

На дом
не выдается

4 1.752

О НАИВЫГОДНѢЙШЕЙ СИСТЕМѢ

ВІАДУКОВЪ.

(ИЗЪ ЗАПИСОКЪ ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРОВЪ ПУТЕЙ СООБЩЕНІЯ.)

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

ТИПОГРАФІЯ ТОВАРИЩЕСТВА «ОБЩЕСТВЕННАЯ ПОЛЬЗА»,

по мѣстѣ, № 5.

1871.

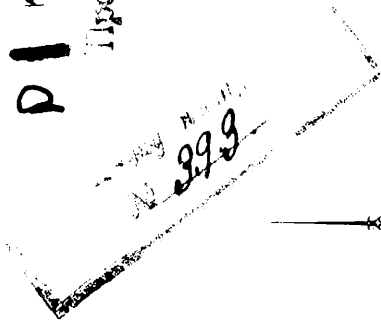
О НАИВЫГОДНѢЙШЕЙ СИСТЕМѢ

ВІАДУКОВЪ.

Р 1 752

Прочеръ 1866

(изъ записокъ института инженеровъ путей сообщения).



ВИБЛ. 8
ИМПЕРАТОРСКИМЪ
МОСКОВСКОГО
ТЕХНИЧЕСКАГО УЧЕБНАГО

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

ТИПОГРАФІЯ ТОВАРИЩЕСТВА «ОБЩЕСТВЕННАЯ ПОЛЬЗА»,

по мѣлкѣ, М 5.

1871.

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 разсматриваются въ совокупности, а наивыгоднѣйшіе размѣры опредѣляются отдѣльно для опоръ и отдѣльно для пролетныхъ частей. Если же разсматривать 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.

СРАВНЕНІЕ ВСѢХЪ ЖЕЛѢЗНЫХЪ МОСТОВЪ РАЗЛИЧНЫХЪ СИСТЕМЪ.

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

A. ВѢСЪ ФЕРМЪ, НЕПРОИЗВОДИЩИХЪ РАСПОРА.

Разсматривая ферму непронизводящую горизонтальнаго распора, какъ балку, лежащую на двухъ опорахъ, размѣры оной рассчитываютъ 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 вѣшнихъ силъ въ сѣченіи x :

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

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

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 расстоянии β панелей от опоры В. Здесь $\alpha + \beta = 2d$, где d высота фермы, выраженная въ панеляхъ. Кроме предыдущихъ обозначеній, примемъ:

h — высота фермы въ футахъ.

$x = \beta + 2rd$ — расстояние отъ разсматриваемаго 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 разсматриваемаго сѣченія.

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

*) Формула эта получится слѣдующимъ образомъ: Нагрузка въ какой либо точкѣ, на расстоянии x панелей отъ опоры В, даетъ на опору 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-

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

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

По способу Г. Рехневскаго вертикальное напряженіе раскоса получится

$$T_1 = \frac{1}{4d} \left\{ p(2x - n) + \frac{kx^2}{n} \right\} \text{ (чер. 3); формула эта даетъ напряженіе мень-}$$

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

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

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

женіе 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 разнится 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 меньше дѣйствительнаго $\frac{k}{4nd}(x^2 + 2xd + \alpha\beta)$. Прпмѣръ. 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 $T = \frac{k}{2n} (x^2 - 2ni'x + in^2)$, гдѣ $q = p + k$, $i = \frac{q}{k}$. Последнее выраженіе для T представляетъ параболу, площадь которой (чер. 7) дастъ сумму поперечныхъ усилій въ полуфермѣ

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

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 среднѣ 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 напругами ихъ, должна уравновѣшиваться съ моментами вѣшнихъ 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, соответствующей $Q = \frac{qn}{4}$, 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 = $\frac{qn^3}{6dR} \left\{ \frac{3ad}{n} + \sqrt{1 - 2 \frac{da}{n}} \left(1 - 2 \frac{da}{n} \right) \right\} = \frac{qn^3}{6dR} \left\{ 3v + \sqrt{(1 - 2c)^3} \right\}$
Здѣсь $v = \frac{ad}{n}$ отношеніе высоты фермы къ длинѣ, умноженное на отношеніе коэффиціентовъ $\frac{R}{R_1}$. Если бы весь поясъ былъ параболическій, то величина, пропорціональная объему обоихъ поясовъ, была бы равна $\frac{qn^3}{6d..}$. 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 $= \left(\frac{qn^2}{6dl}\right) \frac{21}{20} \cdot \frac{l}{144R} \delta$. Здѣсь δ вѣсъ 1 куб. фута желѣза; 144 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 0,27qn². Сумма сѣченій вѣсхъ раскосовъ плоскостію горизонтальною будетъ $\frac{0,27qn^2}{144 R_1}$. Принимая въ соображеніе, что длина каждаго раскоса равна высотѣ h, раздѣленной на cos α, гдѣ α уголъ раскоса съ вертикальною и что напряженіе передается подѣломъ 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 $(0,27qn^2) \frac{1}{R_1 \cos^2 \alpha} \cdot \frac{1}{144}$; вѣсъ 0,27qn² $\frac{\delta}{144R_1 \cos^2 \alpha}$. Для R₁ = 200; α = 45°; $\frac{1\delta}{144} = 0,093$, вѣсъ подкосовъ $\frac{252}{10^6} qnl$.

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

Связи, поперечины и настиль отъ системы фермы не зависятъ.

Затѣмъ вѣсъ многораскосной фермы, при отношеніи высоты фермы къ пролету въ 0,1 будетъ $\left(\frac{651 + 252 + 93}{10^6}\right) qnl \dots \frac{qn^2}{1000}$.