144R_1} h \delta \right) 2 = \left(\frac{qn}{144R_1} \frac{l}{10} \delta \right) 2 = \dots \dots \frac{93}{10^6} qnl$.

Связи, поперечины и настилъ отъ системы фермы не зависятъ.

Затѣмъ вѣсъ многораскосной фермы, при отношеніи высоты фермы къ пролету въ 0,1 будетъ $\left(\frac{651 + 252 + 93}{10^6} \right) qnl \dots \dots \frac{qnl}{1000}$.

II. ГОЛЛАНДСКАЯ ФЕРМА.

Вѣсѣ поясовъ по предыдущему $\frac{651}{10^6} qnl$,

Вѣсѣ раскосовъ. Прямые раскосы въ этой системѣ замѣняются (чер. 10) сжатыми стойками, и обратные вытянутыми раскосами. Сила P , дѣйствуя на сжатый раскосъ, производитъ на него нажатіе $= \frac{P}{\cos \alpha}$, которое сполна передается на вытянутый подкосъ, и общее напряженіе обоихъ будетъ $2 \frac{P}{\cos \alpha}$. Поперечное сѣченіе подкосовъ будетъ $2 \frac{P}{R \cos \alpha}$, длина $\frac{a}{\sin \alpha}$; слѣд. объемъ $\frac{2Pa}{R \cos \alpha \sin \alpha} = V$. Для наименьшаго значенія объема $\alpha = 45^\circ$, $V_{min} = \frac{4Pa}{R}$.

Для голландской системы объемъ стойки $\frac{Ph}{R}$ и объемъ подкоса $\frac{Pb}{R} \cdot \frac{1}{\sin \beta \cos \beta}$. Обѣ части вмѣстѣ

$$Y' = \frac{Pb}{R} \left(\frac{1}{\operatorname{tg} \beta} + \frac{1}{\sin \beta \cos \beta} \right) = \frac{Pb}{R} \left(\frac{1 + \cos^2 \beta}{\sin \beta \cos \beta} \right).$$

Для наименьшаго значенія V' имѣемъ:

$$\frac{1}{d\beta} d \left(\frac{1 + \cos^2 \beta}{\cos \beta \sin \beta} \right) = 0.$$

$$2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta + \cos^2 \beta - \sin^2 \beta + \cos^4 \beta - \sin^2 \beta \cos^2 \beta = 0$$

$$\operatorname{tg}^2 \beta = \sqrt{2}.$$

Отсюда $\beta = 55^\circ$; $\cos \beta = \sqrt{\frac{1}{3}}$; $\sin \beta = \sqrt{\frac{2}{3}}$.

$$V_{min} = \frac{Pb}{R} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} + \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{3} \cdot \frac{2}{3}}} \right) = 2 \sqrt{2} \frac{Pb}{R}.$$

При одинаковой высотѣ фермъ $h = h_1$; $\frac{a}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{b}{\operatorname{tg} \beta}$,

$$b = a \frac{tg\beta}{tg\alpha} = a \sqrt{2}^*); \text{ слѣд.}$$

$$V'_{min} = V_{min}.$$

И затѣмъ вѣсь раскосовъ $\frac{252}{10^6} qnl$.

Стойки на опорахъ $\frac{93}{10^6} qnl$.

Слѣдовательно теоретическій вѣсь основныхъ частей голландской фермы, подобно многораскосной, равенъ — $\frac{qnl}{1000}$.

Въ дѣйствительности вѣсь голландской фермы долженъ быть нѣсколько болѣе многораскосной:

1) По значительности величины панелей, во многихъ случаяхъ, неудобно углу β придавать наивыгоднѣйшую величину въ 55° , а съ уменьшеніемъ этого угла увеличивается вѣсь раскосовъ. Такъ напр. для $\beta = 45^\circ$, $V_1 = \frac{Pb}{R} (1 + 2)$, гдѣ $b=a$; число же прямоугольныхъ треугольниковъ вдвое болѣе числа равнобедренныхъ треугольниковъ многораскосной системы. Слѣдов. $V = 2 \frac{Pa}{R} 3 = 6 \frac{Pa}{R}$. Это увеличеніе вознаградится нѣсколько тѣмъ, что сжимаемая стойки голландской фермы будутъ короче сжатыхъ раскосовъ фермы многораскосной.

2) Раскосы, пересѣкаясь между собою, образуютъ катеты прямоугольниковъ (чер. 11), которыхъ гипотенузами будутъ длины стоекъ голландской системы; слѣдовательно для этой послѣдней продольный изгибъ стоекъ возможнѣе. Впрочемъ, какъ выше замѣчено, это неудобство покрывается уменьшеніемъ общей длины сжатыхъ частей.

и 3) Близъ середины фермъ, между точками раздѣла грузовъ, необходимо поставить добавочные раскосы.

*) Число треугольниковъ голландской фермы менѣе числа раскосныхъ паръ въ пропорціи $\sqrt{2}$, но въ той же пропорціи растутъ нагрузки на каждую панель голландской ферма, такъ что сумма напряженій всѣхъ частей рѣшетки остается неизмѣнною.

III. БАЛОЧНАЯ СИСТЕМА.

Вѣсъ поясовъ $\frac{651}{10^6} qnl$.

Вѣсъ стѣнки балочной фермы. Среднее вертикальное напряженіе стѣнки, какъ выше выведено $0,27qn$. Соотвѣтственная площадь въ вертикальномъ сѣченіи $\frac{0,27qn}{144R_1}$; объемъ $\frac{0,27qnl}{144R_1}$; вѣсъ $\frac{0,27qnl\delta}{144R_1}$. — Для $R_1 = 200$, получимъ вѣсъ стѣнки $\frac{0,27 \cdot 0,093}{200} qnl = \frac{2511}{10^7} \frac{qnl}{2} = \frac{126}{10^6} qnl$.

На основаніи этого вывода г. Collignon предположилъ, что вѣсъ сплошной стѣнки балочныхъ мостовъ вдвое менѣе вѣса раскосовъ и что только ужасающій видъ балочныхъ мостовъ заставляетъ предпочитать имъ мосты многораскосные. Но причина этого предпочтенія заключается вовсе не въ ужасающемъ видѣ балочныхъ мостовъ, а въ невозможности выполнить стѣнку формы, обусловливаемой вѣсомъ оной въ $\frac{126}{10^6} qnl$.

Толщина листа въ разрѣзѣ стѣнки горизонтальною плоскостію по срединѣ высоты фермы (чер. 12) опредѣляется формулою:

$$e = \frac{T}{R_{11}h_1}.$$

Здѣсь e толщина стѣнки.

T — поперечное усиліе въ рассматриваемомъ сѣченіи.

R_{11} — коэффициентъ скалыванія $= \frac{7}{9} R$.

h_1 — Плечо пары продольныхъ напряженій $= (0,9 d)$ для балочной фермы и $(\frac{2}{3} d)$ для прямоугольнаго сѣченія (чер. 14).

$e = \frac{T}{\frac{7}{9} R \cdot 0,9 d}$; отсюда $de = \frac{10}{7} \frac{T}{R}$.

Затѣмъ, принимая въ соображеніе скалываніе, вѣсъ стѣнки = $\frac{10}{7} \cdot \frac{126}{10^6} qnl = \frac{180}{10^6} qnl$.

Форма стѣнки въ горизонтальномъ сѣченіи (чер. 13) балки по нейтральной оси не можетъ быть выполнена съ такою точно-стію, какъ при мостахъ многораскосныхъ и вся заштрихованная площадь $\frac{2}{3} \left(q \frac{n}{2} - k \frac{n}{8} \right) n = \frac{n^2}{12} (4q - k)$ будетъ бесполезною прибавкою. Принимая, какъ въ многораскосныхъ мостахъ, $k = \frac{2}{3} q$, получимъ добавокъ $= \frac{5}{18} qn^2$. Необходимая площадь $\left(\frac{qn}{2} \right) n = \frac{5}{18} qn^2 = \frac{4}{18} qn^2$. Или добавокъ въ 1,25 раза болѣе дѣйстви-тельно необходимой площади.

Затѣмъ полный вѣсъ стѣнки $(1 + 1,25) \frac{180}{10^6} qnl \dots \dots \frac{405}{10^6} qnl$.

Вѣсъ поясовъ и стѣнки $\frac{651 + 405}{10^6} qnl \dots \dots \dots \frac{1056}{10^6} qnl$.

Полученный выводъ нѣсколько больше дѣйствительнаго, ибо въ балочныхъ мостахъ часть продольныхъ усилій передается на стѣнку и тѣмъ уменьшаются размѣры поясовъ.

Площадь стѣнки $de = \frac{10}{7} \cdot \frac{T}{R} = \frac{5}{7} \cdot \frac{pn}{R}$ —

Моментъ продольныхъ силъ $\frac{T}{R} \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{5}{7} \cdot \frac{qn}{R} \right) \frac{2}{3} d = \frac{5}{42} qnd$ (чер. 14).

Уменьшеніе вѣса поясовъ равно $2 \left(\frac{5}{42} \cdot \frac{qnd}{d} \right) \frac{1.0,093}{R} = \frac{31}{1400} \cdot \frac{qnl}{R} = \frac{1240}{14 \cdot 10^6} qnl \dots \dots \dots \frac{89}{10^6} qnl$.

Дѣйствительный вѣсъ поясовъ и стѣнки =

$= \frac{1056 - 89}{10^6} qnl \dots \dots \dots \frac{967}{10^6} qnl$.

Вѣсъ стоекъ, подобно какъ въ многораскосныхъ мо-
стахъ, $= \dots \dots \dots \frac{93}{10^6} qnl$.

Всего въ балочной фермѣ $\frac{967 + 93}{10^6} qnl \dots \dots \dots \frac{1060}{10^6} qnl$

Слѣдовательно въ мостахъ, гдѣ k достигаетъ величины $\frac{2}{3} q$, балочная система на 6 % тяжелѣе многораскосной.

Для $k = \frac{4}{5} q$, $4q - k = \frac{16}{5} q$; увеличеніе вѣса балочнаго моста не превзойдетъ сравнительно съ многораскоснымъ четырехъ процентовъ.

Очевидно, съ увеличеніемъ отношенія $\frac{k}{q}$, т. е. съ уменьшеніемъ размѣровъ балочной фермы, вѣсъ таковой стремится сравняться съ вѣсомъ многораскосной фермы. По соображенію съ существующими мостами можно заключить, что при пролетахъ менѣе 10 саж. величины вѣса балочныхъ и многораскосныхъ фермъ будутъ одинаковы.

IV. СРАВНЕНІЕ ТРЕХЪ ОСНОВНЫХЪ МОСТОВЫХЪ ФЕРМЪ.

1) Для мостовъ небольшихъ отверстій (примѣрно до 10 саж.) наивыгоднѣйшею будетъ балочная система: по простотѣ сборки и большей, при томъ же вѣсѣ, жесткости. Въ балочной системѣ потребуется гораздо менѣе добавочныхъ накладокъ и связей, особенно если поперечины могутъ быть закрѣплены по срединѣ высоты фермъ.

2) Для мостовъ средней величины и большихъ наилучшая система многораскосная, въ случаѣ ѣзды по верху, и голландская, въ случаѣ ѣзды по низу. При употребленіи послѣдней системы, уголъ наклоненія подкосовъ должно выбирать по возможности ближе къ наивыгоднѣйшему. Нѣкоторое же уклоненіе отъ наивыгоднѣйшаго расположенія съ избыткомъ вознаградится увеличеніемъ жесткости фермъ отъ употребленія стоекъ и удобствомъ закрѣпленія поперечинъ. Это послѣднее устройство въ многораскосныхъ мостахъ, въ случаѣ ѣзды по низу, затруднительно.

V. ЗАМѢЧАНІЕ О НАИВЫГОДНѢЙШЕЙ ФОРМѢ БРУСЬЕВЪ.

Вопросъ о формѣ брусевъ равнаго сопротивленія подробно изслѣдованъ Winkler'омъ, но полученныя имъ формы удовлетворяютъ условіямъ выгодности только относительно продольныхъ и поперечныхъ усилій, но не продольно-разслаивающихъ. Напримѣръ, наивыгоднѣйшая форма бруса, лежащаго на двухъ опорахъ и нагруженнаго равномерно, относительно продольныхъ и поперечныхъ усилій представлена на черт. 15. Продольныя разслаивающія усилія по среднему горизонтальному сѣченію выражаются формулой $e = \frac{T}{R_1 h_0}$, или $e h_0 = \frac{T}{R_1}$. — Этотъ выводъ показываетъ, что съ уменьшеніемъ высоты балки должна возрастать ширина поперечнаго сѣченія оной и для $h = 0$, $h_0 = 0$ и $e = \infty$.

Въ частномъ случаѣ бруса съ прямоугольнымъ поперечнымъ сѣченіемъ (чер. 14) $h_0 = \frac{2}{3} h$;

$$e = \frac{T}{R_1 \frac{2}{3} h} = \frac{3}{2} \frac{T}{R_1 h}$$

Надъ опорой высота $h = \frac{q n}{2 R b}$; $R_1 = \frac{7}{9} R$; отсюда для $T = \frac{q n}{2}$

$$e R_1 = \frac{q n}{2} : \frac{2}{3} \frac{q n}{2 R b} = \frac{3}{2} R b; \frac{7}{9} R e = \frac{3}{2} R b.$$

$$e = \frac{27}{14} b = 2b, \text{ гдѣ } b \text{ ширина пояса.}$$

Этотъ выводъ показываетъ, что накопечникъ А бруса равнаго сопротивленія, лежащій на опорѣ, по вѣсу ни въ какомъ случаѣ не будетъ легче стойки многораскоснаго или балочнаго моста.

VI. СИСТЕМА СТЯНУТЫХЪ ДУГЪ *).

Разсматривая ферму, состоящую изъ параболическаго

*) Въ этой статьѣ и дальнѣйшей q полный грузъ одного фута фермы и n величина пролета въ футахъ.

верхняго пояса и затяжки, получимъ для расчета слѣдующія данныя:

Уравненіе параболы (чер. 16) $y^2 = \frac{n^2}{4d} x$.

Сжатіе дуги въ какомъ либо сѣченіи $T = \sqrt{q^2 y^2 - Q^2}$.

Горизонтальный распоръ $Q = \frac{pn^2}{8d}$; тангенсъ угла въ разсма-
триваемомъ сѣченіи $\frac{dy}{dx} = \frac{Q}{qy}$.

Размѣры дуги. Площадь сѣченія дуги $= \frac{T}{R}$. —

Объемъ элемента дуги $\frac{T}{R} ds$. — Объемъ всей дуги

$$\int_{-\frac{n}{2}}^{+\frac{n}{2}} \frac{T}{R} ds = \frac{1}{R} \int_{-\frac{n}{2}}^{+\frac{n}{2}} \sqrt{q^2 y^2 - Q^2} ds = \frac{1}{R} \int_{-0,5n}^{+0,5n} dx \cdot \sqrt{p^2 y^2 - Q^2}$$

$$\sqrt{1 + \frac{dy^2}{dx^2}} = \frac{1}{R} \int_{-0,5n}^{+0,5n} \frac{dx}{qy} (q^2 y^2 - Q^2) = \frac{1}{R} \int_{-0,5n}^{+0,5n} (q^2 y^2 - Q^2) \frac{dy}{Q} =$$

$$= \frac{1}{R} \left\{ \frac{q^2}{3Q} y^3 - Qy \right\}_{-0,5n}^{+0,5n} = \frac{1}{R} \left(\frac{2}{3} qnd - \frac{qn^3}{8d} \right).$$

Вѣсъ арки $\frac{\delta qn}{144R} \left\{ \frac{2}{3} d + \frac{n^2}{8d} \right\}$. Для $R = 250$.

$$P = \frac{372}{10^6} qn \left\{ \frac{16d^2 + 3n^2}{24d} \right\}$$

Для $d = 0,1n$; $P = 155.3,16 \frac{qn^2}{10^6}$.

Наконецъ вѣсъ дуги $\frac{490}{10^6} qn^2$.

Вѣсъ затяжки $\frac{\delta}{144R} \cdot Qn = \frac{372}{10^6} \cdot \frac{qn^2}{8d} \dots = \frac{465}{10^6} qn^2$.

Вѣсь стѣнки или раскосовъ.

Промежуточная часть служить только для передачи на дугу вѣса затяжки и подвижнаго груза, что по предъидущимъ допущеніямъ составить около $\frac{5}{6} qn$. Средняя высота промежуточной части $\frac{2}{3} d$; слѣд. объемъ $\frac{2}{3} \cdot \frac{5}{6} \cdot \frac{qnd}{R} = \frac{qnd}{450} = \frac{qn^2}{4500}$.

Здѣсь R , въ пользу системы стянутахъ дугъ, принять равнымъ 250 пудамъ.

Въ случаѣ передачи раскосами объемъ удвоится и затѣмъ вѣсъ части между дугой и прогономъ $= \frac{42}{10^6} qn^2$.

Всего въ фермѣ по системѣ стянутахъ дугъ, не считая вѣса частей на опорахъ, $\frac{490 + 465 + 42}{10^6} qn^2 = \frac{qn^2}{1000}$.

VII. СИСТЕМА ШВЕДЛЕРА.

Эта система представляетъ переходъ отъ голландской системы съ системѣ стянутахъ дугъ. — Здѣсь на счетъ облегченія раскосовъ и стойки возрастаетъ вѣсъ верхняго пояса и общій вѣсъ фермы останется неизмѣнно $\frac{qn^2}{1000}$.

По Шведлеру (Памятная книжка Недзялковскаго, стр. 2038), для расчета вѣсовъ фермъ съ поясами параболическими и прямыми могутъ служить формулы съ коэффициентами:

Для параболы $0,0231 \lambda + 0,011$.

» прямой $0,0154 \lambda + 0,052$.

Здѣсь для $\lambda = \frac{l}{d} = 10$, параболическая ферма всегда тяжелѣе прямой. Для равенства вѣсовъ $0,0077 \lambda = 0,041$; $\lambda = \frac{410}{77} = 5,33$.

Слѣдовательно выгодность системы увеличивается по мѣрѣ обращенія оной въ простую стропильную, и тогда только достигнуто будетъ равенство вѣса оной съ многораскосною, когда отношеніе подъема къ пролету будетъ $\frac{1}{5,33} = \frac{3}{16}$ и болѣе.

Кромѣ большей, сравнительно съ многораскосными фермами, затруднительности сборки, въ видоизмѣненной системѣ Шведлера проявляется стремленіе къ продольному изгибу въ верхнемъ поясѣ (чер. 17).

VIII. СИСТЕМА ПАУЛИ.

Вѣсъ двухъ параболическихъ поясовъ.	$\frac{980}{10^6} qn^2$.
Вѣсъ средней части.	$\frac{42}{10^6} qn^2$.
Вѣсъ наконечниковъ, замѣняющихъ опорныя стойки. . .	$\frac{93}{10^6} qn^2$.
Всего	$\frac{8}{7} \cdot \frac{qn^2}{10^3}$.

При этомъ замѣтитъ слѣдуетъ, что въ случаѣ ѣзды по верху надъ фермой Паули потребуются стойки и прогонъ, чѣмъ вѣсъ системы увеличится и видъ сбоку получится безобразный. — Въ случаѣ же ѣзды по низу, для поддержанія концовъ потребуются добавочныя стойки и половой настиль долженъ быть подвѣшенъ прутьями.

Для приведенія фермы Паули къ одинаковому съ многораскосною вѣсу необходимо увеличить: или высоту фермы, или же допускаемые коэффициенты сопротивленія.

IX. СИСТЕМА ФИНКА.

При одинаковости подъемовъ, система Финка представляетъ многораскосную систему, въ которой вѣсъ нижняго пояса возмѣщается вѣсомъ жесткихъ бабокъ, легкой продольны, соединяющей поперечины и избыткомъ вѣса наклонныхъ затяжекъ, представляющихъ собою подкосы многораскоснаго моста, расположенные не подъ наивыгоднѣйшими уклонами.

Б. ВѢСЪ СИСТЕМЪ СЪ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМЪ РАСПОРОМЪ.

Изъ этихъ системъ рассмотримъ слѣдующія:

I. ПОДВѢСНАЯ СИСТЕМА.

Въ этой системѣ:

Вѣсъ дуги параболической	$\frac{490}{10^6} qn^2$
Вѣсъ прутьевъ, подобно какъ въ системѣ стяну- тыхъ дугъ	$\frac{42}{10^6} qn^2$
Вѣсъ прогона приблизительно	$\frac{84}{10^6} qn^2$
Вѣсъ опорныхъ стоекъ, сообразно многораскоснымъ фермамъ	$\frac{93}{10^6} qn^2$
Вѣсъ удерживающихъ цѣпей $2 \cdot \frac{d}{\cos \alpha} \cdot \frac{Q}{\cos \alpha} \cdot \frac{\delta}{R} = 4 d \frac{qn^2}{8d} \cdot \frac{\delta}{144R}$ $= \frac{186}{10^6} qn^2$	
Всего	$\frac{895}{10^6} qn^2$

Остальные $\frac{105}{10^6} qn^2$ потребуются для тѣхъ частей удерживающихъ цѣпей, которыя впущены въ устой.

II. АРОЧНАЯ СИСТЕМА.

Въ системахъ арочныхъ, при подъемѣ въ $\frac{1}{10}$, рассчитывая по способу Августиновича и Риттера, получимъ:

Вѣсъ дуги	$\frac{490}{10^6} qn^2$
Вѣсъ прогона	$\frac{100}{10^6} qn^2$
Вѣсъ стоекъ и подкосовъ	$\frac{50}{10^6} qn^2$
Всего	$\frac{640}{10^6} qn^2$

Отсюда явствуется, что только при арочной фермѣ можетъ быть сэкономлено до $\frac{1}{3}$ матеріала, потребнаго на построение многораскоснаго моста. — Но въ замѣнъ экономіи, происходящаго главнымъ образомъ отъ излишества въ этой системѣ нижняго пояса, необходимо:

1) Увеличить размѣры опоръ для предупрежденія скольженія въ пятахъ.

2) Для предупрежденія вреднаго дѣйствія температуры въ пятахъ и ключѣ необходимо сдѣлать шарниры. При такомъ расположеніи, а особенно при шарнирахъ въ ключѣ, ферма становится неустойчивою.

С. ЗАМѢЧАНІЕ О ПРЕДѢЛЬНЫХЪ ПРОЛЕТАХЪ МЕТАЛЛИЧЕСКИХЪ МОСТОВЪ.

Во 2-ой книжкѣ журнала Министерства Путей Сообщенія за 1853 годъ помѣщенъ слѣдующій расчетъ предѣльнаго пролета.

1. ДЛЯ ЦѢПНЫХЪ МОСТОВЪ.

Если (чер. 16) P , будетъ полный вѣсъ моста $= P$ суммѣ всѣхъ остальныхъ грузовъ кромѣ цѣпи $+ S \omega \delta$ вѣсъ самой цѣпи, то $T = \frac{P}{2 \cos \alpha} = 144 R \omega$

$$\text{Отсюда } \frac{P + S \omega \delta}{2 \cos \alpha} = 144 R \omega$$

$$\omega = \frac{P}{288 R \cos \alpha - S \delta} \cdot \text{При } n = 10d$$

$$\cos \alpha = \frac{d}{\sqrt{\frac{n^2}{16} + d^2}} = \frac{4}{\sqrt{116}} = 0,375.$$

$$\omega = \frac{P}{108 R - 1,03 n \delta}; \text{ для } \delta = 13, 4 \text{ пуда}$$

$$\omega = \frac{P}{108 R - 13,8 n} \cdot \text{Отсюда}$$

$$\omega = \infty \text{ при } n = \frac{1080}{138} R = 7,8R.$$

II. ДЛЯ АРОЧНЫХЪ МОСТОВЪ.

Примѣняя предъидущій способъ расчета къ арочнымъ мостамъ, выпишемъ вѣсъ частей арочной фермы, выдѣляя $\delta = 13,4$ п.

$$\text{Вѣсъ дуги } \frac{490}{10^6} q n^2 = \dots \dots \dots \frac{37}{10^6} q n^2 \delta.$$

$$\text{Вѣсъ раскосовъ и прогона } \frac{150}{10^6} q n^2 = \frac{11}{10^6} q n^2 \delta.$$

$$\text{Вѣсъ поперечинъ, связей и настила } a n.$$

$$\text{Полный вѣсъ фермы} = \frac{48}{10^6} q n^2 \delta + a n = p n.$$

$$\text{Или круглымъ числомъ } p = \frac{50}{10^6} q n \delta + a.$$

Зная что $q = p + k$, получимъ $20000 p = (p + k) n \delta + 20000 a.$

$$\text{Отсюда } p = \frac{k n \delta + 20,000 a}{20,000 - n \delta}.$$

Коефициентъ 20,000 полученъ въ предположеніи $R = 250$ пудовъ; слѣд. $20000 = 80 R$

$$p = \frac{k n \delta + 80 R a}{80 R - n \delta}.$$

$$\text{Для } p = \infty, \text{ имѣемъ } 80 R - n \delta = 0; n = \frac{80}{\delta} R.$$

Очевидно, что предѣльный пролетъ возрастаетъ съ возрастаніемъ отношенія $\frac{R}{\delta}.$

$$\text{Для дерева } \frac{R}{\delta} = \frac{250}{1,25} = 200; n = 16000.$$

$$\text{Для желѣза } \frac{R}{\delta} = \frac{1340}{13,4} = 100; n = 8000.$$

При условіи прочнаго сопротивленія желѣзнаго арочнаго моста $R = 250$ пуд. $\frac{R}{\delta} = 18,6.$

Затѣмъ $n = 6 R$. Сравнительно съ висячими мостами выходитъ разни́ца по той причинѣ, что при расчетѣ предѣльнаго пролета цѣпнаго моста введенъ только собственный вѣсъ цѣпи. Если исключить вѣсъ раскосовъ арочнаго моста, то получимъ $n = \frac{48}{37} \cdot 6 R = 7,8 R$.

III. ДЛЯ МНОГОРАСКОСНЫХЪ МОСТОВЪ.

Вѣсъ поясовъ $\frac{651}{10^6} q n^2$	$\frac{12}{10^3} q n^2 \frac{\delta}{R}$
» раскосовъ $\frac{252}{10^6} q n^2$	$\frac{4,7}{10^3} q n^2 \frac{\delta}{R}$
» связей	$\frac{0,8}{10^3} q n^2 \frac{\delta}{R}$

Добавки на накладки, головки заклепокъ и на замѣну пробитыхъ дыръ около 19% $\frac{20,75}{10^3} q n^2 \frac{\delta}{R}$

Вѣсъ поперечинъ, настила, накладокъ и заклепокъ, количество которыхъ не зависитъ отъ величины пролета (для желѣзной дороги $7,5n$) an

Затѣмъ вѣсъ фермы: $pn = \frac{20,75}{10^3} q n^2 \frac{\delta}{R} + an$.

$$p = \frac{20,75}{10^3} \cdot \frac{\delta}{R} \cdot n (p + k) + a$$

$$\text{Отсюда } p = \frac{nk + 48,4 \frac{R}{\delta} a}{48,4 \frac{R}{\delta} - n}$$

$$\text{Для } \delta = 13,392, — p = \frac{nk + 3,6 R \cdot a}{3,6 R - n}$$

$$\text{Для } R = 250 \text{ пуд.}; p = \frac{nk + 900 \cdot a}{900 - n}$$

Примѣръ. Веребьинскаго и Мстинскаго мостовъ $n = 200$ фут.; $k = 45$ пудовъ; $a = 7,5$;

$$p = 45 \frac{200 + 150}{700} = 22,5 \text{ пуд.}$$

$$\begin{array}{l} \text{Вѣсъ стоекъ} \frac{93}{10^6} q^n = \frac{93}{10^6} \cdot \frac{135}{2} \cdot 200 = \frac{93 \cdot 27}{2000} = 1,25 \text{ п.} \\ \text{» подкладокъ и прочее. } 1,25 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Вѣсъ стоекъ} \\ \text{» подкладокъ и прочее.} \end{array}} \right\} \begin{array}{l} \text{Всего} \\ 25 \text{ пуд.} \end{array}$$

Возвращаясь къ начальной формулѣ для опредѣленія вліянія отношенія $\frac{R}{\delta}$ на величину пролетовъ, получимъ $p = \infty$ для $48,4 \frac{R}{\delta} - n = 0$.

Для коэффициента разрыва дерева $\frac{R}{\delta} = \frac{250}{1,25} = 200; n = 9680$ футовъ.

Для коэффициента разрыва желѣза $\frac{R}{\delta} = \frac{1340}{13,4} = 100; n = 4840$ футовъ.

Для $R = 250$ п. $\frac{R}{\delta} = 18,6; n = 900^*)$ футовъ.

Всѣ вышеприведенные выводы, до подтвержденія ихъ повѣркою правильно рассчитанныхъ существующихъ мостовъ, должно считать только приблизительными. Несомнѣннымъ остается только, что подвѣсная система, при тѣхъ же коэффициентахъ, допускаетъ большіе предѣльные пролеты, нежели многораскосная, но по общему вѣсу будетъ одинакова съ послѣднею. Арочная же система и предѣльные пролеты допускаетъ большіе и по общему вѣсу легче многораскосной, но по недостаткамъ, указаннымъ въ отдѣлѣ Б, можетъ быть допущена только въ рѣдкихъ случаяхъ и при пролетахъ средней величины.

*) Подробный разборъ вопроса о предѣльныхъ пролетахъ многораскосныхъ мостовъ, какъ сообщено мнѣ покойнымъ Петромъ Ивановичемъ Собко, нѣсколько лѣтъ назадъ сдѣланъ былъ профессоромъ Николаевской Инженерной Академіи Г. Е. Паукеромъ.

СТАТЬЯ II.

КРАТКІЙ РАЗБОРЪ РАЗЛИЧНЫХЪ СИСТЕМЪ ЖЕЛѢЗНЫХЪ ПОДКОСНЫХЪ МОСТОВЪ.

Для показанія выгоды подкосныхъ мостовъ сравнительно съ многораскосными, въ случаѣ устройства высокихъ опоръ, служатъ нижеслѣдующія соображенія:

При покрытіи даннаго пролета многораскосной фермой, вѣсъ таковой будетъ почти одинаковъ, какъ при высотѣ фермы въ $\frac{1}{2}$ пролета, такъ и при высотѣ въ $\frac{1}{10}$. Въ послѣднемъ же случаѣ, для полученія проѣзда на одинаковомъ съ первымъ горизонтѣ, потребуется прибавить опоры высотой 0,4 пролета.

Эти-то опоры и представляютъ избытокъ вѣса, неизбѣжный при употребленіи фермъ въ $\frac{1}{10}$ высотой (черт. 18). Замѣняя многораскосный мостъ половинной сравнительно съ пролетомъ высоты $\left(\frac{h}{l} = 0,5\right)$ подкосною системою, получаемъ въ экономіи еще нижній поясъ.

Какъ въ предъидущей статьѣ выведено, вѣсъ многораскосной фермы, на 1 длины оной, не принимая въ расчетъ постояннаго члена a , выражается:

$$B = \frac{8}{10^5} q \frac{l^2}{h} + \frac{3}{10^4} q l + \frac{1}{10^3} q h. \text{ Или обозначая } \frac{l}{h} = Z,$$

$$B = \frac{2ql}{10^5} \left(4Z + 15 + \frac{50}{Z} \right).$$

Съ уменьшеніемъ Z вѣсъ поясовъ, по причинѣ добавочныхъ на концахъ накладокъ, и подкосовъ, по причинѣ возрастанія длины ихъ, увеличится въ пропорціи $\frac{134-5Z}{80}$.

$$B = \frac{ql}{4 \cdot 10^6} \left(\frac{4000}{Z} + 2010 + 461Z - 20Z^2 \right).$$

Для частнаго случая $l = 200$ и $q = 65$ пудовъ:

$$B = \frac{325}{10^5} \left(\frac{4000}{Z} + 2010 + 461Z - 20Z^2 \right).$$

Для $Z = 10$; $B_1 = \frac{325}{10^5} \cdot 5020 = 16,9$ пуд.

» $Z = 2$; $B_2 = \frac{325}{10^5} \cdot 4852 = 15,8$ пудовъ.

Сбереженіе значительно возрастаетъ, замѣняя многораскосную систему подкосною:

а) въ вѣсѣ нижняго пояса $\frac{1}{2} \cdot \frac{2ql}{10^5} \cdot 4 Z = \frac{200.65}{10^5} \cdot 8 = 1$ пуд.

б) отъ измѣненія наклоненія подкосовъ и свода ихъ всѣхъ на опоры.

По чертежу 19-му обозначимъ:

P — грузъ въ какой либо точкѣ прогона,

a — общее заложеніе подкосовъ,

h — высота стойки,

l — длина подкоса, направленнаго къ подошвѣ стойки,

l_1 — длина подкоса, упирающагося гдѣ либо по высотѣ стойки на разстояніи k отъ опоры,

α — уголъ подкоса l съ вертикалью,

β — » » l_1 » »

При передачѣ подкосомъ и стойкой объемъ этихъ частей пропорціоналенъ $W = \frac{P}{\cos \beta} l_1 + Pk$.

Объемъ длиннаго подкоса $V = \frac{Pl}{\cos \alpha}$.

Подставляя надлежащія величины, получимъ

$$W = P \left\{ \frac{a}{\sin \beta \cos \beta} + h - \frac{a}{\operatorname{tg} \beta} \right\} = Pa \left\{ \operatorname{tg} \beta + \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \right\}.$$

$$V = \frac{Pa}{\sin \alpha \cos \alpha}.$$

W всегда больше V ; ибо $Pa \left\{ \operatorname{tg} \beta + \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \right\} > Pa \frac{1}{\sin \alpha \cos \alpha}$

$$\operatorname{tg} \beta > \left(\frac{1 - \cos^2 \alpha}{\sin \alpha \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha \right).$$

Главными основаніями для выбора наилучшей системы подкоснаго моста послужили:

1) Степень раціональности распредѣленія напряженій въ частяхъ подкоснаго моста при дѣйствіи на него постоянныхъ и подвижныхъ грузовъ.

2) Вліяніе величины распора на устойчивость быковъ.

3) Возможное, безъ вреда прочности, уменьшеніе вѣса фермъ.

4) Устойчивость фермъ относительно дѣйствія боковаго вѣтра.

и 5) Устраненіе вредныхъ вліяній, производимыхъ дѣйствіемъ температуры, на измѣненіе длины фермъ.

РАСПОРЪ ПОДКОСНАГО МОСТА.

Что касается до вліянія величины распора на устойчивость быковъ, то таковое одинаково для всѣхъ системъ подкосныхъ мостовъ. Въ самомъ невыгодномъ случаѣ, при нагрузкѣ всего моста, сдвигающее усиліе получится изъ уравненія

$$0,55 Ql = \frac{P}{2} \left(\frac{l}{2} - \frac{l}{4} \right).$$

$$\text{Отсюда } Q = \frac{5}{22} P.$$

Сопротивленіе опоры скользенію при коэффициентѣ тренія 0,7 должно быть $= \frac{Q}{0,7} = \frac{10}{7} \cdot \frac{5}{22} P = \frac{1}{3} P$.

Допуская запасъ сопротивленія въ 20%, таковое получится равнымъ $\frac{6}{5} \cdot \frac{1}{3} P = 0,4 P$.

Въ предположеніи нагрузки обоихъ путей пролета паровозами и при величинѣ пролета, между опорными точками, въ 185 футъ, будемъ имѣть

$$P = 2 \cdot 80 \cdot 185; \text{ сопротивленіе сдвиженію} \\ = 64 \cdot 185. \text{ То есть менѣе нажатія груза на правую опору} \\ = \frac{P}{2} = 80 \cdot 185 \text{ пуд.}$$

При нагрузкѣ полупролета (чер. 20)

$$0,55 \text{ } lQ = \frac{3}{8} P \frac{l}{2} - \frac{1}{2} P \frac{l}{4} = \frac{1}{16} Pl.$$

$$\text{Откуда } Q = \frac{20}{11} \cdot \frac{P}{16} = \frac{5}{44} P.$$

При коэффициентѣ тренія $= 0,7$ и запасѣ сопротивленія въ 20% , грузъ сдвигающій будетъ:

$$\frac{10}{7} \cdot \frac{6}{5} \cdot \frac{5}{44} P = \frac{15}{77} P = 31 \cdot 185.$$

Нажатіе на опору съ ненагруженной стороны $= \frac{P}{8} = 20 \cdot 185$.
Слѣдовательно вѣсъ необходимаго количества кладки $(31 - 20) \cdot 185 = 2035$ пудовъ, или $\frac{2035}{1357} = 1,5$ к. с. бутовой кладки съ гранитною облицовкой. При ширинѣ быковъ въ 3,5 саж. и средней длинѣ, считая съ оголовками, 6,0 саж., высота сопротивляющагося скользянію слоя будетъ:

$$\frac{7 \cdot 1,5}{6,0 \cdot 3,5} = 0,5 \text{ фута, т. е. значительно менѣе}$$

одного ряда облицовки. Очевидно условія устойчивости будутъ съ избыткомъ удовлетворяться, особенно, принимая въ соображеніе невозможность одновременнаго нахожденія поѣздовъ на обоихъ путяхъ одного и того же пролета.

ВѢСЪ ПОДКОСНАГО МОСТА.

По подробнымъ исчисленіямъ, вѣса подкосныхъ мостовъ мало разнятся для различныхъ системъ таковыхъ. Наибольшій вѣсъ въ круглыхъ числахъ, при самыхъ невыгодныхъ предположеніяхъ, для всѣхъ четырехъ формъ составляетъ,

Въ полотнѣ	4400 п.
» прогонѣ	3600 »
» среднихъ подкосахъ	3400 »
» вторыхъ	3000 »

Въ стойкахъ съ подмогами 2500 п.

» постаментяхъ 2300 »

Всего 19200 пуд. или на одинъ погонный футъ фермы, при пролетѣ въ 200 футъ, $\frac{19200}{4.200} = 24$ пуд.

ДѢЙСТВІЕ ВѢТРА НА ФЕРМЫ.

Для опредѣленія величины опрокидывающаго усилія, производимаго дѣйствіемъ вѣтра на фермы, допущены нижеслѣдующія основныя положенія:

1) Давленіе вѣтра принято въ 1 пудъ на квадр. футъ плоскости сопротивленія, что соотвѣтствуетъ скорости въ 33 метра или 108 футъ въ секунду.

2) Сплошная высота поѣзда назначена въ 8 ф.; площадь — 1600.

3) Наибольшая площадь прогона и подкосовъ посчитана сообразно расположенію подкоснаго моста, окончательно проектированнаго, а именно:

Площадь пояса $4,5 \cdot 200 = 900$ ф.

Внутренніе подкосы . . $2,4 \cdot 135 = 1080$ »

Вторые подкосы $\frac{2 \cdot 41}{12} \cdot 108 = 738$ »

Связи и стойки = 882 »

Плеча этихъ усилій:

Для поѣзда 104

» пояса 97,5

» подкосовъ 47,5

Затѣмъ моментъ опрокидывающій:

$$1600 \cdot 104 + 900 \cdot 97,5 + 2700 \cdot 47,5 = 166400 + 87750 + 128250 = 382400 \text{ пудофутовъ.}$$

и 4) Расположеніе поѣзда принято самое невыгодное по чертежу 21-му. При этомъ моментъ сопротивленія $Q (8,75 + x) + + P (3,25 + x)$.

Вѣсъ моста $Q = 19200$.

Нагрузка обыкновеннымъ поѣздомъ $P = 45,200 = 9000$ п.

Моментъ сопротивленія $= 197250 + 28200 x$.

Оставляя на запасъ устойчивости 25% , получимъ уравненіе моментовъ сопротивленія и дѣйствія

$$\frac{5}{4} (382400) = 197250 + 28200 x.$$

Сравнивая моменты давленія и сопротивленія, получимъ

$$x = \frac{491200 - 197250}{28200} = 10,5.$$

По этой причинѣ основанія опоръ уширены на 11 футовъ съ каждой стороны и опоры расположены въ фасадѣ по черт. 21-му.

Если не принимать въ расчетъ вѣса поѣзда въ моментѣ сопротивляющемся, а слѣдовательно и его боковой площади въ моментѣ опрокидывающемся, тогда: $Q (8,75 + x) = 19200 \cdot 19,75 = = 379200$.

Моментъ опрокидывающій $(900 \cdot 97,5 + 2700 \cdot 47,5) y$, гдѣ $y =$ давленію вѣтра на 1 кв. футъ.

Отсюда $y = \frac{379200}{202500} = 1,88$ пуда, что соотвѣтствуетъ скорости $33 \sqrt{1,88} = 45,2$ метра, или 148 фут.

Расположивъ различныя системы подкосныхъ мостовъ по постепенному возрастанію вѣса ихъ, посмотримъ на сколько удовлетворяютъ они правильности передачи усилій и устраненію видоизмѣненій отъ дѣйствія температуры.

ПОДКОСНАЯ СИСТЕМА I.

Первая и самая выгодная по вѣсу система подкосныхъ мостовъ представлена на чертежѣ 22-мъ. Въ этой системѣ вліяніе измѣ-

неній, производимыхъ температурою, весьма ощутительно. А именно по сдѣланнымъ на чертежѣ 23 обозначеніямъ:

$$\cos \beta = \frac{b}{\sqrt{b^2 + H^2}}; \sin \beta = \frac{H}{\sqrt{b^2 + H^2}}$$

$$A = \cos (\beta + d\beta) = \cos \beta \cos d\beta - \sin \beta \sin d\beta.$$

$A = \frac{l - a (1 + \delta)}{2 (1 + \delta) \sqrt{b^2 + H^2}}$, гдѣ δ коэффициентъ расширения желѣза.

$$\text{Отсюда } \cos \beta - d\beta \sin \beta = \frac{l - a (1 + \delta)}{2 (1 + \delta) \sqrt{b^2 + H^2}} = A.$$

Для $a = 0,2l$; $b = 0,4l$; $H = 0,5l$ а для $33^0,6$ Цельсія

$$\delta = \frac{33,6}{84000} = \frac{4}{10^4}. \text{ Получимъ } A = \frac{4 - \delta}{(1 + \delta) \sqrt{41}}; \sin \beta = \frac{5}{\sqrt{41}}$$

$$d\beta = \frac{\cos \beta}{\sin \beta} - \frac{A}{\sin \beta} = \frac{4}{5} - \frac{4 - \delta}{5 (1 + \delta)} = \frac{5\delta}{5 (1 + \delta)}; d\beta = \frac{1}{4000}.$$

$$\text{Отклоненіе } f = d\beta \sqrt{b^2 + H^2} = 0,64 l d\beta = \frac{16}{10^5} l.$$

ВЛІЯНІЕ ОТКЛОНЕНІЯ ПОДКОСА.

Величина отклоненія f можетъ быть разсматриваема какъ стрѣла прогиба бруса, длина котораго b равна проэкціи подкоса на направленіе перпендикулярное стрѣлѣ прогиба. Обозначимъ (пер 24) E коэффициентъ упругости желѣза, измѣняющійся около 700000 пудовъ на 1 квадр. дюймъ.

R — коэффициентъ прочнаго сопротивленія, или увеличеніе напряженія въ разсматриваемомъ случаѣ.

P — нагрузка, соотвѣтственная напряженію R .

b — длина балки въ дюймахъ.

I — Моментъ инерціи поперечнаго сѣченія балки.

z — полувысота поперечнаго сѣченія бруса, примѣрно $24''$.

f — стрѣла прогиба.

$$\text{Тогда } f = \frac{P b^3}{3 E I}.$$

$$P = \frac{R I}{z b}$$

$$f = \frac{R b^2}{3 E z}.$$

Для $f = \frac{16}{10^5} l = \frac{4}{10^4} b$, $b = 800$ дюймовъ; $z = 24''$, получимъ $R = 24$ пуда. Увеличеніе напряженія значительное.

ПОДКОСНАЯ СИСТЕМА II.

Для устраненія значительнаго увеличенія напряженія частей можно расположить ферму по чер. 25. Это расположеніе отъ предъидущаго отличается только перерывами въ точкахъ А и А для доставленія прогону возможности свободно расширяться, при незначительномъ отклоненіи длинныхъ подкосовъ. Прерванные концы прогоновъ въ такомъ случаѣ пришлось бы соединить муфтами. Муфты эти, подвергаясь вертикальнымъ напряженіямъ отъ подвижныхъ грузовъ и горизонтальнымъ отъ давленія вѣтра, мало представляли бы жесткости.

Въ обоихъ разсмотрѣнныхъ случаяхъ, при нагрузкѣ половины моста, углы подкосовъ съ поясомъ будутъ стремиться увеличиться, приподнимая не нагруженную половину фермы.

ПОДКОСНАЯ СИСТЕМА III.

Для покрытія цѣльнымъ на одномъ пролетѣ съ полумостами на двухъ смежныхъ пролетахъ (чер. 26), встрѣтимъ то неудобство, что отъ дѣйствія температуры средняя часть моста будетъ то выпучиваться, то стягивать раскосы. Въ послѣднемъ случаѣ

напряженіе средней части будетъ еще болѣе увеличиваться при нахожденіи груза на одномъ изъ полумостовъ.

ПОДКОСНАЯ СИСТЕМА IV.

Покрытіе двухъ пролетовъ цѣльными фермами съ двумя полуфермами на вѣсу (чер. 27), при чемъ средній быкъ неподвижный, а крайніе имѣютъ возможность передвигаться на каткахъ. При этомъ удлиненію прогона препятствовать будетъ треніе въ каткахъ, увеличивая въ значительной степени напряженіе поясовъ. Для укорачиванія фермъ потребуются внизу подкосовъ дополнительные затяжки.

ПОДКОСНАЯ СИСТЕМА V.

Покрытія отдѣльными фермами надъ каждой опорой (чер. 28), представляя постройку въ 200 фут. шириною поверху и въ 25 по низу, при нагрузкѣ съ одной стороны потребуютъ тяжелыхъ противувѣсовъ. Такъ, напр., если на длинѣ 87,5 фут. обоихъ путей расположена нагрузка паровозами, то опрокидывающій моментъ будетъ:

$$\frac{2 \cdot 80 (87,5)^2}{2} = 80 \cdot \frac{700^2}{64} = \frac{5}{4} 490000 = 612500 \text{ пудофутовъ}$$

или съ запасомъ около $\frac{1}{4} = 750000$ пудофут.

Сопротивляться этому будетъ вѣсъ фермы на полуширину быка + добавочный грузъ на всю ширину быка.

$$750.000 = 19200 (12,5) + 25 x.$$

$$30.000 - 9600 = x = 21400 \text{ пуд.}$$

ПОДКОСНАЯ СИСТЕМА VI.

Для совершеннаго устраненія возможности уменьшенія угловъ, образуемыхъ подкосами съ поясами, можетъ быть употреблена система по чертежу 29. Устраняя вышесказанное неудобство,

разсматриваемая система представляет много других не менѣ важныхъ.

При дѣйствіи температуры, считая наибольшее измѣненіе въ 84° С, или соотвѣтственный коэффициентъ расширенія въ $\delta = 0,001$, поднятіе среднихъ подкосовъ въ точкѣ ихъ прикрѣпленія x получится изъ уравненія:

$$(n + \delta n)^2 = (h + x)^2 + \frac{l^2}{4}.$$

Для $l = 2160''$; $n = \sqrt{\frac{l^2}{4} + h^2}$; $h = 900$ получимъ:

$$h + x = 902,1 \text{ или } x = 2,1 \text{ дюйм.}$$

Соотвѣтственная часть стойки удлинится на $\frac{900}{1000} = 0,9$ дюйма; слѣд. если конецъ стойки свободенъ, онъ поднимется на $2,1 - 0,9 = 1,2$ дюйма. Если же концы стоекъ наглухо соединены съ концами подкосовъ, то прогнутся подкосы. Напряженіе подкосовъ увеличится, какъ замѣчено выше, по формулѣ

$$R = \frac{2 \cdot 10^6}{h^2} f \cdot z.$$

Для $h = 900$; $z = 20,25$; $R = \frac{4050}{81} f = 50 f = 60$ пуд.

Съ отклоненіемъ подкосовъ отъ середины и напряженія ихъ увеличатся по черт. 30-му

$$x = P \frac{\sin \alpha}{\sin (\alpha + \beta)}; y = P \frac{\sin \beta}{\sin (\alpha + \beta)}.$$

РАСПОЛОЖЕНІЕ VII.

Окончательно принятое расположеніе отличается отъ представленнаго на черт. 20 только шарниромъ, помѣщеннымъ въ точкѣ схода главныхъ подкосовъ. Такимъ образомъ ферма представляетъ двѣ тавровыя балки (главные подкосы), идущія отъ опоръ къ срединѣ моста и связанные въ вершинѣ треугольника неразрывно, но шарнирообразно. Къ верхнимъ концамъ этихъ ба-

локъ придѣланы неизмѣняемо полупрогоны горизонтальные; слѣдовательно нагрузка каждаго изъ нихъ, при всевозможныхъ положеніяхъ оной, всегда будетъ передаваться на треугольникъ. Чтобы уголь, составляемый полупрогономъ съ главными подкосами, не измѣнялся, по срединѣ длины полупрогона (почти $\frac{1}{4}$ пролета) поставлены промежуточные подкосы. Такимъ образомъ нагрузка полупрогоновъ передается на вершину треугольника, котораго бока образуются прогономъ и промежуточными подкосами, а основаніе составляетъ главный подкосъ. Концы полупрогоновъ подперты стойками. Стойки, промежуточные и главные подкосы внизу у опоры соединены въ одно неизмѣняемое цѣлое.

Для противудѣйствія боковому давленію, производимому напоромъ вѣтра, стойки крайнихъ изъ числа четырехъ фермъ, усилены контрофорсами, такъ что на быкъ ихъ ширина равна 40 футамъ.

Горизонтальныя перекладины (ab , cd) въ непосредственной передачѣ грузовъ не участвуютъ и служатъ только для облегченія сборки моста и для предупрежденія боковаго прогиба подкосовъ и стоекъ. Такимъ образомъ ферма представитъ два прямоугольные треугольника, опирающіеся вершинами на устои и острыми углами при основаніи соединенные неразрывно, но шарнирообразно. Для фермы такого вида, по подробному расчету, потребуется, при пролетѣ 200 футъ и подъемѣ въ 100 футъ, 24 пуда желѣза на погонный футъ, считая со связями, рельсами, поперечинами и подушками на устояхъ. На четыре фермы подъ два пути израсходуется желѣза и другихъ матеріаловъ 96 п. на футъ, или на весь мостовой пролетъ 19200 пудовъ. Покрывая подобный пролетъ многораскосными фермами, получили при высотѣ ихъ 20 футъ, вѣсу 25 пудовъ на погонный футъ фермы, или на весь пролетъ 20000 пудовъ.

Сверхъ сего, подъ многораскосныя фермы потребуется подвести опоры въ 80 футовъ высотой, которыя, сообразно существую-

щимъ мостамъ, будутъ имѣть вѣсу не менѣе 30 пуд. на футъ и ферму, или во всей опорѣ $4 \cdot 30 \cdot 80 = 9600$ пуд. Полный вѣсъ многораскоснаго моста съ опорами, слѣдовательно, будетъ 29600 пудовъ, а за тѣмъ экономіи въ пользу подкоснаго моста $\left(\frac{29600 - 19200}{29600}\right) 100 = \frac{104}{296} \cdot 100 = 35 \%$.

Полагая пудъ желѣза въ дѣлѣ 3 руб. сер., получимъ экономіи на каждый пролетъ вышеозначенныхъ размѣровъ 31200 рублей серебромъ.

Экономія несомнѣнно достигла бы 40% или 35000 руб. съ пролета, если бы разрѣшено было увеличить нѣсколько коэффициенты прочнаго сопротивленія на основаніяхъ, излагаемыхъ въ слѣдующей статьѣ.

С Т А Т Ь Я III.

О ВРЕМЕННОЙ НАГРУЗКѢ И О КОЕФФИЦИЕНТАХЪ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛѢЗНЫХЪ МОСТОВЪ.

Для опредѣленія величины временной нагрузки желѣзныхъ мостовъ, устраиваемыхъ подъ желѣзныя дороги и коэффициентовъ прочности частей ихъ, приняты за основаніе изслѣдованія Шмидта *). Этотъ авторъ въ числѣ силъ, дѣйствующихъ на мостовое сооруженіе, различаетъ:

А. Вертикальныя.

- а) Посторонняя нагрузка моста.
- б) Собственный вѣсъ моста.
- в) Удары при движеніи грузовъ.
- г) Сопротивленіе опоръ.

*) Журналъ Министерства Путей Сообщенія 1870 г. книжка 2-я, переводъ Бѣлѣлюбскаго.

д) Центробѣжная сила, развивающаяся въ колесахъ вагоновъ и паровозовъ.

Б. Горизонтальныя.

а) Давленіе вѣтра.

б) Горизонтальные толчки отъ поѣзда.

в) Центробѣжная сила поѣзда въ кривыхъ.

І. ПОСТОРОННЯЯ НАГРУЗКА.

На мостахъ, какого бы то ни было назначенія, посторонняя нагрузка можетъ быть:

Обыкновенная, дѣйствующая на мостъ болѣе или менѣе продолжительное время.

Случайная, находящаяся на мостахъ въ весьма рѣдкихъ случаяхъ, часто и вовсе на нихъ *непопадающая*, а *принимаемая въ соображеніе* только при составленіи проектовъ.

Для мостовъ, устраиваемыхъ подъ желѣзныя дороги, обыкновенной нагрузкой должно считать вѣсъ товарнаго поѣзда съ однимъ паровозомъ и тендеромъ. Что же касается до случайныхъ грузовъ, то съ величиною ихъ должна быть соображаема только пробная нагрузка.

Величина пробныхъ нагрузокъ, по Шмидту, допускается въ разныхъ странахъ различная, а именно:

Въ Америкѣ на метрѣ пути 2,5 тонны или на футѣ 47 п.

Въ Англіи » » » 3,3 » » » » 61 »

Во Франціи, Россіи и Испаніи. 4,0 » » » » 75 »

Въ Германіи чаще берутъ величины промежуточные между Англійской и Французской нормами. Шмидтъ, совершенно основательно, считаетъ необходимымъ измѣнять величину пробной нагрузки, соображаясь съ величиною пролета моста, и относительно расположенія оной говоритъ: «Часто случается, что товарный поѣздъ ведется двумя паровозами и при томъ въ поѣздѣ

бываетъ одинъ или нѣсколько недѣйствующихъ паровозовъ. Хотя слѣдуетъ избѣгать трехъ тяжелыхъ тендеръ-паровозовъ рядомъ въ поѣздѣ, но это случается если, на примѣръ: нѣтъ времени переставить вагоны и паровозы; далѣе часто случается, что, за отсутствіемъ поворотнаго круга, паровозы везутъ заднимъ ходомъ, такъ что машины обращены другъ къ другу передними, тяжелыми частями; наконецъ во время войны, если потребуется подвижной составъ поставить въ безопасное мѣсто, можетъ случиться даже, что весь поѣздъ будетъ состоять изъ паровозовъ. Въ виду всѣхъ этихъ обстоятельствъ, части мостовыхъ сооружений должны быть достаточныхъ размѣровъ». Не смотря на справедливость означенныхъ разсужденій, должно согласиться, что, составленные на этихъ основаніяхъ, таблицы будутъ не цѣлесообразны. Могутъ быть случаи и дѣйствія бомбъ на фермы, но врядъ ли когда либо будутъ рассчитывать части мостовъ сообразно этому усилю. Таблицъ Шмидта двѣ. Въ одной показаны равномерныя нагрузки на единицу длины балокъ разныхъ пролетовъ, замѣняющія вѣсъ поѣзда съ тремя тендеръ-паровозами Энгерта во главѣ, расположенными какъ сказано въ выше-приведенномъ извлеченіи изъ брошюры Шмидта. При составленіи второй таблицы (В), во главѣ поѣзда предположены три Земмеринскіе паровоза Энгерта *). Такимъ образомъ полученныя цифры неминуемо будутъ служить только къ утяжелѣнію мостовыхъ фермъ. А изъ трехъ родовъ построекъ: тяжелыхъ, прочныхъ и легкихъ, самый худшій первый родъ. Особенно для желѣзныхъ мостовъ. Изъ числа этихъ сооружений даже легкія должны быть предпочитаемы тяжелымъ, какъ болѣе дешевыя и допускающія меньшіе размѣры, а слѣдовательно и болѣе точную выдѣлку и соединеніе частей. Въ тяжелыхъ мостахъ только въ чрезвычайныхъ случаяхъ, лучше сказать—разъ во все время существованія

*) Эти паровозы въ настоящее время и на Земмерингѣ не употребляются.

моста, именно при пробѣ, достигается то напряженіе, которое они постоянно должны были бы выдерживать при умѣренномъ запасѣ прочности. За то, не будучи подвержены дѣйствию грузовъ, то есть за исключеніемъ какихъ либо 15 минутъ въ сутки *), они бесполезно напрягаются избыткомъ собственного вѣса. Размѣры частей тяжелыхъ мостовъ значительно болѣе необходимыхъ, а посему, какъ выше замѣчено, отдѣлка и соединеніе частей, въ соотвѣтственной степени, затруднительнѣе. Съ возрастаніемъ неточностей сборки увеличивается возможность прокрасться большому числу нетщательно пригнанныхъ заклепокъ, около которыхъ скорѣе всего можетъ развиваться разрушительное дѣйствіе ржавчины. Съ теченіемъ времени, если только они до тѣхъ поръ просуществуютъ, тяжелые мосты еще болѣе окажутся неудовлетворительными, въ виду обозначающагося нынѣ стремленія довести нагрузку на паровозныя оси до размѣровъ нагрузки осей вагонныхъ. Цѣлесообразнѣе всего было бы рассчитывать мосты съ достаточнымъ запасомъ прочности при обыкновенной нагрузкѣ, наблюдая, чтобы при наибольшей нагрузкѣ всего моста паровозами, напряженіе частей не превосходило $\frac{2}{3}$ предѣла замѣтнаго сохраненія упругости. При этомъ мосты имѣли бы прочность достаточную, а не излишнюю тяжесть. Съ уменьшеніемъ вѣса мостовъ, кромѣ многихъ вышеисчисленныхъ удобствъ, откроется возможность употреблять русское желѣзо, славящееся своими высокими качествами, — такъ какъ увеличеніе цѣны съ пуда съ избыткомъ вознаградится уменьшеніемъ количества потребнаго матеріала.

Обыкновеннымъ грузомъ на мостахъ подъ желѣзную дорогу должно считать вѣсъ товарнаго поѣзда съ однимъ паровозомъ и тендеромъ во главѣ, а для полученія повѣрочнаго случайнаго

*) И въ этотъ сравнительно ничтожный періодъ времени напряженіе частей далеко не достигнетъ предположеннаго при расчетахъ.

груза должно предположить, что весь мостъ установленъ паровозами. На основаніи этихъ предположеній составлена таблица съ показаніемъ равномерно распределенныхъ грузовъ, производящихъ на балки разной длины дѣйствіе одинаковое съ дѣйствіемъ проявляемымъ колесами поѣзда. При расчетахъ вѣсъ паровоза взятъ съ Борзиговскаго шестиколеснаго типа, весьма распространеннаго на нашихъ дорогахъ и служащаго образцомъ при построеніи паровозовъ на русскихъ заводахъ.

Тендеръ взятъ весьма грузный отъ паровозовъ того же типа, а вагонъ, по назначенію Шмидта, вѣсомъ на 0,4 тонны—менѣе старыхъ вагоновъ Николаевской дороги, но за то короче таковыхъ. При этомъ поѣздъ расположится какъ показано на черт. 31, на которомъ горизонтальныя надписи обозначаютъ разстоянія между центрами колесъ въ футахъ, а вертикальныя нагрузки на оси въ тоннахъ. Когда весь мостъ установится паровозами съ тендерами, то разстояніе между центрами задней оси тендера и передней паровозной $9 + 5,3 = 14,3$ фута. Для опредѣленія дѣйствія на мостовую ферму поѣзда, показаннымъ способомъ расположеннаго, замѣтимъ, что по черт. 32-му если на балку въ l футъ длиною дѣйствуетъ нѣсколько силъ $P, P_1, P_2 \dots P_m \dots P_n$, изъ которыхъ первая приложена на разстояніи x отъ правой опоры, а прочія на разстояніяхъ $a_1, a_2 \dots a_{m-1}, a_m \dots a_{n-1}, a_n$ отъ предыдущихъ, то противодѣйствіе опоры выразится:

$$A = \frac{1}{l} \left\{ P (l - x) + P_1 (l - x - a_1) + \dots + \right. \\ \left. + P_n (l - x - a_1 - a_2 \dots - a_n) \right\}.$$

$$A = \frac{1}{l} \left\{ (l - x) \sum_1^n P - P_1 a_1 - P_2 (a_1 + a_2) - \dots - P_n \sum_1^n a \right\}$$

Моментъ силъ въ точкѣ I выразится:

$$M = A (x + \sum_1^m a) - P \sum_1^m a - P_1 \sum_2^m a \dots P_{m-1} \sum_{m-1}^m a - P_{m-1} a_m$$

Точка I избирается такимъ образомъ, чтобы $\sum_0^{m-1} P$ было менѣе А.

Для наибольшаго значенія момента

$$\frac{dM}{dx} = 0 = \frac{1}{l} \sum_1^n P (x + \sum_1^m a) + \frac{1}{l} \left\{ (l - x) \sum_1^n P - P_1 a_1 \cdots \sum_1^n a x P_n \right\}.$$

отсюда

$$x = \frac{1}{2 \sum P} \left\{ l \sum P - P_1 a_1 - \cdots - P_n \sum_1^n a - \sum P \sum^m a \right\}$$

$$x + \sum_1^m a = \frac{(l + \sum_1^m a) \sum P - P_1 a_1 - \cdots - P_n \sum_1^n a}{2 \sum P}$$

$$A = \frac{(l + \sum_1^m a) \sum P - P_1 a_1 - \cdots - P_n \sum_1^n a}{2l}$$

$$\text{Max } (M) = \frac{A^2 \sum P}{l} - P \sum_1^m a - P_1 \sum_2^m a - \cdots - P_{m-2} \sum_{m-1}^m a - P_{m-1} a_m$$

При этомъ $x = \frac{lA}{\sum P} - \sum_1^m a.$

Употребленіе этихъ формулъ объяснится расчетомъ нагрузки мостовой балки въ 300 футъ пролетомъ, при двухъ предположеніяхъ.

А. НАГРУЗКА ОБЫКНОВЕННАЯ.

Въ этомъ случаѣ на мосту установится паровозъ, тендеръ и 11 вагоновъ, и значенія величинъ будутъ:

$$l = 300$$

$$P = 12,5$$

$$P_1 = P_2 = 11,5$$

$$P_3 = P_4 = P_5 = 8,5$$

$$P_6 = P_7 = \cdots = P_{26} = P_{27} = 7,8$$

$$a_1 = 5,5$$

$$a_2 = 4,7$$

$$a_3 = 13,4$$

$$a_4 = 5,5$$

$$a_5 = 5,1$$

$$a_6 = 12$$

$$a_7 = a_9 = a_{11} = \dots = a_{27} = 10,8$$

$$a_8 = a_{10} = \dots = a_{26} = 13,2.$$

По этимъ даннымъ противудѣйствіе опоры выразится:

$$A = \frac{1}{l} \{ (l - x) \Sigma P - 919,2 - 617,76n - 187,2n^2 \}.$$

Здѣсь n число вагоновъ въ поѣздѣ = 11.

P = вѣсу паровоза 35,5 + вѣсъ тендера 25,5 + вѣсъ одиннадцати вагоновъ 11.15.6 тоннъ = 61 + 171,6 = 232,6 тоннъ.

Подставляя эти величины, получимъ:

$$A = \frac{1}{l} \{ 232,6 (l - x) - 30365,76 \}$$

$$A = 232,6 - 101,22 - 0,7753 x.$$

$$A = 131,38 - 0,775 x.$$

Для наибольшаго значенія момента:

$$x = \frac{Al}{\Sigma p} - \Sigma_1^m a$$

$$x = \frac{A}{0,775} - \Sigma_1^m a$$

$$x = 169,52 - x - \Sigma_1^m a.$$

$$\text{Отсюда } x = 84,76 - \frac{\Sigma_1^m a}{2}.$$

Для опредѣленія точки I замѣтимъ, что вѣсъ паровоза, тендера и пяти вагоновъ 61 + 5.15,6 = 139.0 тоннъ. Слѣдовательно:

$$\Sigma^{m-1} P = 139 - 7,8 = 131,2 \text{ тонны}$$

$$\Sigma_1^m a = 153 \text{ фута; } x = 8,24 \text{ фута.}$$

Эта величина невозможна для x , ибо $l - \sum_1^n a = 3$.

Примемъ: $x = 3$; $A = 131,4 - 2,4 = 129$ тоннъ

$$\begin{aligned} M &= A(x + \sum a) - 12,5(153) - 11,5(147,5) \\ &- 11,5(142,8) - 8,5(129,4 + 123,9 + 118,8) - \\ &- 7,8(106,8 + 82,8 + 58,8 + 34,8 + 10,8) \\ &- 7,8(96 + 72 + 48 + 24). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= A(x + \sum a) - 12,5 \cdot 153 - 11,5(290,3) - 8,5(372,1) \\ &- 3,9\{(117,6)5 + 120,4\}. \end{aligned}$$

$$M = A(x + \sum a) - 1912,5 - 3338,45 - 3162,85 - 4165,2$$

$$M = A(x + \sum a) - 12579.$$

$$M = 129 \cdot 156 - 12579 = 7600.$$

Для получения замѣняющаго равномернаго груза имѣемъ уравненіе:

$$7600 = \frac{q}{2} \cdot 156(144) = 11232 q$$

$$q = 0,68 \text{ тонны или } 41,5 \text{ пудъ на футъ.}$$

Равномерная нагрузка съ точностію замѣняетъ сосредоточенные груза только близь середины балки; для краевъ же балки она недостаточна. Такъ напр. въ нашемъ случаѣ, въ точкѣ приложенія силы P_0 моментъ будегъ: $A(3,0) = (129,05) \cdot 3 = 387$, замѣняющая же равномерная нагрузка даетъ только:

$$0,68 \cdot \frac{300}{2} \cdot 3 - 0,68 \cdot 3 \cdot \frac{3}{2} = 1,02 \cdot 297 = 303 \text{ тон. фут.}$$

Въ первомъ случаѣ $\frac{10}{197}$ наибольшаго момента, и въ второмъ $\frac{10}{250}$ онаго.

Разсмотрѣнное предъ симъ обстоятельство не имѣетъ вліянія на вѣрность разсчета, потому что концамъ балокъ всегда при-

даются весьма значительные, сравнительно съ величиною моментовъ, размѣры.

В. НАГРУЗКА ПАРОВОЗАМИ СПЛОШЬ.

Въ этомъ случаѣ установится на мосту 6-ть паровозовъ съ тендерами и седьмого 2 переднія колеса; тогда

$$P = P_6 = P_{12} = \dots P_{30} = P_{36} = 12,5$$

$$P_1 = P_2 = P_7 = P_8 \dots = P_{31} = P_{32} = 11,5$$

$$P_3 = P_4 = P_5 = P_9 = P_{10} = P_{11} \dots P_{33} = P_{34} = P_{35} = 8,5$$

$$a_1 = a_7 = \dots a_{25} = a_{31} = a_{37} = 5,5$$

$$a_2 = a_8 = \dots a_{26} = a_{32} = 4,7$$

$$a_3 = a_9 = \dots a_{27} = a_{33} = 13,4$$

$$a_4 = a_{10} = \dots a_{28} = a_{34} = 5,5$$

$$a_5 = a_{11} = \dots a_{29} = a_{35} = 5,1$$

$$a_6 = a_{12} = \dots a_{30} = a_{36} = 14,3$$

Формула противодѣйствія опоры для n паровозовъ будетъ:

$$A = \frac{1}{l} \left\{ (l - x) \Sigma P + 560,05n - 1479,25n^2 \right\}.$$

Для $n = 6$; $l = 300$ а $\Sigma P = 6$ паровозамъ + нагрузка двухъ переднихъ колесъ седьмого паровоза.

$$\Sigma P = 6,61 + 12,5 + 11,5 = 390 \text{ тоннъ.}$$

$$\text{Для } n = 6; A = 390 - 1,3x - 166,309.$$

Отсюда для принятія въ расчетъ дѣйствія двухъ колесъ седьмого паровоза исключить должно

$$\frac{12,5 (291) + 11,5 (296,5)}{300} = \frac{25.582 + 23.593}{1200} = \frac{14550 + 13639}{1200} = 23,491. \text{ Затѣмъ } A = 390 - 1,3x - 189,8 = 200,2 - 1,3x,$$

Для наибольшаго момента:

$$x = \frac{A}{1,3} - \sum_1^m a = \frac{200,2}{1,3} - x - \sum_1^m a = 77 - \frac{\Sigma a}{2}.$$

При этомъ $\Sigma_0^{m-4} P =$ вѣсу 3-хъ паровозовъ съ тендерами + переднее колесо четвертаго паровоза $= 183 + 12,5 = 195,5$.

Слѣдовательно:

$$\sum_1^m a = 3 \cdot 48,5 + 5,5 = 151 \text{ футъ.}$$

Отсюда значеніе для X получается 1,5 фута.

$$A = 200,2 - 1,3 \cdot 1,5 = 198,25 \text{ тоннъ.}$$

$$\begin{aligned} M &= 198,25 (151 + 1,5) - \frac{25}{2} (151 + 102,5 + 54 + 5,5) \\ &- \frac{23}{2} (145,5 + 97 + 48,5) - \frac{23}{2} (140,8 + 92,3 + 43,8) \\ &- \frac{17}{2} (127,4 + 78,9 + 30,4) - \frac{17}{2} (121,9 + 73,4 + 24,9) \\ &- \frac{17}{2} (116,8 + 68,3 + 19,8). \end{aligned}$$

$$M = 30233,125 - 16068,65 = 14164,465$$

Уравненіе замѣняющей равномерной нагрузки $14164,465 = \frac{9}{2} (152,5) (147,5);$

$$q = \frac{113315,72}{89975} = 1,26 \text{ тоннъ} = 78 \text{ пуд.}$$

И въ этомъ случаѣ замѣняющій равномерный грузъ даетъ у опоры меньшіе моменты, нежели груза сосредоточенные; но абсолютная величина обоихъ этихъ моментовъ незначительна.

Сообразно приведенному примѣру составлена нижеслѣдующая таблица нагрузокъ.

ПРОЛЕТЪ ВЪ ФУТАХЪ.	РОДЪ НАГРУЗКИ.	НАГРУЗКА ВЪ ПУ- ДАХЪ.		ДАННЫЯ ИЗЪ ТАБЛИЦЪ ШМИДТА.		
		ОДИНЪ ПАРОВОЗЪ ВЪ ПОѢЗДѢ.	ПАРОВОЗЫ НА ВСЕЙ БАЛКѢ.	ПРО- ЛЕТЪ ВЪ МЕТ- РАХЪ.	НАГРУЗКА ВЪ ПУДАХЪ ОТЪ ПАРОВОЗОВЪ ЭНГЕРТА.	
					ТЕНДЕР- НЫЕ.	ЗЕММЕ- РИНТСКІЕ.
300	Равномѣрно распре- дѣленная на 1 длины	42	78	91	64	68
250	» »	42	78	77	66	73
205	» »	43	79	63	74	80
155	» »	45	78	47	84	92
135	» »	50	79	41	87	98
110	» »	61	79	34	93	103
85	» »	62	80	26	95	106
75	» »	62	77	23	97	108
65	» »	67	79	20	102	111
60	» »	69	74	18	102	113
55	» »	72	74	17	102	114
50	» »	74	74	15	102	115
45	» »	75	75	14	102	119
40	» »	75	75	13	109	123
35	» »	86	86	9	119	135
30	» »	95	95	9	132	151
25	» »	101	101	8	140	160
20	» »	150	150	6	160	190
15	» »	181	181	5	170	205
11	» »	286	286	3	175	240
5	Равномѣрно на обѣ балки	1550	1550	1,5	292	340
1	» »	1550	1550	1	438	510

Принимая въ соображеніе, что съ измѣненіемъ размѣровъ паровозовъ и тендеровъ можетъ измѣниться нѣсколько величина нагрузки, а также и для удобства употребленія, табличныя цифры необходимо нѣсколько округлить. При этомъ нагрузки нѣсколько увеличатся для пролетовъ большихъ 55 фут., гдѣ существуетъ разница въ нагрузкѣ случайной и обыкновенной. Увеличеніе цифръ обыкновенной нагрузки должно быть сдѣлано въ обратной пропорціи съ увеличеніемъ пролета; такъ какъ вмѣстѣ съ симъ увеличивается вѣсъ моста и уменьшается отношеніе величинъ подвижнаго груза къ постоянному. Въ этихъ видахъ за нормальную нагрузку желѣзныхъ мостовъ, устраиваемыхъ подъ желѣз. дор., принимать можно:

При величинѣ пролета:

Въ 200 футъ и болѣе на 1 футъ пути		45 пуд.
» 150 » » » » »		50 »
» 125 » » » » »		55 »
» 100 » » » » »		60 »
» 75 » » » » »		65 »
» 60 » » » » »		70 »

Случайная нагрузка всѣхъ этихъ пролетовъ полагается въ 80 пудовъ на 1 погон. футъ пути. Для пролетовъ же въ 55 фут. и менѣе обыкновенная и пробная нагрузка получаютъ одинаковыя. А посему расчетъ фермъ при пролетахъ сказанной величины слѣдовало бы производить, принимая въ соображеніе сосредоточенные груза. При этомъ считать можно: нагрузку на паровозную ось въ 12 тоннъ, на тендерную 8,5 тон., разстояніе между центрами паровозныхъ осей 5 фут., тендерныхъ $5\frac{1}{3}$ фут., разстояніе между послѣдней паровозной осью и первой тендерной 13,5 футъ, разстояніе между задней тендерной осью и переднею осью слѣдующаго паровоза 14 ф.

Небольшіе мостики пролетомъ до 17,5 фут. полезно было бы все не дѣлать желѣзными. Деревянныя балки, впущенныя по сажени на каждый устой, были бы устойчивѣе, а сгораніе ихъ не предста-

вить неудобствъ болѣе серьезныхъ, чѣмъ мять. Разумѣется, коэффициенты сопротивленія для деревянныхъ балокъ должны быть увеличены. Въ настоящее время на квадратный дюймъ дерева въ наиболѣе напряженномъ сѣченіи допускается 30 пудовъ, а разрушеніе балки, обуславливающее перемѣну оной, всегда начинается отъ опорныхъ точекъ, гдѣ продольныя напряженія почти равны нулю.

II. СОБСТВЕННЫЙ ВѢСЪ МОСТА ЗАВИСИТЪ:

- 1) Отъ величины посторонней нагрузки.
- 2) Отъ величины допускаемыхъ напряженій на квадратную единицу матеріала и

3) Отъ степени раціональности проектированія частей моста.

Вліяніе посторонней нагрузки разсмотрѣно въ предыдущемъ отдѣлѣ этой статьи, а степень раціональности проектированія частей моста обуславливается равно прочностью частей одинаковаго назначенія при возможно-меньшемъ вѣсѣ ихъ. Затѣмъ остается сказать о предѣльной величинѣ напряженій, допускаемыхъ на 1 квадр. единицу матеріала, употребленнаго въ мостѣ. Сказанное напряженіе должно составлять вообще нѣкоторую часть того предѣльнаго напряженія, послѣ котораго упругость не нарушается еще замѣтнымъ образомъ. Для котельнаго желѣза разныхъ качествъ предѣлъ этотъ измѣняется отъ 14 до 18 килограммовъ на 1 квадр. миллиметръ. Очевидно если постоянное напряженіе моста при обыкновенныхъ нагрузкахъ будетъ близко къ меньшему изъ этихъ предѣловъ, то постройку нельзя считать достаточно прочною.

По показанію Шмидта, въ различныхъ странахъ допускается различная величина предѣльныхъ напряженій, а именно въ килограммахъ на 1 квадр. милл:

Сжатіе; вытягиваніе; среднимъ числомъ.

Въ Америкѣ 9,5 11 = 10,25 = 400 пуд. над.

	Сжатіе; вытягиваніе;		среднимъ числомъ.		
Въ Англіи	7,25	8	=	7,63	= 300 пуд. нал.
Во Франціи		6	=	6	= 236 » »

Что же касается до принятыхъ въ Германіи коэффиціентовъ, то таковыя измѣняются отъ 5 до 12 и даже до 14 килограммовъ на 1 квад. миллиметръ, а посему и не могутъ служить для назначенія нормальныхъ коэффиціентовъ русскихъ построекъ. Такъ какъ мосты, напряженные 12-ю или 14-ю килограммами, еще не провалились, то можно съ достовѣрностью заключить, что имъ не часто приходилось выдерживать нагрузку, для которой они рассчитаны. Несомнѣнно также, что принятый во Французскихъ мостахъ коэффиціентъ въ 6 килограммовъ малъ и что, рассчитанные, на основаніи этой величины, мосты тяжелы.

Причины утяжеленія Французскихъ мостовъ вовсе не техническія. Почти всѣ главнѣйшіе французскіе заводчики-строители мостовъ были концессионерами и администраторами тѣхъ желѣзныхъ дорогъ, для которыхъ они сказанные мосты на своихъ заводахъ изготовляли. Такимъ образомъ въ утяжеленіи мостовъ они видѣли тройкую выгоду:

- а) Полученіе возможно большей попутной платы.
- б) Возможность поставить матеріалъ низкихъ качествъ и
- в) Возможность, при нетщательной работѣ, обезпечить существованіе мостовъ по крайности на первое время.

Что эти именно, а не какія либо техническія, причины служили побужденіемъ къ утяжеленію мостовъ доказательствомъ служить:

1) Во многихъ французскихъ мостахъ, гдѣ по расчетнымъ запискамъ значится 6 килограммовъ напряженія на 1 квад. миллиметръ, въ дѣйствительности выходитъ значительно больше, напр. въ Бордосскомъ мосту надъ быками напряженіе поясовъ, по расчету Шмидта, за вычетомъ заклепокъ, выходитъ до 8,5 килограммовъ и мостъ совершенно проченъ.

2) Относительно котловъ паровыхъ машинъ заводчики многократно ходатайствовали о дозволеніи дѣлать толщину стѣнокъ

цилиндрической части менѣе назначеннаго по узаконенной формулѣ *), съ тѣмъ, чтобы пробное давленіе пара было увеличено. Ходатайства эти заявляемы были только въ тѣхъ случаяхъ, когда плата за машины назначена была по-штучно а не по вѣсу.

и 3) Въ цѣпныхъ мостахъ, которые никогда не были предметомъ оптовой фабричной заготовки и которые, относительно дѣйствія переходящихъ грузовъ, находятся въ условіяхъ невыгоднѣйшихъ сравнительно съ фермами балочными и раскосными, на 1 милл. допускалось во Франціи до 11 килограммовъ. При этомъ въ висячихъ мостахъ наибольшему напряженію подвергаются всѣ волокна поперечнаго сѣченія цѣпи; въ балочныхъ же и раскосныхъ только крайнія грани поясовъ.

У насъ соединены оба невыгодныя допущенія: преувеличенный до размѣровъ случайнаго подвижной грузъ и уменьшенный коэффициентъ прочнаго сопротивленія. Уменьшеніе коэффициента у насъ послѣдовало на основаніи французскихъ номинальных данныхъ, которыя и у нихъ, какъ выше замѣчено, во многихъ надежно устроенныхъ мостахъ не выполнены. По дѣйствию климатическихъ условій, мосты наши болѣе приближаются къ Германскимъ, а еще болѣе къ мостамъ устроеннымъ въ Сѣверо-Американскихъ Колоніяхъ, гдѣ коэффициенты значительно болѣе нашихъ. Вліяніе желѣза на увеличеніе хрупкости замѣтно только въ зернистыхъ и неоднородныхъ матеріалахъ, напр. въ Бельгійскихъ рельсахъ и рельсахъ со стальными головками, для мягкаго же желѣза среднихъ качествъ сказанное вліяніе незначительно. Справедливость этого положенія оправдывается и на Петербургскихъ висячихъ мостахъ, изъ которыхъ нѣкоторые, не смотря на крайнюю неустойчивость и на желѣзо весьма посредственной выдѣлки, существуютъ до 40 лѣтъ безъ замѣтныхъ разстройствъ. Примѣръ заграничныхъ сооружений побуждаетъ къ введенію бо-

*) Въ котлахъ Кайлевскихъ паровозовъ, устроенныхъ послѣ уничтоженія формулы, коэффициентъ прочнаго сопротивленія превышаетъ 250 п. на дюймъ.

лѣе значительныхъ коэффициентовъ нежели до сихъ поръ допускаемы были. Подобное увеличеніе сдѣлаетъ развитіе нашихъ желѣзныхъ мостовъ болѣе правильнымъ. Какъ, до построенія Николаевской дороги, на деревянные части шоссейныхъ мостовъ допускаемо было не болѣе 30 пудовъ напряженія на 1 квадр. дюймъ, а въ американскихъ мостахъ упомянутой дороги оное напряженіе доведено было до 60 пуд. и болѣе; такъ и въ желѣзныхъ мостахъ нужно коэффициентъ въ 6 килограммовъ значительно увеличить. Если, при небрежномъ уходѣ, допущена будетъ ржавчина около заклепокъ, то и при коэффициентѣ меньшемъ 6-ти килограммовъ мосты долговѣчны не будутъ.

При тщательномъ же досмотрѣ умѣренная прочность (8,5 килограммовъ на миллиметръ) принесетъ несомнѣнныя выгоды.

1) Постоянное напряженіе волоконъ будетъ значительно менѣе.

и 2) Съ уменьшеніемъ размѣровъ частей увеличится возможность ихъ тщательной сборки.

Шмидтъ полагаетъ необходимымъ и достаточнымъ допустить 7 килограм. на 1 кв. миллим. при сжатіи и 8 при вытягиваніи, но по подробному разсмотрѣнію казалось бы возможнымъ допустить для нашихъ мостовъ англійскія нормы.

Принимая въ соображеніе, что предѣлъ упругаго сопротивленія измѣняется отъ 14 до 18 килограм. на миллиметръ, для сортовъ отъ посредственнаго до лучшаго, увидимъ, что допускаемая Шмидтомъ величина сопротивленія вытягиванію составляетъ половину средней величины предѣла упругости. Для большихъ мостовъ эту цифру можно было бы съ безопасностію увеличить. По Герберу, обозначая R коэффициентъ прочнаго сопротивленія, нагрузку на 1 длины моста k и всѣ единицы длины моста p , получимъ:

$$R: (p + k) = 16: (p + 3 k.)$$

Здѣсь 16 средній предѣлъ упругости желѣза и

$$R = 16 \frac{p + k}{p + 3k}.$$

Крайніе предѣлы коефициента будутъ.

Для большихъ мостовъ, гдѣ $p = k$, $R_1 = \frac{16}{2} = 8$.

Для маленькихъ мостовъ, гдѣ $p = 0,2 k$, $R_{11} = \frac{3}{8} \cdot 16 = 6$ килограмм.

Коефициенты, такимъ образомъ полученные, не вполнѣ согласуются съ принимаемыми въ Англіи нормами. Шмидтъ находитъ, что Герберъ не вполнѣ основательно увеличиваетъ вліяніе подвижнаго груза сравнительно съ постояннымъ, и съ этимъ нельзя не согласиться. Вышеприведенная формула можетъ быть сообразована съ Англійскими нормами, измѣняя численный коефициентъ знаменателя и подставляя низшій предѣлъ коефициента упругости. Тогда $R = 14 \frac{p + k}{p + 2k}$ —

III. ВЛІЯНІЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХЪ УДАРОВЪ.

При правильной сборкѣ моста и тщательномъ устройствѣ проезжей части онаго, вліяніе толчковъ будетъ, за исключеніемъ самыхъ малыхъ мостовъ, вовсе не ощутительно. Однако же должно озаботиться, чтобы въ частяхъ, непосредственно подверженныхъ дѣйствію удара колесъ, коефициентъ прочнаго сопротивленія не превосходилъ половины наименьшаго предѣла упругости, т. е. 7 килограмм. Такимъ образомъ введено будетъ въ расчетъ и живое сопротивленіе, проявляющееся при ударахъ, а прочность балки будетъ тѣмъ болѣе обезпечена, что, по размѣрамъ частей, непосредственно принимающихъ удары, обыкновенный грузъ возвышается до размѣровъ случайнаго. При такихъ предположеніяхъ размѣры частей будутъ вполнѣ достаточны, даже для случаевъ опрокидыванія поѣздовъ на мосту, и тогда предѣлъ упругости матеріала превзойденъ не будетъ.

Собственный вѣсъ погоннаго фута мостовыхъ фермъ средней длины, съ достаточною приближительностью можетъ быть опредѣленъ по формулѣ: $0,2l + 11,75$ пуд., гдѣ величина пролета въ футахъ.

Нагрузка для пролетовъ отъ 100 до 300 футь $98,75 - 0,35l + 0,000625l^2$.

Оба груза вмѣстѣ дадутъ $P = 110 - 0,15l + 0,000625l^2$.

Для $l = 300 \dots 200 \dots 100$ ф., получимъ $P = 121,25 \dots 105 \dots 101,25$ пуд.

Въ предположеніи наибольшей нагрузки P для тѣхъ же пролетовъ даетъ 151,25; 131,25 и 111,25 фута. Слѣдоват. коэффициентъ прочности увеличится для случайной нагрузки 1,25, 1,25 и 1,11 раза.

IV. СОПРОТИВЛЕНИЕ ОПОРЪ.

Соппротивленіе опоръ измѣняется съ измѣненіемъ величины силъ, дѣйствующихъ на ферму, и достигаетъ наибольшаго значенія, когда мостовыя балки будутъ нагружены по всей своей длинѣ. Соппротивленіе опоръ, взятое въ совокупности съ внѣшними дѣйствующими силами, оное вызывающими, даетъ возможность разсматривать мостовыя фермы, какъ стойки сжимаемыя по высотѣ. При этомъ, въ многораскосныхъ мостахъ, раскосы будутъ стремиться выпучиться изъ плоскости фермы, если только наименьшій поперечный размѣръ ихъ будетъ малъ сравнительно съ высотой фермы. Для того, чтобы раскосы были достаточно прочны, коэффициентъ долженъ для сжатыхъ раскосовъ быть уменьшенъ сравнительно съ коэффициентомъ, допущеннымъ для поясовъ. Уменьшеніе это должно быть сдѣлано по формулѣ Love, примѣняя таковую къ частямъ сжатаго раскоса, заключающимся между двумя смежными вытянутыми.—Въ вытянутыхъ раскосахъ не предстоитъ надобности въ уменьшеніи коэффициента, сравни-

тельно съ поясами, такъ какъ эти части состояются изъ желѣза болѣе мелкаго и лучше прокатаннаго. Что же касается до общаго выпучиванія всѣхъ раскосовъ (чер. 32), то сумма всѣхъ силъ, возбуждающихъ балку къ выпучиванію, вдвое менѣе силъ, сжимающихъ раскосы. Дѣйствіе этихъ силъ, въ случаѣ фермы съ ѣздою по верху, устраняется діагоналями въ вертикальной плоскости, а при ѣздѣ по низу употребленіемъ голландской системы при π — образныхъ поясахъ.

V. ВЕРТИКАЛЬНЫЯ ЦЕНТРОБѢЖНЫЯ УСИЛІЯ.

Что касается до центробѣжныхъ усилій, развивающихся, при движеніи поѣздовъ, въ вертикальной плоскости, то таковыя, по крайней незначительности своей, съ избыткомъ покрываются допущеннымъ, по предъидущимъ статьямъ, запасомъ.

Такимъ образомъ, принимая въ расчетъ обыкновенную нагрузку, для желѣза, разрывающагося при 36 килограм. на 1 квад. мил., съ безопасностію допускать можно:

ВЪ ПОЯСАХЪ.

На вытягиваніе килограммовъ 8,5.

На сжатіе, не вычитая заклепокъ, 7,5.

При этомъ, въ предположеніи наибольшей случайной нагрузки, наибольшее напряженіе частей не должно превосходить $\frac{3}{4}$ средняго предѣла нарушенія упругости, т. е. $\frac{3}{4} \cdot 16 = 12$ килограммовъ. Эта же норма можетъ быть допущена и для раскосовъ, уменьшая коефициентъ для сжатыхъ раскосовъ по формулѣ Love, при употребленіи которой въ выраженіе $\left(\frac{a}{l}\right)$, вмѣсто a подставляется ширина раскоса, перпендикулярная къ плоскости фермы, а вмѣсто l , свободная длина части раскоса между двумя другими, къ нему перпендикулярными.

ВЪ ПОПЕРЕЧИНАХЪ И ДРУГИХЪ ЧАСТЯХЪ, ПОДВЕРЖЕННЫХЪ НЕПОСРЕДСТВЕННОМУ ДѢЙСТВІЮ ПОДВИЖНЫХЪ ГРУЗОВЪ.

На вытягиваніе килограммовъ 7,5.

На сжатіе, не вычитая заклепокъ, 6, 5.

Эти же коэффициенты могутъ быть приняты и для мостовъ небольшихъ пролетовъ, въ которыхъ обыкновенные груза равны, или почти равны случайнымъ.

Въ многораскосныхъ мостахъ съ ѣздою по низу, по причинѣ невозможности сдѣланія прочной связи по высотѣ фермъ, эти коэффициенты нужно принять и для раскосовъ, если только фермы не усилены жесткими стойками.

ВЪ ЗАКЛЕПКАХЪ.

Въ заклепкахъ коэффициентъ перерѣзывающаго усилія принять можно равнымъ около $\frac{4}{5}$ отъ средней величины коэффициентовъ сжатія и вытягиванія, т. е. $\frac{4}{5} \left(\frac{8,5 + 7,5}{2} \right) = 6,5$ килограмм. Въ заклепкахъ же, скрѣпляющихъ съ основными частями части, подверженныя непосредственному дѣйствію подвижныхъ грузовъ, сопротивленіе перерѣзыванію килограмм. 6. Что касается до усилій, сминающихъ стѣнки отверстія заклепокъ, то таковыя усилія, при мало-мальски тщательной склепкѣ, дѣйствія своего произвести не могутъ. Отъ дѣйствія продольныхъ усилій проушины полосъ, насаженныхъ на общій болтъ, могутъ измѣниться какъ показано на чер. 34.

Подобный способъ разрушенія стѣнокъ заклепочныхъ отверстій не возможенъ, ибо, ранѣе чѣмъ сомнется стѣнка, головка заклепки должна будетъ оторваться. Если сминаніе и можетъ произойти, то въ полоскѣ *a*, соотвѣтствующей діаметру заклепочной головки (чер. 35), а никакъ не по плоскости, соотвѣтствующей стерженьку заклепки. Принимая коэффициентъ смина-

нія равнымъ коэффициенту перерѣзыванія и замѣчая, что $a = 1,8d$, найдемъ, что на 1 кв. миллим. сминаемой площади можно допустить, $1,8 \times 6,5 = 11,7$ до $1,8 \times 6 = 10,8$ килограм. Допущенные здѣсь коэффициенты перерѣзыванія и сминанія тѣмъ благонадежнѣе, что при плотной склепкѣ большая часть растягивающихъ усилій уничтожится треніемъ между листами. Допуская эти коэффициенты въ большей части случаевъ для плотности шва, придется сближать заклепки болѣе, нежели сколько потребуетъ расчетъ. Разсматривая соединеніе звеньевъ въ цѣпныхъ мостахъ, убѣдиться можно, что въ существующихъ мостахъ этой системы вовсе не обращается вниманіе на сминаніе въ продюшинахъ. Опытъ подтвердилъ излишество расчета на сминаніе.

VI. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ НАПОРЪ ВѢТРА.

При расчетѣ устойчивости мостовыхъ фермъ и прочности связей между ними относительно давленія, производимаго вѣтромъ, считаютъ таковое давленіе равнымъ 1 пуд. на кв. футъ. За площадь дѣйствія вѣтра принимаютъ половину площади фермы безъ вычета просвѣтовъ, въ случаѣ рѣшетчатыхъ фермъ, и боковую площадь поѣзда, считая таковой въ 8 футъ непрерывной высоты. При такомъ давленіи на поѣздъ съ боку, соотвѣтствующемъ скорости вѣтра 33 метра $= 108$ ф. въ секунду, движеніе поѣздовъ затруднительно, а потому какъ коэффициенты устойчивости, такъ и коэффициенты прочности могутъ быть даваемы, при допущеніи нахожденія поѣзда по мосту, самые умѣренныя.

Наименьшій коэффициентъ устойчивости можетъ быть принять въ 1,2.

Сопротивленіе связей вытягиванію, по примѣру нѣкоторыхъ цѣпныхъ мостовъ, килограмовъ	12
Сжатію, не вычитая заклепокъ.	10
Сопротивленіе заклепокъ перерѣзыванію	9

VII. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ТОЛЧКИ И ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ЦЕНТРОБѢЖНАЯ СИЛА.

Эти послѣднія усилія крайне незначительны. Для наибольшаго вѣса поѣзда изъ однихъ поровозовъ 3220 фунтовъ на погонный футъ пути, при скорости пассажирскаго поѣзда на мосту и въ кривой 30 фут. въ секун. (31 верст. въ часъ), при радіусѣ въ кривой въ 2000 футъ. Формула центробѣжнаго усилія:

$$P = \frac{3220 \cdot 30^2}{32,2 \cdot 2000} = 45 \text{ фунтовъ.}$$

Эти 45 фунтовъ на футъ, въ случаѣ дѣйствія сильнаго вѣтра, будутъ недостижимы, ибо тогда скорость не превзойдетъ 15 фут. въ секунду и Р будетъ равно 10 фунт. Въ случаѣ дѣйствія вѣтра на выпуклую сторону пути, центробѣжная сила будетъ ослаблять дѣйствіе онаго на связи.

ЗАКЛЮЧЕНІЕ.

Для совершеннаго обезпеченія прочности можно вышеприведенные коэффициенты нѣсколько уменьшить; нагрузку въ мостахъ до 55 фут. пролетомъ считать сосредоточенной, а при большихъ пролетахъ въ 30 пуд. на погонный футъ фермы. Тогда для жѣла, выдерживающаго 32 килограм. на милл., допустить можно:

Въ поясахъ и раскосахъ

(320 пуд.). Вытягиваніе килограм.	8
(280 п.). Сжатія, невычитая саклепскъ	7

Въ небольшихъ балкахъ, поперечинахъ и подобныхъ частяхъ:

(280 п.). Вытягиваніе	7
(240 п.). Сжатіе, не вычитая заклепокъ	6

Въ заклепкахъ главныхъ частей:

(240 п.). Перерѣзываніе	6
-----------------------------------	---

Въ заклепкахъ скрѣпляющихъ поперечины и тому подобное съ главными частями:

(220 п.). Перерѣзываніе 5,5

Въ связяхъ и ихъ заклепкахъ:

(400 п.). Вытягиваніе 10

(360 п.). Сжатіе 9

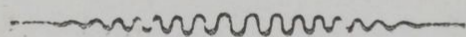
(320 п.). Перерѣзываніе 8

Въ такомъ случаѣ испытанію подвергать можно по нѣскольку штукъ изъ партіи на выборъ. Въ случаѣ же, если употребляемое желѣзо будетъ высокихъ качествъ и выдержитъ до разрыва болѣе 32 килограм. на милл., то коэффициенты должны быть по порціи увеличены.

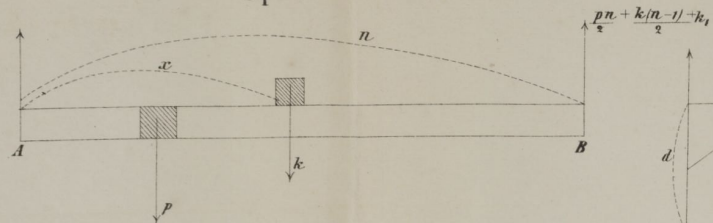
Примѣчаніе 1. Что касается до сборки мостовъ и прилаживанія частей, то таковыя должны быть производимы самымъ тщательнымъ образомъ. Ни въ какомъ случаѣ при сборкѣ поясовъ не можетъ быть допущена заготовка длинныхъ частей ихъ на заводахъ съ тѣмъ, чтобы на мѣстѣ производить только соединеніе этихъ массивныхъ кусковъ. При такомъ способѣ сборки поясовъ главные стыки ихъ никогда не будутъ одинаково прочны съ прочими стыками.

Примѣчаніе 2. Въ неразрывныхъ фермахъ, гдѣ значительное число раскосовъ сжато вытянутыхъ и части поясовъ въ предѣлахъ $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$ длины пролета, считая отъ средней опоры, будутъ то сжиматься, то вытягиваться, коэффициенты относительно вертикальныхъ усилій должны быть на 1 килограммъ понижены.

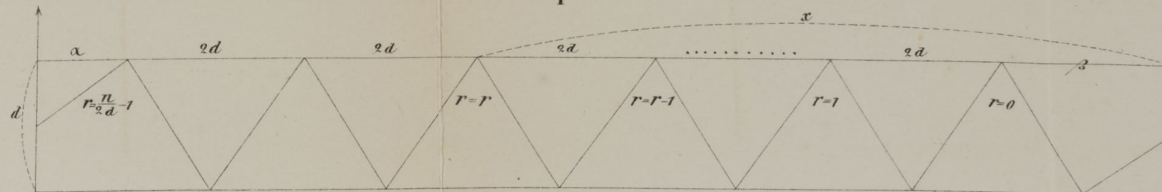
Примѣчаніе 3. По примѣру Австріи полезно было-бы назначить различные коэффициенты прочности для желѣза внутренняго приготовленія и для заграничнаго.



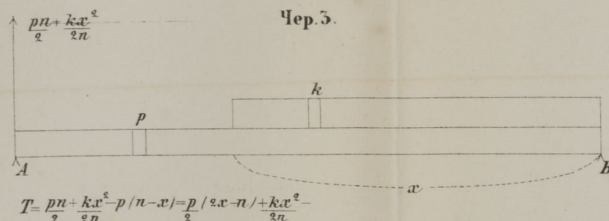
Чер. 1.



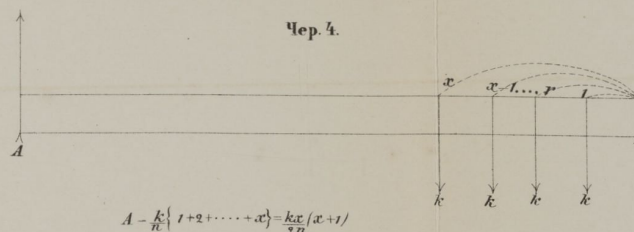
Чер. 2.



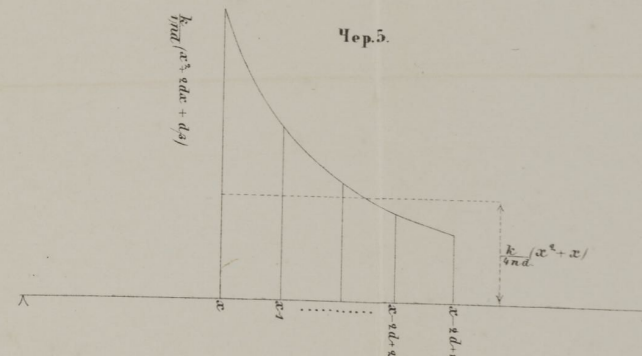
Чер. 3.



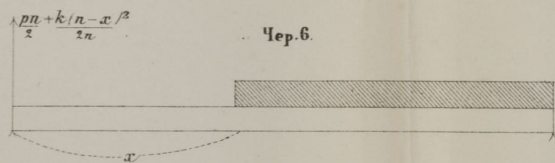
Чер. 4.



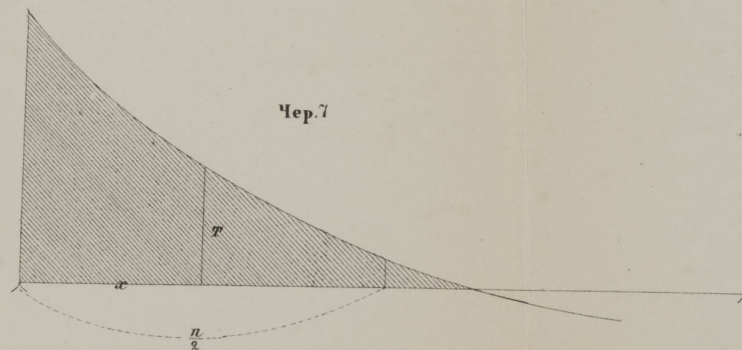
Чер. 5.



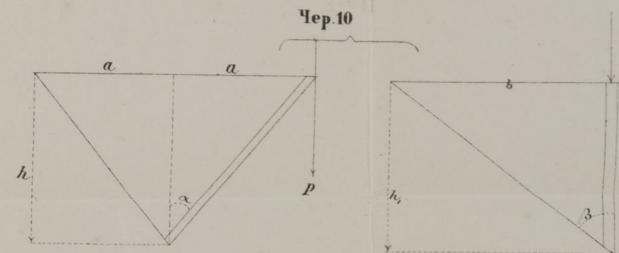
Чер. 6.



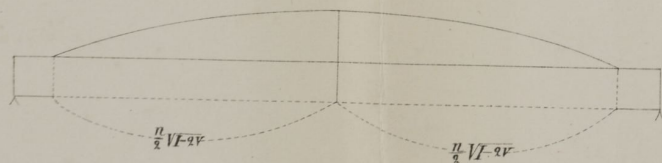
Чер. 7.



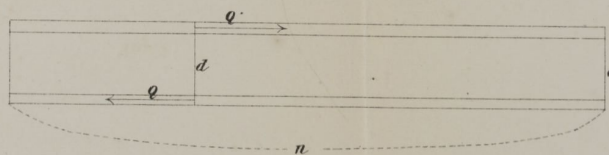
Чер. 10.



Чер. 9.

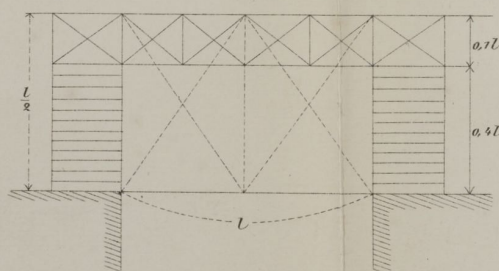
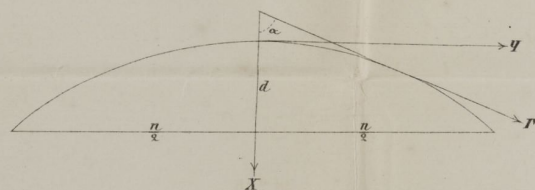
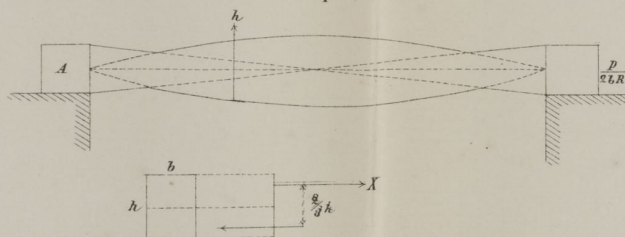
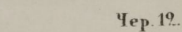


Чер. 8.

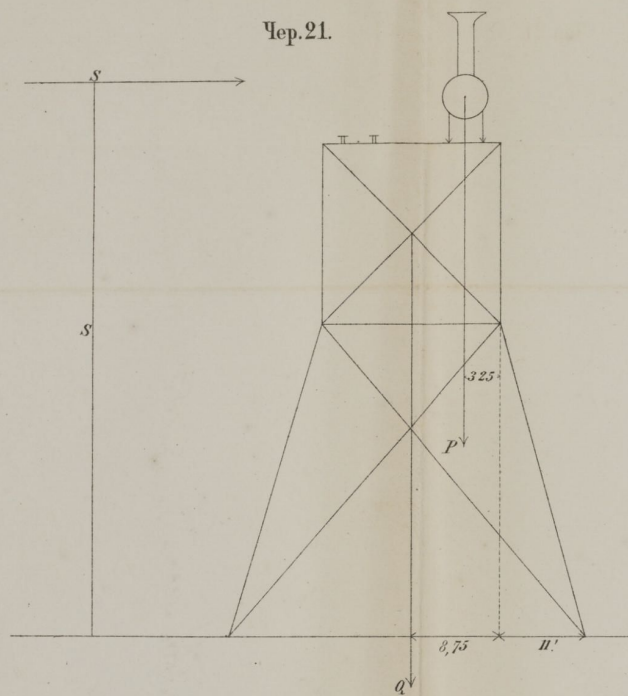


Чер. 11.

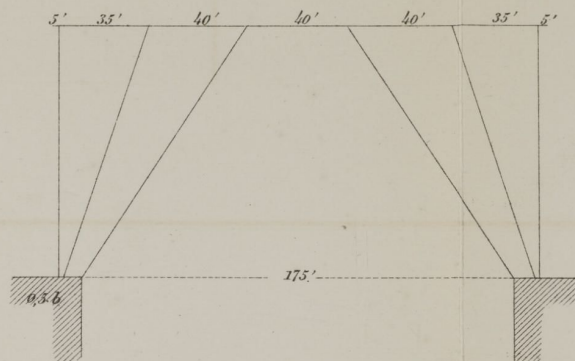




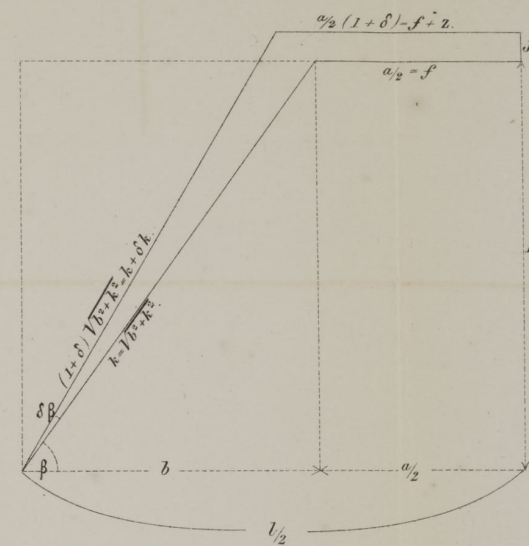
Чер. 21.



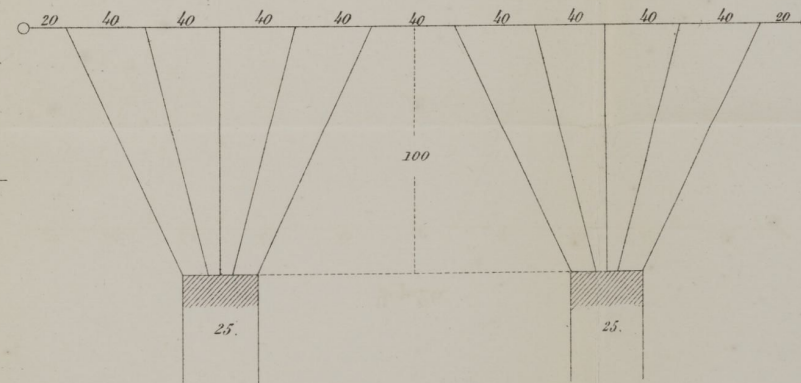
Чер. 22.



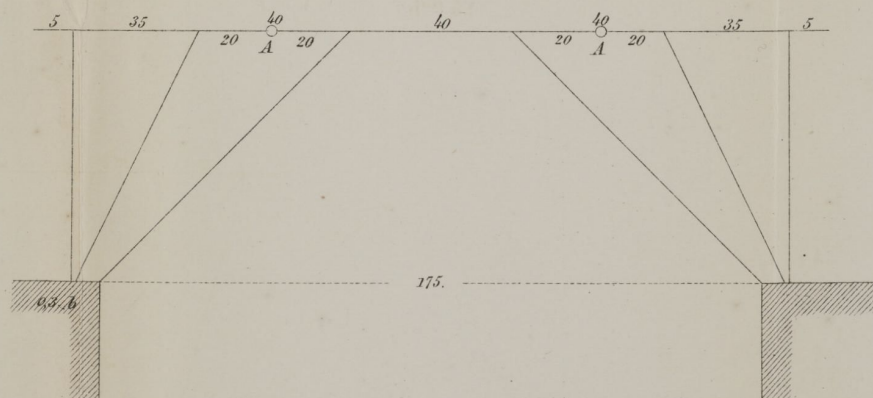
Чер. 23.



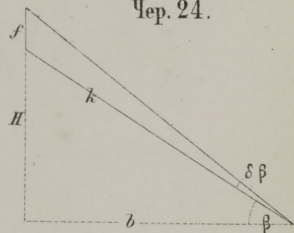
Чер. 26.



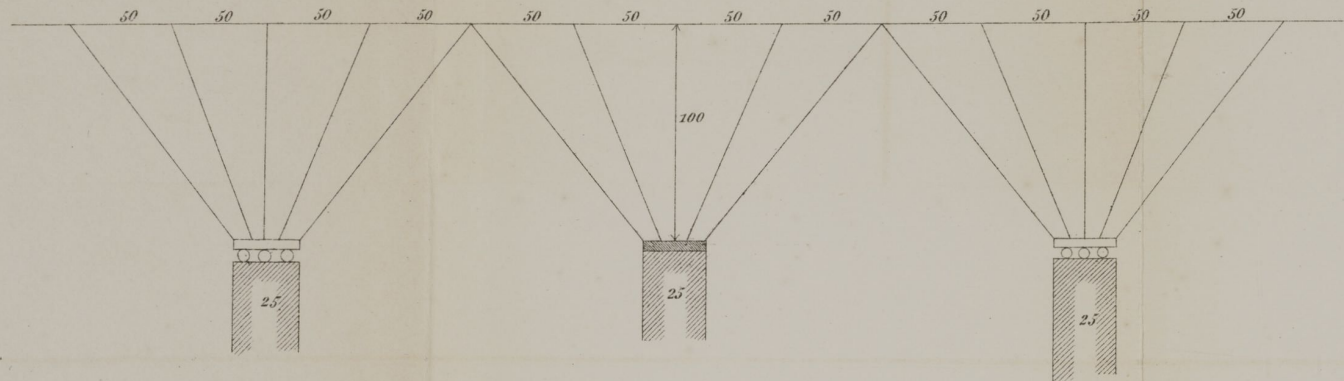
Чер. 25.



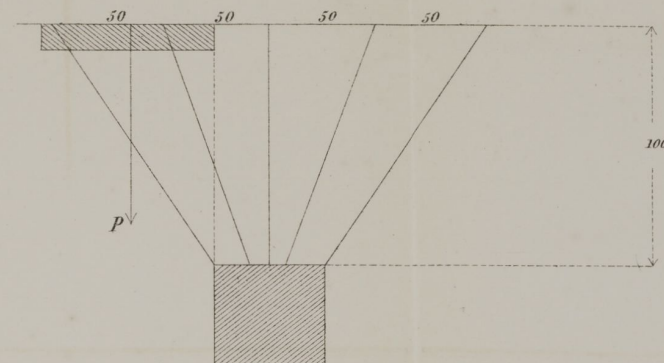
Чер. 24.



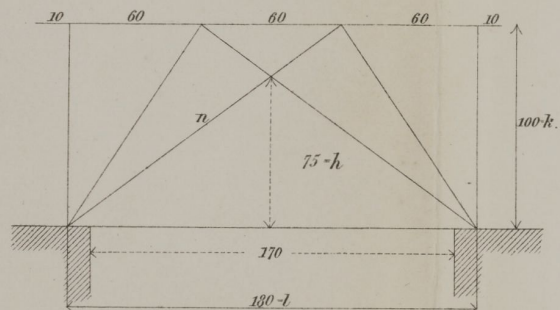
Чер. 27.



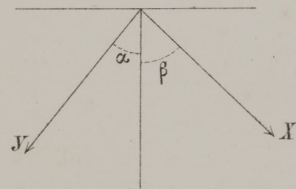
Чер. 28.



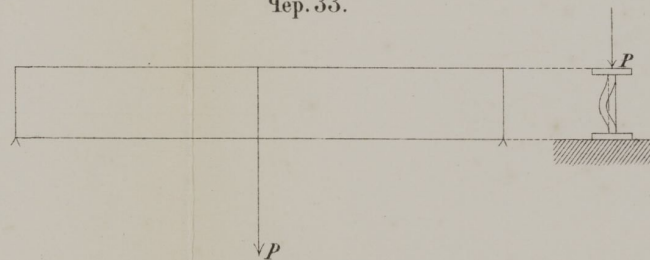
Чер. 29.



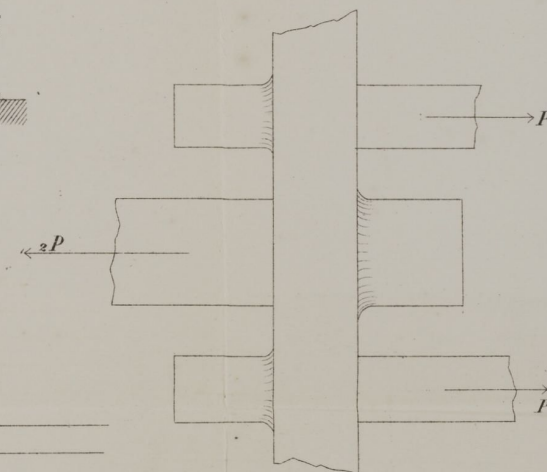
Чер. 30.



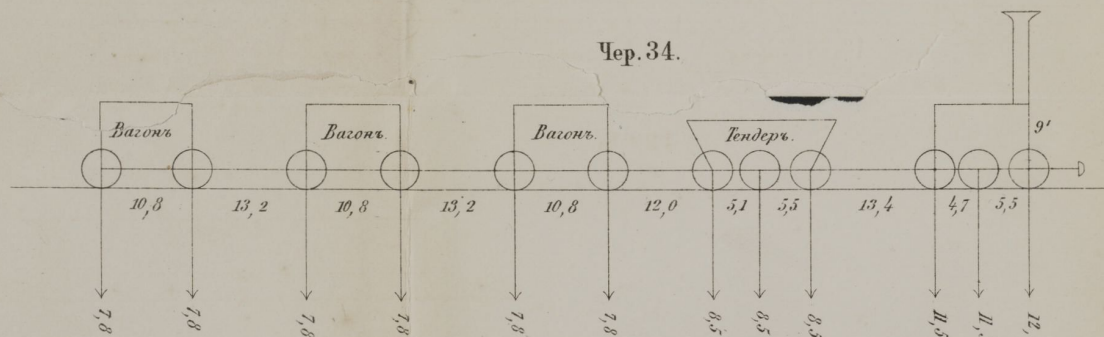
Чер. 33.



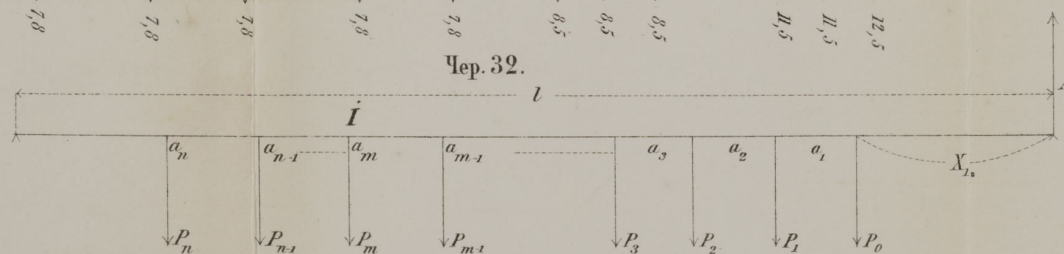
Чер. 34.



Чер. 34.



Чер. 32.



Чер. 35.

