

624.2
П20

Е. О. ПАТОНЪ.

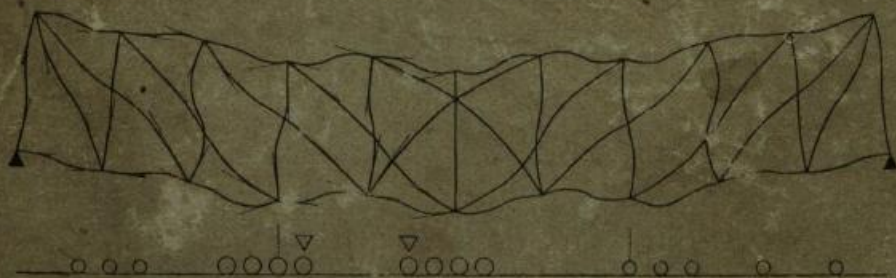
РАЗСЧЕТЪ

СКВОЗНЫХЪ ФЕРМЪ

СЪ

ЖЕСТКИМИ УЗЛАМИ.

6731.



Съ 6 листами чертежей.



МОСКВА.

Типо-литографія В. Рихтеръ, Тверская, Мамонтовскій пер., свой домъ.
1901.



627
627

H.O. 1366

624.2
П20

В. О. ПАТОНЪ

РАБОЧЕЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ ЧЕРТЕЖИ

ИМПЕРАТОРСКОГО МОСКОВСКАГО ИНЖЕНЕРНАГО УЧИЛИЩА

ИЗДАНИЕ

Печатано съ разрѣшеніи Императорскаго Московскаго Инженернаго Училища
Видомства Путей Сообщенія.

ИЗДАНИЕ

624.21.072.04

Замѣченныя опечатки.

Страница.	Строка.		
11	19 сверху	вмѣсто конца надо	концевая касательная ✓
13	6 "	надо $M_{12} = \frac{2EI}{l} [2(\varphi_1 - \varphi_{1.2}) + (\varphi_2 - \varphi_{1.2})]$	✓
13	20 "	надо: вертикальное или горизонтальное направление.	✓
20	16 "	$\left(\frac{N}{n} - 1\right)$. 100 вмѣсто $\left(\frac{N}{n} - 1\right)$	✓
31	4 "	къ 6-й граффъ таблицы вмѣсто 2,82 надо 3,82	
34		къ фиг. 27 къ узлу 5 приложено 9 ton, а не 18 ton.	
39	18 снизу	$\left(\frac{N}{n} - 1\right)$. 100 вмѣсто $\left(\frac{N}{n} - 1\right)$	
71	22 сверху	вмѣсто большую ширину — надо большую высоту вертикальнаго листа.	
74	2 снизу	вмѣсто къ надо въ	
75		въ фиг. 53 силы X должны быть приложены къ углахъ 9 и 8', а силы Y къ углахъ 9' и 8.	
77		въ уравненіяхъ 24 и 25 вмѣсто d.S надо dS	
86	4 снизу	вмѣсто C надо c	
90	1 сверху	вмѣсто $\frac{k}{cm}$ надо $\frac{k}{cm^2}$	
92	19 "	вмѣсто небольшая надо наибольшая	
93	6 снизу	вмѣсто къ § 19 надо въ § 19.	
156	26 сверху	вмѣсто $(\varphi_{3.7})$ надо $(\varphi_{3.7})$	

Расчетъ сквозныхъ фермъ съ жесткими узлами.

1 Отдѣлъ.

Способы расчета.

§ 1. Вступленіе.

Расчетъ усилий въ элементахъ сквозныхъ фермъ обыкновенно производится въ предположеніи, что въ узлахъ элементы соединены между собой помощью идеальныхъ шарнировъ, свободныхъ отъ тренія, вслѣдствіе чего продольная усилія точно совпадаютъ съ осями элементовъ и вызываютъ въ нихъ лишь равномерныя напряжения. Въ действительности узлы устраиваются или жесткими, при помощи заклепочныхъ соединений, или шарнирными, оказывающими болѣе или менѣе значительное сопротивленіе вращенію ¹⁾. Вслѣдствіе несовершенства названныхъ узловыхъ соединений элементы фермы находятся въ условіяхъ брусьевъ съ задрънанными концами и подвергаются изгибу, испытывая кромѣ равномерныхъ (основныхъ)—дополнительныя напряжения.

Исслѣдованіе дополнительныхъ напряженій, вызванныхъ заклепочными узловыми соединеніями, составляетъ цѣль настоящаго труда. Въ началѣ помѣщенъ краткій очеркъ различныхъ способовъ расчета дополнительныхъ напряженій, а затѣмъ, исходя изъ результатовъ многочисленныхъ расчетовъ, приведены данныя о вліяніи заклепочныхъ узловыхъ соединеній на фермы различныхъ системъ, имѣющихъ примѣненіе въ мостовомъ дѣлѣ.

Подробные расчеты дополнительныхъ напряженій отъ жесткости узловыхъ соединеній составлены нами для шести мостовыхъ фермъ наиболее употребительныхъ системъ. Для трехъ фермъ въ основаніе расчета положены опредѣленные случаи нагрузки моста, а для остальныхъ фермъ расчетъ напряженій произведенъ при помощи инволюэнтныхъ линий.

Насколько намъ извѣстно въ литературѣ не встрѣчается случаевъ примѣненія инволюэнтныхъ линий для означенной цѣли. Хотя расчетъ по инволюэнтнымъ линиямъ много сложнее, чѣмъ при разсмотрѣніи опредѣленнаго случая нагрузки, но за то инволюэнтныя линии даютъ возможность найти невыгоднѣйшее расположеніе нагрузки и рассчитать наибольшія напряжения, такъ и тѣ, которыя соответствуютъ всевозможнымъ случаямъ нагрузки.

Въ приложеніи помѣщенъ полный расчетъ основныхъ и дополнительныхъ напряженій для статически неопредѣлимой двухраскосной фермы пролетомъ 20 саж.

¹⁾ Въ 1896 году французскимъ инженеромъ Менаже предложено, а въ 1899 г. применено для 40 мет. фермъ новый типъ узловыхъ соединеній, устроенныхъ при помощи изогнутыхъ листовъ (см. *Annales des ponts et chaussées* 1896, 2-e sem. Стр. 750; 1898, 2-e trim. Стр. 300; 1899, 2-e trim. Стр. 236) и напоминающихъ листовые шарниры, описанные нами въ журналѣ М. П. С. за 1899 г.

§ 2. Общія соображенія.

При нагрузкѣ сквозной фермы съ шарнирными узлами, свободными от тренія, ее элементы подвержены дѣйствию центральных продольныхъ усилій и измѣняютъ свои длины. Вслѣдствіе этого узлы фермы принимаютъ новыя положенія, причѣмъ измѣняются углы, заключенные между отдѣльными элементами.

При нагрузкѣ сквозной фермы съ жесткими, заделанными узлами продольная усилія S , соответствующія отдѣльнымъ элементамъ, не совпадаютъ съ осми послѣднихъ и поэтому вызываютъ въ элементахъ неравномерное сжатіе или растяженіе.

Рассмотримъ какое-нибудь сѣченіе одного изъ элементовъ. Продольную силу S , приложенную къ сѣченію на разстояніи x отъ нейтральной оси послѣдняго, можно замѣнить: 1) изгибающимъ моментомъ $M_x = S \cdot x$, вызывающимъ дополнительныя напряженія $\tau = \frac{M_x \cdot e}{I}$ и 2) продольной силой S_0 , приложенной въ центр тяжести сѣченія параллельно силѣ S и произвождающей во всемъ сѣченіи равномерное сжимающее или растягивающее напряженіе $\eta = \frac{S_0}{\omega}$. Вслѣдствіе ничтожнаго отдаленія силы S_0 отъ оси элемента можно предположить, что сила S_0 по величинѣ равна ее составляющей, направленной по оси элемента. На этомъ основаніи можно принять



Фиг. 1.

безъ большихъ погрѣшностей, что величина продольной силы будетъ при жесткихъ узлахъ таже, какъ при шарнирныхъ узлахъ. Если кромѣ того имѣть въ виду, что изгибающій моментъ M_0 оказываетъ ничтожное вліяніе на удлиненіе или укороченіе элемента, то можно заключить, что въ случаѣ шарнирныхъ и жесткихъ узловъ измѣненія длинъ элементовъ одни и тѣ же; вслѣдствіе чего линейныя перемѣщенія узловъ будутъ одинаковы въ обоихъ случаяхъ. Существенная разниця замѣчается въ деформацияхъ элементовъ: при шарнирныхъ узлахъ они остаются прямыми, между тѣмъ какъ при жесткихъ узлахъ они подвержены изгибу, который можетъ быть простой (\curvearrowright) или двойной (\curvearrowleft).

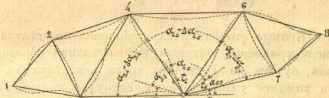
Въ фиг. 1 изображены деформация фермы въ предположеніи того или другого типа узловъ; сплошныя линіи относятся къ случаю жесткихъ, а пунктирные — къ случаю шарнирныхъ узловъ.

Каждый элементъ фермы съ жесткими узлами можетъ быть рассматриваемъ какъ брусъ съ заделанными концами. Для расчета напряженій такого бруса необходимы опорные моменты, которые опредѣляются по известной формулѣ $M_1 = \frac{2EI}{l} (2\tau_1 + \tau_2)$, если даны углы τ_1, τ_2 , заключаемые между хордой элемента и концевыми касательными къ его упругой линіи.

Самую существенную часть расчета дополнительныхъ напряженій составляетъ опредѣленіе угловъ τ . Эта задача можетъ быть рѣшена различными способами, изложенными въ слѣдующихъ параграфахъ.

§ 3. Общій способъ расчета.

Въ фиг. 2 представлена ферма съ жесткими узлами. Рассмотримъ произвольный узелъ 5. Углы, заключенные до деформации фермы между элементами 5—3, 5—4, 5—6 и 5—7, обозначимъ черезъ $\alpha_{3,4}, \alpha_{4,6}, \alpha_{6,7}$. Приложимъ къ фермѣ извѣстную нагрузку. Тогда узлы займутъ новыя положенія, обозначенныя въ фиг. 2 номерами 1, 2, 3, 4, ..., а элементы изогнутся по линіямъ, показаннымъ пунктиромъ. Если соединимъ теперь соответственные узлы прямыми линіями (хордами), то послѣднія уже не будутъ заключать между собой углы α , а извѣстные углы $\alpha \pm \Delta\alpha$.

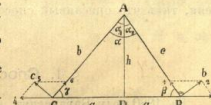


Фиг. 2.

Измѣненія угловъ $\Delta\alpha$ могутъ быть непосредственно рассчитаны по удлиненьямъ и укороченьямъ элементовъ и принимаются за извѣстныя величины³⁾. Для

3) Предположимъ, что на треугольникъ ABC съ шарнирными узлами дѣйствуютъ извѣстныя внѣшнія силы, вызывающія въ элементахъ a, b, c удлиненья или укороченія $\Delta a, \Delta b$ и Δc . Узлы треугольника примутъ новыя положенія, вслѣдствіе чего измѣнятся углы α, β, γ на величины $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$.

Для опредѣленія измѣненія $\Delta\alpha$ угла $BAC = \alpha$ приложимъ (согласно Winkler, Theorie der Brücken II Heft, 1881, § 115) въ узлахъ B и C перпендикулярно къ BA и CA силы равныя b и c . Усилия элементовъ треугольника, вызванныя силами b и c , можно рассчитать изъ подобія слѣдующихъ треугольниковъ:



Фиг. 3.

Изъ $\Delta ADB \sim \Delta BEI$: усиліе элемента $AB = -\frac{a_2 b}{h}$
 Изъ $\Delta ADC \sim \Delta CDE$: усиліе элемента $AC = -\frac{a_1 c}{h}$
 Изъ $\Delta ADB \sim \Delta BEI$ или изъ $\Delta ADC \sim \Delta CDE$: усиліе элемента $BC = +\frac{b c}{h}$, причѣмъ $h = AD, a_1 = CD$

и $a_2 = BD$. Представимъ себѣ, что конецъ A элемента AB закреплень и что свободный конецъ B можетъ перемѣщаться лишь по направленію AB , тогда работа внѣшней силы b будетъ равна нулю и при деформации треугольника ABC узелъ C перемѣстится по направленію внѣшней силы c на величину $b \cdot \Delta\alpha$, гдѣ $\Delta\alpha$ искомое измѣненіе угла α .

Приравнявъ работу внѣшней силы c работѣ внутреннихъ силъ, получимъ

$$c \cdot b \cdot \Delta\alpha = \frac{b \cdot c}{h} \cdot \Delta a - \frac{a_1 \cdot c}{h} \cdot \Delta b - \frac{a_2 \cdot b}{h} \cdot \Delta c$$

$$\text{откуда } \Delta\alpha = \frac{1}{h} \left(\frac{\Delta a}{a} \cdot a - \frac{\Delta b}{b} \cdot a_1 - \frac{\Delta c}{c} \cdot a_2 \right)$$

Обозначая основныя усилія элементовъ черезъ S_a, S_b, S_c ; площади сѣченій черезъ $\omega_a, \omega_b, \omega_c$; основныя напряженія черезъ $\sigma_a = \frac{S_a}{\omega_a}, \sigma_b = \frac{S_b}{\omega_b}$ и $\sigma_c = \frac{S_c}{\omega_c}$ и подставляя вмѣсто относительныхъ удлиненья или укороченья $\frac{\Delta a}{a}, \frac{\Delta b}{b}$ и $\frac{\Delta c}{c}$ равныя имъ значенія $\frac{\sigma_a}{E}, \frac{\sigma_b}{E}, \frac{\sigma_c}{E}$ получимъ

$$\Delta\alpha = \frac{1}{E h} (\sigma_a \omega_a - \sigma_b \omega_{a_1} - \sigma_c \omega_{a_2}) \text{ или вводи углы } CAD = \alpha_1 \text{ и } BAD = \alpha_2$$

$$\Delta\alpha = \frac{1}{E} \left[\sigma_a (\omega_a \alpha_1 + \omega_b \alpha_2) - \sigma_b \omega_{a_1} \alpha_1 - \sigma_c \omega_{a_2} \alpha_2 \right]$$

определения положения изогнутых элементов относительно хорды проведем в концах элементов касательные к упругим линиям. Обозначим неизвестные углы между этими касательными и хордами через $\tau_2, \tau_1, \tau_4, \tau_7$. Исходя из того условия, что концы элементов зафиксированы в узлах и что вследствие этого углы между конечными касательными не изменяют своих первоначальных значений $\alpha_{3,4}$ и $\alpha_{6,7}$ не трудно найти зависимость между углами $\alpha, \Delta\alpha$ и τ . Например для угла между хордами 3-3 и 5-4 имеем:

$$\begin{aligned} \alpha_{3,4} + \tau_3 - \tau_4 &= \alpha_{3,4} + \Delta\alpha_{3,4} & 1) \\ \text{или } \tau_3 - \tau_4 &= \Delta\alpha_{3,4} & 1) \\ \text{также } \tau_1 - \tau_6 &= \Delta\alpha_{6,7} & 2) \\ \text{и } \tau_6 - \tau_7 &= \Delta\alpha_{6,7} & 3) \end{aligned}$$

Правые стороны этих уравнений представляют известные величины. Число уравнений, которые можно таким образом написать для каждого узла, будет на 1 меньше числа неизвестных углов τ . Недостающее для каждого узла уравнение нетрудно получить из условия, что сумма моментов усилий S и внешних сил, приложенных в каждом узле, равна нулю. Если выразить опорные моменты элементов через углы τ , пользуясь формулой $M_{3,3} = \frac{2EI}{l}(2\tau_3 + \tau_4)$, то получится новое уравнение для расчета неизвестных углов τ .

Таким образом можно получить необходимое число уравнений для определения углов τ . Число уравнений равно двойному количеству элементов фермы. Все уравнения получаются первой степени и их решение не представляло бы затруднений, если бы число их не было столь значительно. Даже для небольшой фермы вычисления требуют много труда и времени, так что описанный способ не имеет практического значения.

§ 4. Способ Мандерла ³⁾.

В 1880 году Баварским инженером Мандерла предложен первый удобоприимный способ расчета дополнительных напряжений от жест-

Подставляя $\tau_1 \alpha_1 = \epsilon \gamma$ и $\tau_2 \alpha_2 = \epsilon \beta$, получим искомого формулы для расчета изменений углов:

$$\begin{aligned} \Delta\alpha &= \frac{1}{E} \left[(n_3 - n_4) \epsilon \gamma + (n_5 - n_6) \epsilon \beta \right] \\ \Delta\beta &= \frac{1}{E} \left[(n_7 - n_8) \epsilon \gamma + (n_9 - n_{10}) \epsilon \beta \right] \\ \Delta\gamma &= \frac{1}{E} \left[(n_{11} - n_{12}) \epsilon \beta + (n_{13} - n_{14}) \epsilon \gamma \right] \end{aligned}$$

Из сложения последних трех уравнений следует:
 $\Delta\alpha + \Delta\beta + \Delta\gamma = 0$.

Эти формулы одинаково применимы для ферм с шарнирными или жесткими узлами. Так как, согласно изложенному в § 2, линейные перемещения узлов могут быть приняты одинаковыми в обоих случаях. Другие выводы тех же формул находятся у:

- Ritter, Anwendungen d. graph. Statik II Teil.
- Ritter, Schweizerische Bauzeitung 1885, I, стр. 65.
- Müller-Breslau, Graphische Statik II Bd.
- Müller-Breslau, Zeitschrift d. Arch. u. Ing. Ver. zu Hannover 1885, стр. 419.
- ³⁾ Allgemeine Bauzeitung 1880.

кости узлов, причем число неизвестных углов τ уменьшено до числа узлов фермы. Не отступая от общего способа расчета, Мандерла сперва определяет изменения $\Delta\alpha$ всех углов α между хордами, вызванными перемещениями узлов от действия нагрузки. Затем, обозначая через α неизменяемые углы между конечными касательными упругих линий элементов и через τ углы отклонения конечных касательных от хорды элементов, Мандерла принимает для каждого узла лишь один угол τ за неизвестный и выражает через него все остальные углы τ , относящиеся к тому же узлу. Рассмотрим для примера узел 5 фермы, изображенной в фиг. 2 и примем угол τ_3 за неизвестный. Пользуясь уравнениями 1) 2) 3), выразим остальные углы τ через τ_3

$$\begin{aligned} \tau_4 &= \tau_3 - \Delta\alpha_{3,4} & 4) \\ \tau_6 &= \tau_1 - \Delta\alpha_{4,6} = \tau_3 - \Delta\alpha_{3,4} - \Delta\alpha_{4,6} & 5) \\ \tau_7 &= \tau_6 - \Delta\alpha_{6,7} = \tau_3 - \Delta\alpha_{3,4} - \Delta\alpha_{4,6} - \Delta\alpha_{6,7} & 6) \end{aligned}$$

Повторяя этот прием для всех узлов, получим столько неизвестных τ , сколько имеется узлов. Зависимость между этими углами τ найдется из условия, что для каждого узла сумма моментов равна нулю.

Подставляя в формулу $M = \frac{2EI}{l}(2\tau' + \tau'')$ поочередно для каждого элемента значения τ' и τ'' , выраженных согласно уравн. 4) 5) 6) и приравнивая нулю сумму моментов, соответствующих каждому узлу, получим столько уравнений, сколько имеется неизвестных τ . Точное решение этих уравнений требует много времени, несмотря на то, что их число в способе Мандерла почти в четыре раза меньше, чем в общем способе. Мандерла довольствуется приближенным решением уравнений путем последовательных подстановок приближенных значений τ .

Определив углы τ , нетрудно рассчитать моменты M и затем дополнительные напряжения по формуле $\sigma = \frac{M}{I} e$.

§ 5. Способ Риттера ⁴⁾.

В 1885 году проф. В. Риттером дан способ, отличающийся от общего способа лишь оригинальным методом решения уравнений. Этот метод графический; он основан на использовании веревочными и силовыми многоугольниками и дает лишь приближенные результаты. Пользуясь обозначениями, принятыми при описании общего способа и рассматривая произвольный узел 5 фермы, изображенной в фиг. 2, можно согласно уравнениям 1) 2) 3) написать зависимость между изменениями $\Delta\alpha$ углов α и углами τ отклонения касательных:

$$\begin{aligned} \Delta\alpha_{3,4} &= \tau_3 - \tau_4 \\ \Delta\alpha_{4,6} &= \tau_4 - \tau_6 \\ \Delta\alpha_{6,7} &= \tau_6 - \tau_7 \end{aligned}$$

⁴⁾ Schweizerische Bauzeitung 1885.

W. Ritter, Anwendungen der graphischen Statik II Teil. Das Fachwerk.

Подставляя значения τ , согласно известной формулы для бруса с заданными концами $\tau = \frac{l}{6EI} (2M - M')$, получаем

$$E \cdot A c_{3,4} = \frac{l_3 (2M_3 - M'_3)}{6I_3} - \frac{l_4 (2M_4 - M'_4)}{6I_4}$$

где l длина элемента, I — его момент инерции, M_3, M_4 моменты для концов, закрученных в рассматриваемый узел 5, а M'_3, M'_4 — моменты для противоположных концов.

Такая же выражения получаются для $A c_{4,5}$ и $A c_{5,7}$, так что для решения четырех неизвестных моментов M_3, M_4, M_5, M_7 узла 5 имеется 3 уравнения. Недостающее уравнение найдется из условия, что сумма моментов, соответствующих узлу 5, равна нулю т. е.

$$M_3 + M_4 + M_5 + M_7 = 0.$$

Въ последних 4 уравнения подставим $\mu = \frac{l \cdot M}{6 \cdot I}$.

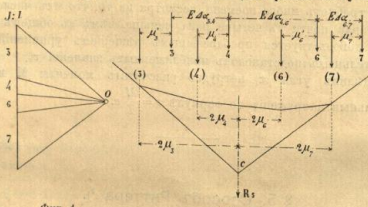
$$E A c_{3,4} = (2\mu_3 - \mu'_3) - (2\mu_4 - \mu'_4) \dots \dots \dots (7)$$

$$E A c_{4,5} = (2\mu_4 - \mu'_4) - (2\mu_5 - \mu'_5) \dots \dots \dots (8)$$

$$E A c_{5,7} = (2\mu_5 - \mu'_5) - (2\mu_7 - \mu'_7) \dots \dots \dots (9)$$

$$\frac{l_3}{I_3} \mu_3 + \frac{l_4}{I_4} \mu_4 + \frac{l_5}{I_5} \mu_5 + \frac{l_7}{I_7} \mu_7 = 0 \dots \dots \dots (10)$$

Для каждого узла фермы получаются такие же уравнения с неизвестными μ и μ' . Число уравнений для каждого узла равно числу пересекающихся



Фиг. 4.

Фиг. 5.

сперва зависимость между 6 моментами треугольника ABC.

пихся въ немъ элементовъ. Общее же число уравнений равно двойному числу элементовъ и соответствуетъ числу неизвестныхъ моментовъ M . Графический способъ опредѣленія неизвестныхъ μ и μ' заключается въ слѣдующемъ: принимая отношенія $\frac{l}{I}$ (ур. 10) за вертикальныя силы, строимъ для каждого узла силовой многоугольникъ (фиг. 4) съ произвольнымъ полюсомъ O . Силы $\frac{l}{I}$ обозначаются номерами узловъ, непосредственно связанныхъ съ рассматриваемымъ узломъ. Напримѣръ для узла 5 силы обозначены черезъ 3, 4, 6, 7. Въ фиг. 5 откладываемъ вертикальныя силы 3, 4, 6, 7 на взаимныхъ расстоянiяхъ $E \cdot A c_{3,4}$, $E \cdot A c_{4,5}$ Предположимъ теперь, что известны значенiя μ' , входящiя въ 4 уравненiя для узла 5, и передвинемъ силы 3, 4, 6, 7 параллельно самимъ себѣ влѣво на расстоянiя μ'_3, μ'_4, μ'_6 и

μ'_7 . Для передвинутыхъ силъ строимъ вероочный многоугольникъ и проводимъ черезъ точку C пересѣченiя его крайнихъ лучей равнодѣйствующую R_5 ; тогда расстоянiя сдвинутыхъ силъ до ихъ равнодѣйствующей R_5 будутъ равны удвоеннымъ значенiямъ неизвестныхъ μ .

Доказать это нетрудно. Если сдвинутыя силы отстоятъ на 2μ отъ ихъ равнодѣйствующей R_5 , то расстоянiя несдвинутыхъ силъ до той же равнодѣйствующей R_5 будутъ $2\mu - \mu'$, а потому расстоянiя между смежными несдвинутыми силами представятся разностью значенiй $(2\mu - \mu')$. Но такъ какъ расстоянiя между смежными силами приняты $= E \cdot A c$, то уравненiя 7), 8), 9) удовлетворены. Условiе, выраженное послѣднимъ уравненiемъ 10) также соблюдено, ибо сумма статическихъ моментовъ $(\frac{l}{I} \cdot \mu)$ параллельныхъ силъ относительно ихъ равнодѣйствующей всегда равна нулю.

Величины μ' , принятыя въ началѣ за известныя, въ действительности также неизвестны какъ значенiя μ . Изъявъ въ виду, что величины μ' оказываются на уравненiя 7), 8), 9) вдвое меньшее влiенiе чѣмъ μ , Риттеръ принимаетъ первоначальныя значенiя μ' равными нулю.

При расчѣтѣ по способу Риттера поступаютъ слѣдующимъ образомъ: принимая $\frac{l}{I}$ за силы, чертятъ для каждого узла силовой многоугольникъ; согласно количеству элементовъ, пересекающихся въ узлѣ, проводятъ вертикальныя прямыя на взаимныхъ расстоянiяхъ $E \cdot A c$. Эти части чертежа не измѣняются и рекомендуется ихъ сразу обвести тушью. Принимая первая приближенiя μ' равными нулю, строятъ при основномъ положенiи силъ вероочныя многоугольники и опредѣляютъ первая приближенiя всѣхъ μ . Принимая вторыя приближенiя μ' равными послѣднимъ значенiямъ μ , передвигаютъ всѣ силы $\frac{l}{I}$ на эти величины, строятъ вторыя вероочныя многоугольники и находятъ вторыя приближенiя для μ . Принимая ихъ за третьи приближенiя для μ' , снова передвигаютъ силы и т. д. Построенiя повторяются до тѣхъ поръ, пока длины отрезковъ 2μ болѣе не измѣняются.

Опредѣливъ всѣ μ и μ' , можно расчѣтать дополнительныя напряженiя по формулѣ:

$$\tau = \frac{6 \cdot e}{l} \cdot \mu, \text{ выведенной изъ формулъ } \mu = \frac{M \cdot l}{6 \cdot I} \text{ и } \tau = \frac{M \cdot e}{I}$$

§ 6. Способъ Мюллера-Бреслау ²⁾.

Исходя изъ теоретическихъ основанiй, изложенныхъ въ общемъ способѣ расчѣта дополнительныя напряженiя (§ 3), проф. Мюллер-Бреслау предложилъ въ 1886 году способъ, который отличается простотой рѣшенiя уравненiй.

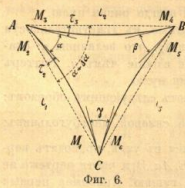
При дѣйствiи вѣшнихъ силъ на треугольникъ ABC, (фиг. 6), составленный изъ трехъ элементовъ, жестко связанныхъ въ узлахъ, элементы изгибаются и въ ихъ концѣхъ вызываються моменты M_3 до M_7 . Опредѣлимъ сперва зависимость между 6 моментами треугольника ABC.

²⁾ Zeitschrift des Archit. u. Jng. Vereins zu Hannover 1886.

На основании уравнений 1), 2), 3) (§ 3), углы τ отклонения касательных могут быть выражены через углы $A\alpha$, $A\beta$, $A\gamma$, на которые изменились углы α , β , γ между хордами вследствие перемещения узлов от действия нагрузки.

$$\left. \begin{aligned} \tau_2 + \tau_3 &= A\alpha \\ \tau_1 + \tau_3 &= A\beta \\ \tau_2 + \tau_1 &= A\gamma \end{aligned} \right\} L$$

Пользуясь известной формулой $r' = \frac{l}{6EI}(2M + M')$, выразим всё τ через опорные моменты M_i до M_6 и введем при этом следующие обозначения:



для элемента AC: $\varphi_1 = \frac{M_1 l_1}{I_1}$ и $\varphi_2 = \frac{M_2 l_1}{I_1}$
 для элемента AB: $\varphi_3 = \frac{M_3 l_2}{I_2}$ и $\varphi_4 = \frac{M_4 l_2}{I_2}$
 для элемента BC: $\varphi_5 = \frac{M_5 l_3}{I_3}$ и $\varphi_6 = \frac{M_6 l_3}{I_3}$

тогда уравнения L примут вид:

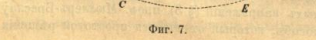
$$\begin{aligned} \varphi_1 + 2(\varphi_2 + \varphi_3) + \varphi_4 &= 6EA\alpha \dots 11 \\ \varphi_3 + 2(\varphi_1 + \varphi_2) + \varphi_4 &= 6EA\beta \dots 12 \\ \varphi_5 + 2(\varphi_1 + \varphi_2) + \varphi_6 &= 6EA\gamma \dots 13 \end{aligned}$$

Кроме того из условия $A\alpha + A\beta + A\gamma = 0$ (см. стр. 4) получится.
 $\varphi_1 + \varphi_3 + \varphi_5 + \varphi_4 + \varphi_6 + \varphi_2 = 0 \dots 14$.

Уравнения 11), 12), 13) можно привести к более удобному виду, если выразить φ_1 , φ_3 , φ_5 через φ_2 , φ_4 , φ_6 .

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= 6EA\alpha - \varphi_2 - 2(\varphi_3 + \varphi_4) \dots (\text{из ур. 11}) \dots 15 \\ \varphi_3 &= 6EA\beta + \varphi_1 + \varphi_2 - \varphi_4 \dots (\text{из ур. 12}) \dots 16 \\ \varphi_5 &= 6EA\gamma + \varphi_2 + \varphi_4 - \varphi_6 \dots (\text{из ур. 13 и 14}) \dots 17 \end{aligned}$$

Уравнения 15), 16), 17) представляют основные уравнения для деформации треугольника с жесткими узлами. Недостающая для расчета шести неизвестных моментов M три уравнения можно получить из условия, что сумма моментов относительно каждого из узлов равна нулю.



Фиг. 7.

На основании вышеизложенного рассчитать неизвестных φ для фермы, составленной из ряда треугольников, (Фиг. 7), производится следующим образом. Исходя из такого узла, в котором пересекаются лишь два элемента, принимаем, что для одного из последних известны оба опорных момента или значения φ . В данном случае принимаем, что известны φ_1 и φ_2 , соответствующая элементу AB. Переходя к узлу A можно рассчитать φ_3 из условия, что сумма моментов M_1 и M_2 , приложенных

к узлу A, равна нулю или $M_1 - M_2 = 0$. Подставляя $M = \varphi \frac{I}{l}$, получится

$$\varphi_1 \cdot \frac{I_1}{l_1} = \varphi_2 \frac{I_2}{l_2}$$

Определив отсюда φ_3 , рассматривая треугольник I и, пользуясь основными уравнениями 15), 16), 17) выражаем φ_4 , φ_5 , φ_6 через φ_1 и φ_2 . Переходя к узлу B получается новое уравнение

$$\begin{aligned} M_2 - M_4 + M_1 &= 0 \text{ или} \\ \varphi_2 \frac{I_2}{l_2} - \varphi_4 \frac{I_2}{l_2} + \varphi_1 \frac{I_1}{l_1} &= 0 \end{aligned}$$

из которого определится φ_4 . Рассматривая затем треугольник II, можно определить φ_5 , φ_6 , φ_3 из основных уравнений, составленных для него по типу уравнений 15), 16), 17). Продолжая таким же образом, можно определить φ_{11} из условия равновесия узла C; φ_{12} , φ_{13} , φ_{14} из основных уравнений для треугольника III; φ_{15} из условия равновесия узла D; φ_{16} , φ_{17} , φ_{18} из основных уравнений для треугольника IV.

Таким образом можно выразить через φ_1 и φ_2 всё φ , число которых равно двойному количеству элементов. Для определения неизвестных φ_1 и φ_2 еще осталось два уравнения, выражающих, что сумма моментов относительно узлов E и F равна нулю или

$$\begin{aligned} M_{18} - M_{13} + M_{15} &= 0 \\ \text{и } M_{16} - M_{17} &= 0 \end{aligned}$$

Расчетная из этих уравнений значения φ_1 и φ_2 следует подставить в уравнения для остальных φ_i до φ_{18} . Затем дополнительные напряжения определяются по простой формуле

$$r = \frac{\varphi \cdot e}{l}, \text{ выведенной из формул } r = \frac{M \cdot e}{I} \text{ и } \varphi = \frac{Ml}{I}$$

§ 7. Способы, основанные на теории неразрывных балок.

В фермах употребительных систем пояса имеют сравнительно с решеткой значительную жесткость. Это явление особенно заметно в фермах с криволинейными поясами, где решетка испытывает незначительная усилия; вследствие чего моменты инерции ее элементов весьма малы. По этой причине деформации элементов решетки не могут оказывать существенного влияния на изгиб поясов.

Если принять моменты инерции элементов решетки равными нулю, то в каждом узле исчезнут все моменты, за исключением двух, соответствующих поясам и равных между собой ввиду условия $\Sigma M = 0$. Отсюда следует, что пояса будут находиться в условиях неразрывных балок с упругими опорами, расположенными на разных высотах в зависимости от прогиба узлов. Дополнительные моменты поясов будут равны опорным моментам неразрывной балки, пролеты которой равны длинам панелей фермы.

Исходя из этих соображений и пользуясь различными способами расчета опорных моментов неразрывных балок, проф. Ландсберг, Энгессер и Мюллер-Бреслау предложили разные методы расчета дополнительных напряжений в поясах.

Ландсберг ⁶⁾ пользовался способом, предложенным Мором в 1863 году ⁷⁾ и одинаково удобным для расчета разрывных и неразрывных балок. Этот способ основан на определении упругой линии балки без интегрирования. Рассматривая площадь моментов, соответствующую основной нагрузке, как фиктивную нагрузку балки, упругая линия получается в вид веревочной кривой, построенной при помощи силового многоугольника с полюсным расстоянием равным $E I$, где E коэффициент упругости материала. Можно также принять E за полюсное расстояние; тогда ординаты фиктивной нагрузки следует разделить на соответствующие им I .

Принимая разности высот опор неразрывной балки равными разностям переменной узлов по направлениям перпендикулярным к элементам и пользуясь вышеозначенным способом, Ландсберг определяет положения касательных к упругой линии поясов в узлах, рассчитывая моменты и зная дополнительные напряжения.

Энгессер ⁸⁾ и Мюллер-Бреслау ⁹⁾ пользуются другим способом расчета опорных моментов неразрывной балки, основанным на свойствах фокусов.

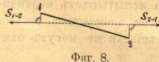
Не останавливаясь на описании этих способов и ссылаясь на указанные источники, перейдем к рассмотрению весьма изящного способа расчета дополнительных напряжений, предложенного проф. Мором в 1892 году и примененного нами при расчете различных ферм.

§ 8. Способъ Мора. ¹⁰⁾

Во всех способах, кроме изложенных в § 7, расчет дополнительных напряжений сводится: 1) к определению углов τ отклонения касательных от хорд и 2) к расчету моментов M и дополнительных напряжений σ по означенным углам τ .

Способ Мора отличается оригинальным методом определения углов τ , между тем как расчет моментов и напряжений σ производится на прежних основаниях.

Предположим, что элемент 1-2 некоторой фермы приращен к узлам 1 и 2 и что действие на него остальных элементов выражается двумя продольными



Фиг. 8.

⁶⁾ Zeitschrift d. Arch. u. Ing. Ver. zu Hannover. 1885 стр. 361 и 1886. Стр. 195.
⁷⁾ Ritter, Anwendungen d. graph. Statik II Teil. 1880. Стр. 195.
⁸⁾ Engesser, Zusatzkräfte u. Nebenspannungen. II Teil. Стр. 12.
⁹⁾ Allgemeine Bauzeitung 1885, стр. 85.
¹⁰⁾ Civilingenieur 1892.

силами S_{1-2} и S_{2-1} , не совпадающими с осью 1-2. Отклонение сил S от оси элемента обыкновенно настолько незначительно, что его влиянием на величину продольной силы можно пренебречь, так что усилие S может быть рассчитано в предположении шарнирных узлов и величину усилия будем считать известной.

Положение силы S оказывает существенное влияние на величину дополнительного момента, изгибающего элемент. Положение оси силы S относительно хорды изогнутого элемента может быть определено, если известны расстояния оси силы от узлов 1 и 2 или если известны моменты усилий S относительно тех же узлов. Обозначим через M_{1-2} момент силы S_{1-2} относительно узла 1 и через M_{2-1} момент силы S_{2-1} относительно узла 2. Эти моменты имеют положительный знак, если они вращают по часовой стрелке. Число неизвестных моментов в два раза больше числа элементов фермы. Например, для статически определимой фермы с K узлами число неизвестных M равняется $2(2K-3)$. Число неизвестных может быть уменьшено на $(K-3)$ т. е. доведено до $(2K-3)$, если ввести за неизвестные: 1) углы вращения узлов (K неизвестных) и 2) углы вращения элементов $(2K-3)$ неизвестных.

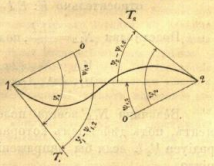
Вследствие жесткого закрывления концов элементов, соответствующие одним и тем же узлам, должны при деформации фермы повернуться на одинаковый угол, который назовем *углом вращения узла* и обозначим для узлов 1, 2, 3... через $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots$. Углы, на которые поворачиваются хорды элементов 1-2, 1-3, 2-3..., назовем *углами вращения элементов* и обозначим через $\varphi_{1-2}, \varphi_{1-3}, \varphi_{2-3}, \dots$.

Разность $\varphi_2 - \varphi_1$, соответствующая концу 1 элемента 1-2, очевидно равна углу τ_{1-2} отклонения касательной означенного конца от хорды.

Углы φ и φ имеют положительный знак в случае вращения по часовой стрелке и выражаются двумя кругами радиуса 1. Углы φ могут быть определены независимо один от другого; между тем как углы φ связаны системой из K уравнений первой степени и находятся из решения этих уравнений.

1. Зависимость между моментами M и углами φ и φ .

В фиг. 9 представлена упругая линия элемента 1-2 после деформации. Параллельная прямая 1-0 и 2-0 показывают направление элемента до деформации. Эти направления заключают с концевыми касательными 1- T_1 и 2- T_2 элемента углы φ_1 и φ_2 , а с хордой 1-2 углы φ_{1-2} , так что углы τ отклонения концевых касательных упругой линии от хорды будут $\tau_1 = \varphi_1 - \varphi_{1-2}$ и $\tau_2 = \varphi_2 - \varphi_{1-2}$. Эти углы имеют положительный знак, если касательная повернулась от хорды по направлению часовой стрелки. Обозначим через E коэффициент упругости материала, через I момент инерции сечения относительно его главной оси, направленной пер-



Фиг. 9.

пендикулярно к плоскости формы, через l длину элемента и будем рассматривать упругую линию элемента как веревочную кривую (см. § 7) бруса, нагруженного сплошной нагрузкой, равной площади моментов; причем за полное расстояние силового многоугольника применим EI .

Эпюра моментов $M_{1,2}$ или фиктивная нагрузка представляется в виде трапеции $ABCD$, которую можно разложить на два треугольника $ABD = \frac{1}{2} l \cdot M_{1,2}$ и $ADC = \frac{1}{2} l \cdot M_{2,1}$.

В центрах тяжести этих треугольников приложим сосредоточенные силы, равные площадям треугольников, тогда элемент находится под действием четырех сил; а именно двух вертикальных сил $+\frac{1}{2} l \cdot M_{1,2}$ и $-\frac{1}{2} l \cdot M_{2,1}$ и сил R_1 и R_2 , направленных касательно к концам упругой линии и совпадающих с крайними лучами веревочной кривой. Эти 4 силы образуют трапецию $GHIK$ с параллельными сторонами GK и HI , расположенными на взаимном расстоянии $\frac{1}{3} l$.

Имея в виду, что углы φ и ψ в действительности очень малы, получим ¹¹⁾:

$$GK = \frac{1}{3} l (\varphi_1 - \varphi_{1,2}) + \frac{2}{3} l (\varphi_2 - \varphi_{1,2}) = \frac{1}{3} l (\varphi_1 + 2\varphi_2 - 3\varphi_{1,2})$$

$$HI = \frac{2}{3} l (\varphi_1 - \varphi_{1,2}) + \frac{1}{3} l (\varphi_2 - \varphi_{1,2}) = \frac{1}{3} l (2\varphi_1 + \varphi_2 - 3\varphi_{1,2})$$

Приравняв нулю моменты четырех сил, относительно точек H и K получим:

$$\text{относительно } H: EI \frac{l}{3} (2\varphi_1 + \varphi_2 - 3\varphi_{1,2}) - \frac{l^2}{6} \cdot M_{1,2} = 0$$

$$\text{относительно } K: EI \frac{l}{3} (\varphi_1 + 2\varphi_2 - 3\varphi_{1,2}) - \frac{l^2}{6} \cdot M_{2,1} = 0$$

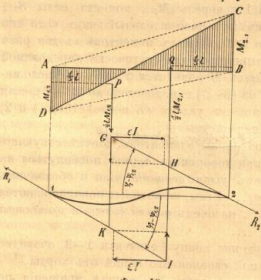
Подставляя $N_{1,2} = \frac{2EI}{l}$, получим искомую зависимость между M_1 , φ и ψ .

$$M_{1,2} = N_{1,2} (2\varphi_1 + \varphi_2 - 3\varphi_{1,2}) \dots \dots \dots (18)$$

$$M_{2,1} = N_{1,2} (\varphi_1 + 2\varphi_2 - 3\varphi_{1,2}) \dots \dots \dots (19)$$

Величина $M_{1,2}$ всегда положительна и представляет изгибающий момент, под действием которого упругая линия бруса приняла бы кривизну радиуса $\frac{1}{4} l$, если бы напряжения не превышали предель упругости материала.

¹¹⁾ В фиг. 10 показана такая деформация элемента, при которой моменты $M_{1,2}$, $M_{2,1}$ и углы $(\varphi_1 - \varphi_{1,2})$, $(\varphi_2 - \varphi_{1,2})$ имеют положительными значениями



Фиг. 10.

Уравнения 18) и 19) ничем не отличаются от известной формулы $M = \frac{2EI}{l} (2\tau_1 + \tau_2)$, выражающей зависимость между опорным моментом и углами отклонения касательных бруса с заданными концами. Действительно, если подставить в уравнение 18):

$$\tau_1 = \varphi_1 - \varphi_{1,2}; \tau_2 = \varphi_2 - \varphi_{1,2} \text{ и } N_{1,2} = \frac{2EI}{l} \text{ получится:}$$

$$M_{1,2} = \frac{2EI}{l} (2(\varphi_1 - \varphi_{1,2}) + (\varphi_2 - \varphi_{1,2}))$$

$$\text{или } M_{1,2} = \frac{2EI}{l} (2\tau_1 + \tau_2).$$

II. Определение углов ψ вращения элементов.

Длина l элемента при деформации формы изменяется на величину λ , зависящую отчасти от продольной деформации элемента и отчасти от его изгиба. Взаимным изгиба на изменение длины элемента можно пренебречь ¹²⁾ и поэтому рассчитывать изменения длин элементов и линейными перемещения узлов в предположении шарнирных узлов.

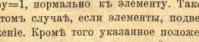
Угол ψ вращения каждого элемента нагруженной формы можно определить, исходя из начала возможных перемещений. Для этого необходимо приложить к рассматриваемому элементу пару = 1; найти вызванную ею усилia σ во всех остальных элементах и приравнять работу деформации пары сумм работ остальных элементов.

Силы, составляющие пару = 1, удобнее всего приложить к концам рассматриваемого элемента и дать им вертикальное направление ¹³⁾; при этом плечо пары будет равняться горизонтальной проекции длины элемента.

Например для определения угла $\psi_{4,5}$ вращения элемента 4-5 (фиг. 12) прикладываем в узлах 4 и 5 две равные и противоположные вертикальные силы P_4 и P_5 так, чтобы они образовали пару = + 1, вращающую по часовой

¹²⁾ Взаимным изгиба на изменение длины элемента можно пренебречь в том случае, если отклонения Z упругой линии от хорды малы сравнительно с изменениями длины λ . Если ординаты Z представлять бесконечно малыми величинами первого порядка, то разность между длиной хорды и упругой кривой равна бесконечно малой величии второго порядка.

Фиг. 11

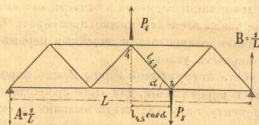


¹³⁾ При изложении своего способа Морь приспосабливал ось сил, составляющих пару = 1, нормально к элементу. Такое положение сил неудобно для расчета усилia σ в том случае, если элемент, подверженный действию пары = 1, имеет наклонное положение. Кроме того указанное положение сил исключает возможность пользования для расчета усилia σ теми же инфлюэнтными линиями, которые служили для определения основных усилia элементов и соответствуют вертикальной нагрузке. Если же силы, составляющие пару = 1, приложены вертикально, то при наличии указанных инфлюэнтных линий, расчет усилia σ значительно упрощается, ибо тогда усилie σ каждого элемента может быть определено, как разность двух ординат инфлюэнтной линии. Этот способ пригоден для расчета усилia σ всех элементов ферм, кроме вертикальных стоек. В последнем случае силы, составляющие пару = 1, прикладываются горизонтально.

стрьякт. Плечо сил $= l_{4,5} \cos \alpha$, поэтому величина их должна быть $\frac{1}{l_{4,5} \cos \alpha}$ и выражается в измѣреніях $\frac{1}{\text{длина}}$. Такія же измѣренія соответствуют реакціям опоръ и усиліям остальных элементов. Пара +1, приложенная къ элементу 4-5, вызывает на опорах реакціи $A=B=\frac{1}{L}$, а в элементах фермы усилія σ , которыя не трудно рассчитать по способу Риттера или еще проще по инволютным линиям основных усилій.

Вырѣжемъ теперь изъ каждаго элемента извѣстный отрѣзокъ и замѣнимъ эти отрѣзки усиліями σ ; тогда при перемѣщеніи узловъ фермы отъ дѣйствія основной нагрузки усилія σ передвинутся на величину $\lambda = \pm \frac{S \cdot l}{E \cdot \omega}$, соответствующія измѣненіямъ длинъ элементовъ.

На основаніи начала возможныхъ перемѣщеній получится уравненіе: $1 \cdot \varphi_{4,5} = \Sigma \sigma \cdot \lambda$, выражающее, что уголъ вращенія элемента 4-5 равенъ алгебраической суммѣ произведеній $\sigma \lambda$, рассчитанныхъ для каждаго элемента фермы. Положительнымъ σ соответствуютъ растягивающія усилія, а положительнымъ λ — удлиненія элементовъ. Такъ какъ λ выражается въ измѣреніяхъ длинъ, а σ — въ измѣреніяхъ $\frac{1}{\text{длина}}$, то φ представляетъ отвлеченное число, соответствующее дугѣ круга радиуса = 1.



Фиг. 12.

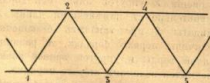
III. Опредѣленіе угловъ φ вращенія узловъ.

Силы, дѣйствующія на каждый узелъ фермы, т. е. усилія элементовъ и внѣшнія силы, не пересекаются въ одной точкѣ и должны удовлетворять тремъ условіямъ равновѣсія. Двумя условіями необходимо воспользоваться для опредѣленія величинъ продольныхъ усилій S , между тѣмъ какъ третье условіе, выражающее, что сумма моментовъ всѣхъ силъ относительно узла равна нулю, можетъ послужить для расчета угла φ вращенія узла.

Разсмотримъ узелъ 3 (виг. 13) и предположимъ, что внѣшнія силы дѣйствуютъ въ узлахъ и поэтому даютъ относительно нихъ моменты = 0. Согласно уравненіямъ 18) и 19) моменты усилій $S_{2,1}$, $S_{2,2}$, $S_{2,4}$ и $S_{2,5}$ относительно узла 3 будутъ:

$$M_{2,4} = N_{2,4} (2\varphi_2 + \varphi_1 - 3\varphi_{2,4}),$$

$$M_{2,2} = N_{2,2} (2\varphi_2 + \varphi_1 - 3\varphi_{2,2}).$$



Фиг. 13.

Приравнивая нулю сумму моментовъ относительно узла 3, получимъ:

$$\Sigma M_{2,x} = \Sigma N_{2,x} (2\varphi_2 + \Sigma \varphi_x - 3\Sigma \varphi_{2,x}) = 0$$

$$\text{или } 2\varphi_2 \Sigma N_{2,x} + \Sigma \varphi_x N_{2,x} = 3\Sigma \varphi_{2,x} N_{2,x}$$

Переходя къ общему случаю, получимъ для n -го узла:

$$2\varphi_n \Sigma N_{n,x} + \Sigma \varphi_x N_{n,x} = 3\Sigma \varphi_{n,x} N_{n,x} \dots \dots \dots (20)$$

При расчетѣ суммъ, входящихъ въ уравненіе 20), слѣдуетъ вмѣстѣ x последовательно подставлять номера всѣхъ узловъ, которые соединены элементами съ рассматриваемымъ n -мъ узломъ.

Составляя по одному уравненію для каждаго узла, получимъ столько уравненій, сколько имѣется неизвѣстныхъ угловъ φ . Для опредѣленія неизвѣстныхъ φ необходимо рѣшить систему уравненій первой степени со многими неизвѣстными.

Для фермъ, элементы которыхъ распределены симметрично относительно вертикальной оси, проходящей черезъ середину пролета, означенная система уравненій также имѣетъ симметричный видъ, причемъ въ каждой парѣ уравненій, соответствующихъ симметрично расположеннымъ узламъ, равны между собой коэффициенты тѣхъ неизвѣстныхъ φ , которые имѣютъ симметричное положеніе относительно средней оси фермы.

Схема такой системы уравненій для фермы съ 9 узлами приведена въ слѣдующей таблицѣ:

φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8	φ_9	Извѣстные члены $3 \Sigma \varphi \cdot N$.	№ уравненія.
a	b	c							$= D_1$	1
b	d	e	f						$= D_2$	2
c	e	g	h	i					$= D_3$	3
	f	h	k	l	m				$= D_4$	4
		i	l	n	l	i			$= D_5$	5
			m	l	k	h	f		$= D_6$	6
				i	h	g	e	c	$= D_7$	7
					f	e	d	b	$= D_8$	8
						c	b	a	$= D_9$	9

Коэффициенты неизвѣстныхъ φ обозначены буквами и расположены вертикальными рядами подъ соответствующими имъ φ . Одинаковые коэффициенты обозначены одними и тѣми же буквами. Изъ схемы усматривается, что коэффициенты расположены вполнѣ симметрично относительно диагоналей $a-a$ и m и n . Вслѣдствіе этого рѣшеніе уравненій значительно упрощается и производится слѣдующимъ образомъ: складываютъ попарно уравненія, соответствующія симметричнымъ относительно средней оси фермы узламъ; т. е. уравненія 1+9, 2+8, 3+7, 4+6, 5+5. Полученные такимъ образомъ 5 уравненій рѣшаютъ по 5-ти неизвѣстнымъ: $(\varphi_1 + \varphi_9)$, $(\varphi_2 + \varphi_8)$, $(\varphi_3 + \varphi_7)$,

(φ₁+φ₂) и φ₂. Составляя затем равенств тех же уравнений: 1-9, 2-8, 3-7 и 4-6, получают 4 новых уравнения, из которых определяются значения (φ₁-φ₂), (φ₂-φ₃), (φ₃-φ₄) и (φ₄-φ₅). После этого неизвестные углы φ₁, φ₂, φ₃, φ₄... находятся простым сложением и вычитанием.

Итак каждую систему из *n* симметричных уравнений можно разложить на две системы, причем в случае четного числа *n*, каждая система содержит $\frac{n}{2}$ неизвестных, а в случае нечетного числа *n* одна система имеет $\frac{n+1}{2}$, а другая система $\frac{n-1}{2}$ неизвестных.

Описанный способ значительно упрощает решение уравнений, но при рассмотрении фермы со многими узлами вычисления всетаки очень утомительны. Например для 20 саж. фермы с 22 узлами необходимо решить дважды 11 уравнений с 11 неизвестными.

Уравнений, составленных для каждого узла по типу ур. 20 имеют ту интересную особенность, что все члены их левых сторон совсем не зависят от нагрузки фермы, между тем как множитель φ члена 3 Σφ_{n,x} N_{n,x} правой части представляет функцию от нагрузки. Поэтому рассчитывая углы φ для различных случаев нагрузки, нет надобности составлять каждый раз новые уравнения, а можно ограничиться определением известных членов 3 Σφ_{n,x} N_{n,x}.

IV. Приближенный способ решения уравнений.

Точное решение уравнений, связанное с большой затратой труда и времени, может быть заменено приближенным способом, дающим, как мы убедились из многочисленных расчетов, достаточно точные результаты.

Мы делаем незначительную ошибку, если для определения первых приближенных значений углов φ предположим, что узел *n* и соединенные с ним узлы *x* вращаются на один и тот же угол, т. е. применим φ_n = φ_x. Подставляя это равенство в первые два члена уравнения 20, замечаем, что Σφ_n N_{n,x} = φ_n ΣN_{n,x}, вследствие чего уравнение 20 примет вид: 3 φ_n ΣN_{n,x} = 3 Σφ_{n,x} N_{n,x}, откуда получится первое приближенное значение угла φ_n

$$\varphi_n' = \frac{\sum \varphi_{n,x} N_{n,x}}{\sum N_{n,x}} \dots \dots \dots 21)$$

Определяя по формуле 21 для всех узлов фермы первого приближения φ', можно получить второе приближения φ'', исходя из системы уравнений 20, выражающих условие ΣM=0. Придерживаясь уравнений, приведенных в схем на стр. 15 имеем:

$$\begin{aligned} a\varphi_1 + b\varphi_2 + c\varphi_3 &= D_1 \\ b\varphi_1 + d\varphi_2 + e\varphi_3 + f\varphi_4 &= D_2 \\ c\varphi_1 + e\varphi_2 + g\varphi_3 + h\varphi_4 + i\varphi_5 &= D_3 \\ f\varphi_2 + h\varphi_3 + k\varphi_4 + l\varphi_5 + m\varphi_6 &= D_4 \end{aligned}$$

Эти уравнения можно написать так:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \frac{D_1 \varphi_1}{a\varphi_1 + b\varphi_2 + c\varphi_3} \\ \varphi_2 &= \frac{D_2 \varphi_2}{b\varphi_1 + d\varphi_2 + e\varphi_3 + f\varphi_4} \\ \varphi_3 &= \frac{D_3 \varphi_3}{c\varphi_1 + e\varphi_2 + g\varphi_3 + h\varphi_4 + i\varphi_5} \end{aligned} \quad 22.$$

БИБЛИОТЕКА ВОРОН. ИЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ИНСТИТУТА

Подставляя первого приближения φ', определенные по формуле 21, в правую сторону уравнений 22, получим второе приближения φ'', подставляя последние в правую сторону уравнений 22, получим третье приближения φ'''. Продолжая таким же образом, замечаем, что разница между новыми и предыдущими значениями углов φ постепенно уменьшается, так что определение углов φ можно довести до любой степени точности ¹⁴⁾.

Подставляя окончательные значения φ в уравнение 18 или M_{n,x} = N_{n,x} (2φ₁ + φ₂ - 3φ_{1,2}) получим для всех элементов приближенные значения M', которые не вполне точно будут удовлетворять условию ΣM = 0 относительно каждого узла и будут приближаться к этому предельному значению, чем точнее определены углы φ. Исходя из условия ΣM = 0, можно все моменты M' снабдить поправками. Обозначим через M'' приближенные значения моментов, соответствующих узлу *n* и предположим, что ΣM'' = 0, а иметь некоторую величину; тогда можно распределить эту ошибку на все моменты узла *n* пропорционально значениям N или $\frac{2EI}{l}$ каждого элемента ¹⁵⁾. Исправленные значения моментов рассчитываются по формуле

$$M_{n,x} = M'_{n,x} + \frac{N_{n,x}}{\sum N_{n,x}} \sum M''_{n,x} \text{ и в каждом узле удовлетворяют условию } \sum M = 0.$$

V. Расчет дополнительных напряжений.

Определив моменты M, соответствующие концам каждого элемента, и зная моменты инерции сечения элемента относительно главной оси, пер-

¹⁴⁾ Из многочисленных расчетов, произведенных нами по этому способу, вышло, что можно ограничиться третьим или четвертым приближением значений φ в том случае, если известные члены (D₁ или 3 Σ φ_{n,x} N_{n,x}) уравнений, выписанные в последовательном порядке узлов фермы, — сначала все положительные, а затем все отрицательные. Если же в группе положительных или отрицательных членов D встречаются члены D с обратными знаками, то дело усложняется, так как некоторые значения φ мѣняют сравнительно с предыдущими приближениями не только величину, но и знак. В таких случаях нам приходится повторять расчеты до 8-х приближений углов φ.

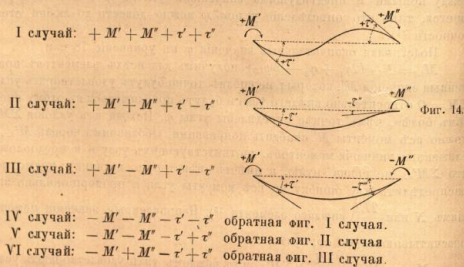
¹⁵⁾ Так как N величина постоянная, то согласно уравнению 18 ошибка момента зависит от значения скобки, которое можно представить в вид (K + JK), где K равно точному значению, а JK — ошибка приближенного момента M' = N (K + JK) = NK + NJK. Отсюда следует, что поправка момента пропорциональна значению N соответствующего элемента.

Handwritten notes and scribbles in the left margin, including the word "А-А" and some illegible characters.

Handwritten note "80000" in the left margin.

пендикулярной къ плоскости фермы, а также расстоянія e_1 и e_2 центра тяжести сѣченія до крайнихъ волоконъ, можно рассчитать величину дополнительныхъ напряженій по формуламъ: $r_1 = \frac{M e_1}{I}$ и $r_2 = \frac{M e_2}{I}$, причѣмъ крайня волокна каждаго конца элементовъ получаются съ одной стороны сжатыми, а съ другой — вытянутыми.

Для опредѣленія знака дополнительныхъ напряженій надо исходить изъ деформации элемента, опредѣляемой положеніемъ концевыхъ касательныхъ упругой линіи, которая образуетъ съ хордами углы $\tau_n = \varphi_n - \psi_{n,c}$. Имѣя въ виду, что положительному моменту соответствуетъ положительный уголъ τ , причѣмъ касательная отклонена отъ хорды въ сторону движенія часовой стрѣлки и обозначая моментъ и уголъ отклоненія лѣваго конца черезъ M' и τ' , а праваго конца черезъ M'' и τ'' , можно вывести слѣдующіе характерные случаи деформации элементовъ:



Итакъ при разнозначныхъ моментахъ изгибъ элемента всегда простой (\cup) и не зависитъ отъ знака уголв τ . При однозначныхъ моментахъ изгибъ получается *полный* \cup образный въ случаѣ однозначныхъ уголв τ , и *неполный* \cup образный — въ случаѣ разнозначныхъ уголв τ .

Такъ какъ упругая линія всегда обращена выпуклостью въ сторону касательной, то волокна элемента будутъ вытянуты со стороны касательной и сжаты со стороны хорды.

На основаніи вышеизложеннаго составлено слѣдующее правило для опредѣленія знака дополнительныхъ напряженій поворовъ, раскосовъ и стоекъ.

А. Пояса и раскосы.

Въ лѣвыхъ концахъ элементовъ:

Верхнія волокна	$\left\{ \begin{array}{l} \text{сжаты} \\ \text{вытянуты} \end{array} \right.$	при	$\left\{ \begin{array}{l} \text{положительномъ} \\ \text{отрицательномъ} \end{array} \right.$	моментъ
Нижнія волокна	$\left\{ \begin{array}{l} \text{вытянуты} \\ \text{сжаты} \end{array} \right.$	при	$\left\{ \begin{array}{l} \text{положительномъ} \\ \text{отрицательномъ} \end{array} \right.$	моментъ

Въ правыхъ концахъ элементовъ:

Верхнія волокна	$\left\{ \begin{array}{l} \text{вытянуты} \\ \text{сжаты} \end{array} \right.$	при	$\left\{ \begin{array}{l} \text{положительномъ} \\ \text{отрицательномъ} \end{array} \right.$	моментъ
Нижнія волокна	$\left\{ \begin{array}{l} \text{сжаты} \\ \text{вытянуты} \end{array} \right.$	при	$\left\{ \begin{array}{l} \text{положительномъ} \\ \text{отрицательномъ} \end{array} \right.$	моментъ

В. Стойки.

Въ верхнихъ концахъ стоекъ:

Правыя волокна	$\left\{ \begin{array}{l} \text{сжаты} \\ \text{вытянуты} \end{array} \right.$	при	$\left\{ \begin{array}{l} \text{положительномъ} \\ \text{отрицательномъ} \end{array} \right.$	моментъ
Лѣвыя волокна	$\left\{ \begin{array}{l} \text{вытянуты} \\ \text{сжаты} \end{array} \right.$	при	$\left\{ \begin{array}{l} \text{положительномъ} \\ \text{отрицательномъ} \end{array} \right.$	моментъ

Въ нижнихъ концахъ стоекъ:

Правыя волокна	$\left\{ \begin{array}{l} \text{вытянуты} \\ \text{сжаты} \end{array} \right.$	при	$\left\{ \begin{array}{l} \text{положительномъ} \\ \text{отрицательномъ} \end{array} \right.$	моментъ
Лѣвыя волокна	$\left\{ \begin{array}{l} \text{сжаты} \\ \text{вытянуты} \end{array} \right.$	при	$\left\{ \begin{array}{l} \text{положительномъ} \\ \text{отрицательномъ} \end{array} \right.$	моментъ

П О Т Д Ъ Л Ъ.

Результаты расчета балочных ферм различных системъ.

§ 9. Основанія для сравненія результатовъ.

Для выясненія вліянія жесткости узловъ на балочныя фермы съ параллельными и криволинейными поясами при разныхъ системахъ рѣшетки, опредѣлялись слѣдующія данныя:

1) Деформации элементовъ, выражающіяся въ \cup или ∞ образомъ изгибъ ихъ.

2) Величины дополнительныхъ напряженій τ , отъ дѣйствія жесткихъ узловъ, принятыхъ вполнѣ центральными во всѣхъ расчетахъ. Для удобства сравненія этихъ напряженій съ основными напряженіями n , опредѣленными въ предположеніи шарнирныхъ узловъ, приняты отношенія $\frac{N}{n}$, гдѣ $N=n+\tau$,

причемъ $\frac{N}{n}$ всегда больше 1, такъ какъ въ расчетъ входили лишь одно-

значныя съ n дополнительные напряженія τ . Отношеніе $\frac{N}{n}$, рассчитанное

до сотыхъ долей вклучительно, удобно тѣмъ, что разность $\left(\frac{N}{n}-1\right) \cdot 100$ непосредственно выражаетъ сколько процентовъ отъ основнаго напряженія n

составляетъ дополнительное напряженіе τ . Напримѣръ, при $\frac{N}{n}=1,25$ или

$\frac{N}{n}=2,30$ дополнительное напряженіе τ составляетъ 25% или 130% отъ

напряженія n . Отношенія $\frac{N}{n}$ для каждаго элемента болѣе или менѣе измѣ-

няются къ зависимости отъ расположенія нагрузки и отъ нахождения элемента ближе къ опорамъ или къ серединѣ фермы. Вслѣдствіе этого будутъ

различаться двѣ категоріи элементовъ: ближайшихъ къ опорамъ и ближай-

шихъ къ серединѣ пролета. Кроме того при всѣхъ отношеніяхъ $\frac{N}{n}$ приве-

дены основныя напряженія n , вызванныя той же нагрузкой какъ для τ и

позволяющія приблизительно опредѣлять расположеніе нагрузки на фермѣ.

3) Отношенія длины l элемента къ расстоянію e опаснаго волокна сѣ-

ченія отъ нейтральной оси. Отношенія $\frac{l}{e}$ опредѣлялись лишь для несим-

метричныхъ сѣченій (поясовъ); для раскосовъ и стоекъ, проектируемыхъ

обыкновенно съ симметричными сѣченіями, $e=\frac{1}{2}b$ (ширинѣ элемента), такъ

что опредѣлялись отношенія $\frac{l}{b}$. Для двукторныхъ системъ фермъ намъ уда-

лось найти зависимость между $\frac{l}{e}$ или $\frac{l}{b}$ и отношеніемъ $\frac{N}{n}$; пользуясь ею

при подборѣ сѣченій фермъ, можно съ достаточной точностью принять во

вниманіе дополнительные напряженія отъ жесткости узловъ. Особенный

интересъ представляютъ предѣлы отношеній $\frac{l}{e}$ и $\frac{l}{b}$, за которыми допол-

нительныя напряженія становятся весьма значительными.

4) Невыгоднѣйшія положенія нагрузки, соответствующія наибольшимъ

полнымъ напряженіямъ N и опредѣленные при помощи инволютныхъ ли-

ній напряженій N .

Различныя системы балочныхъ фермъ будутъ рассмотрѣны въ слѣду-

ющемъ порядкѣ:

I. Фермы съ параллельными поясами.

- 1) Простая раскосная ферма.
- 2) Двукрасосная ферма.
- 3) Треугольная рѣшетка безъ стоекъ.
- 4) Треугольная рѣшетка со стойками.
- 5) Двойная рѣшетчатая ферма безъ стоекъ.
- 6) Сложная раскосная ферма.
- 7) Ферма съ полураскосами.

II. Фермы съ криволинейными поясами.

- 8) Полупараболическая ферма.
- 9) Параболическія и подобныя имъ фермы.
- 10) Ферма системы Шнедера.

Для каждой системы фермъ имѣется нѣсколько примѣровъ съ таблицами, содержащими результаты расчетовъ. Въ фигурахъ, помѣщенныхъ надъ таблицами, показаны нагрузки, для которой производился расчетъ и приближенныя деформации всѣхъ элементовъ, вызванныя жесткостью узловъ.

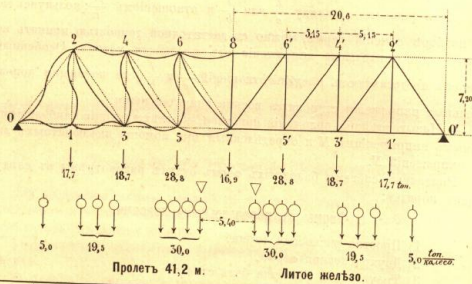
A) Фермы съ параллельными поясами.

§ 10. Фермы простой раскосной системы.

Примѣры № 1, 2, 3.

1) *Примѣръ № 1.* Ферма пролетомъ 41 м. со склонными концами. Расчетъ дополнительныхъ напряженій составленъ нами на основаніи проекта железнодорожнаго моста съ вѣдой по виду, соответствующаго послѣднимъ нормамъ нашего Министерства Путей Сообщенія. Нагрузка принята полная и симметричная къ серединѣ моста, причемъ постоянная равновѣсная нагрузка составляетъ 6,4 т. на узелъ фермы, а временная нагрузка состоитъ изъ двухъ паровозовъ и груженыхъ вагоновъ, (согласно циркуляру М. П. С. № 753 отъ 1896 года) расположенныхъ симметрично къ серединѣ фермы.

Примѣръ № 1.
Фиг. 15.

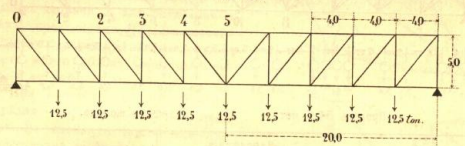


Пролетъ 41,2 м. Литое желѣзо.

№ элемента.	ω brutto см. 2	I netto см. 4	I δ см. см.	Наибольш. напряж. попереч. см.	e	Напряженія.			i	Сѣченія.	
						н	max	н			
						к/см. 2	I	I	г	Размѣры въ см.	
Верхній поясъ.											
2-4	205	32912	515	36	верх.	12,2	-546	1,07	1,07	42	2 в. л. 35×1 1 г. л. 45×1 6 л. 8×8×1
4-6	242	47743	515	41	верх.	13,2	-590	1,15	1,14	39	2 в. л. 30×1 1 г. л. 45×1 1 г. л. 22×1 6 л. 8×8×1
6-8	262	56018	515	43	верх.	13,2	-575	1,12	1,11	39	2 в. л. 41×1 2 г. л. 45×1 6 л. 8×8×1
Нижній поясъ.											
0-1	104	13487	515	37	ниж.	13,7	+610	1,18	1,16	38	2 в. л. 37×1 2 л. 8×8×1
1-3	104	13487	515	37	ниж.	13,7	+610	1,16	1,15	38	2 в. л. 48×1 2 л. 8×8×1
3-5	171	40143	515	49	ниж.	14,7	+640	1,17	1,16	35	2 в. л. 52×1 1 г. л. 45×1
5-7	209	53160	515	53	ниж.	14,7	+670	1,12	1,11	35	2 в. л. 52×1 4 л. 8×8×1 1 г. л. 45×1
Раскосы.											
0-2	207	35075	886	37	-	e ₁ =e ₂	-527	1,04	1,04	42	2 в. л. 36×1 1 г. л. 45×1 6 л. 8×8×1
2-3	119	4018	886	27	-	13,5	+632	1,03	1,03	33	4 л. 13×13×1,2
4-5	83	3217	886	27	-	13,5	+620	1,05	1,05	33	4 л. 13×8,5×1
6-7	83	3217	886	27	-	13,5	+141	1,28	1,27	33	4 л. 13×8,5×1
Столбы.											
1-2	56	686	720	16	-	8	+376	1,23	1,22	45	4 л. 7,5×7,5×1
3-4	148	5825	720	27	-	8	-280	1,03	1,06	27	8 л. 13×6,5×1
5-6	113	1371	720	16	-	8	-88	1,75	1,72	45	4 л. 7,5×7,5×1
7-8	56	686	720	16	-	8	0	-	-	45	4 л. 7,5×7,5×1

Примѣръ № 2. Ферма желѣзнодорожного моста пролетомъ 40 мет. съ тѣдой по низу. Нагрузка принята полная, причѣмъ постоянная и временная нагрузка распределены равномерно по всему пролету и составляютъ 12,5 т. на каждый узелъ нижняго пояса. Расчетъ дополнительныхъ напряженій произведенъ по способу Мюллера-Бреслау (Allgemeine Bauzeitung 1885) въ предположеніи неравнѣрныхъ поясовъ, но при шарнирномъ прикрѣпленіи къ нимъ раскосовъ и столбовъ.

Примѣръ № 2.
Фиг. 16.



Пролетъ 40,0 мет. Сварочное желѣзо.

№ элемента.	ω brutto см. 2	I brutto см. 4	i см. см.	δ см. см.	e ₁ =e ₂	Напряженія.			I	Сѣченія.
						н	max	н		
						к/см. 2	I	I	г	Размѣры въ см.
Верхній поясъ.										
0-1	119	16050	400	30	15	-378	1,13	27	2	30×10×1,1
1-2	119	16050	400	30	15	-671	1,06	27	2	30×10×1,1
Нижній поясъ.										
2-3	144	17330	400	30	15	-730	1,09	27	2	30×11×1,1
3-4	160	19560	400	30	15	-750	1,10	27	2	30×11×1,1
4-5	160	19560	400	30	15	-781	1,12	27	4	11×11×1,2

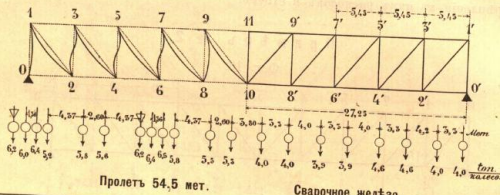
Примѣръ № 3. Ферма желѣзнодорожного моста пролетомъ 54,5 м. черезъ Isle въ Cognacъ на Орлеанской ж. д. Дополнительные напряженія отъ жесткости узловъ опредѣлены на основаніи измѣреній действительныхъ напряженій, произведенныхъ приборами Рабуи и опубликованныхъ Инж. Менаже въ Annales des ponts et chaussées 1899. Нагрузкой служили поѣздъ изъ двухъ паровозовъ и грузевыхъ вагоновъ, расположенныхъ согласно фиг. 17. Каждый раскосъ или стойка испытывались при положеніи поѣзда,

1) Дополнительные напряженія рассчитаны при I brutto.

соответствующем наибольшему основному напряжению данного элемента и указанном в 3-й графе таблицы к примѣру № 3. Напряжения не включают в себя влияния постоянной нагрузки.

Примѣръ № 3.

Фиг. 17.



Пролетъ 54,5 мет.

Сварочное желѣзо.

№ элемента.	Положеніе 1-го пояса по отношению к узлу.	l см.	b=2e см.	e ₁ =e ₂ см.	Напряженія.		i/b	Сѣченія.
					в кг/см.кв.	max N/n		
1-2	2	8,18	40	20	+464	1,35	21	1 л. 40×1 2 л. 14,5×1 4 л. 12,5×8×1
3-4	4	8,18	35	17,5	+445	1,42	23	1 л. 35×1 2 л. 13,5×1 4 л. 12×8×1
5-6	6	8,18	30	15	+431	1,46	27	1 л. 30×1 2 л. 11×1 4 л. 12×7×1
7-8	8	8,18	25	12,5	+339	1,26	33	1 л. 25×1 2 л. 11×1 4 л. 12×7×1
9-10	10	8,18	27	13,5	+245	1,36	30	1 л. 27×1 2 л. 14×1 4 л. 7×7×1
0-1	2	6,15	50	25	-182	1,07	12	1 л. 50×1 2 л. 25×1 4 л. 10×10×1
2-3	2	6,15	40	20	-277	3,02	15	1 л. 40×1 2 л. 15×1 4 л. 12×8×1
4-5	4	6,15	35	17,5	-252	2,24	18	1 л. 35×1 2 л. 13,5×1 4 л. 12×8×1
6-7	8	6,15	30	15	-217	1,82	21	1 л. 30×1 2 л. 11×1 4 л. 12×7×1
8-9	10	6,15	25	12,5	-182	1,79	25	1 л. 25×1 2 л. 11×1 4 л. 9,5×6×1

2) Деформация элементов. Деформация каждого элемента нагруженной фермы является слѣдствіемъ: 1) измѣненія длин поясовъ и 2) измѣненія длин частей рѣшетки. Въ простыхъ фермахъ, узлы которыхъ прогибаются

равномѣрно, измѣненія длин поясовъ вызываютъ въ элементахъ простой изгибъ (∪), а измѣненія длин частей рѣшетки преимущественно двойной изгибъ (∞). Окончательная деформация каждого элемента зависитъ отъ относительной жесткости поясовъ и частей рѣшетки. Поэтому можно различать два основныхъ случая деформации:

a) при жесткихъ поясахъ и сравнительно слабой рѣшеткѣ въ первыхъ замѣчается простой (∪), а въ раскосахъ и стойкахъ двойной (∞) изгибъ, какъ показано въ фиг. 18а.

b) при жесткой рѣшеткѣ и сравнительно слабыхъ поясахъ изгибъ поясовъ двойной, а для раскосовъ и стоекъ—простой (фиг. 18б). Въ разсматриваемыхъ фермахъ первый случай имѣетъ мѣсто вблизи середины пролета, а второй—вблизи опоръ.

При простомъ изгибѣ поясовъ выпуклая сторона всегда обращена внизъ. Въ стойкахъ замѣчается преимущественно двойной изгибъ.

3) Напряженія. Изъ примѣровъ № 1, 2, 3 усматривается, что въ поясахъ дополнительная напряженія доходятъ до 18%, въ раскосахъ до 46%, а въ стойкахъ до 202% отъ основного напряженія n. Въ слѣдующей таблицѣ сопоставлены предѣльные значенія $\frac{N}{n}$, соответствующія примѣрамъ № 1, 2, 3 и результаты, выведенные Винклеромъ при различныхъ допущеніяхъ 2).

Фиг. 18а.

Фиг. 18б.

Название элементовъ.	Значенія $\frac{N}{n}$	
	Согласно примѣрамъ № 1, 2, 3 для пролетовъ отъ 40 до 54 м.	По Винклеру для среднихъ пролетовъ.
Пояса при $\frac{l}{b}$ отъ 42 до 27	1,06 до 1,18	1,10 до 1,20
Раскосы при $\frac{l}{b}$ отъ 33 до 21	1,03 до 1,46	—
Стойки при $\frac{l}{b}$ отъ 45 до 12	1,23 до 3,02	1,18 до 1,35.

2) Винклеръ допустить, что равны между собой:

- 1) Относительныя измѣненія длинъ всѣхъ элементовъ.
- 2) Моменты инерціи верхняго и нижняго пояса.
- 3) Моменты инерціи раскосовъ и стоекъ.
- 4) Углы отклоненія касательныхъ для верхнихъ и нижнихъ концовъ однородныхъ элементовъ.

Из сравнения дополнительных напряжений для ферм раскосной и треугольной систем с параллельными поясами оказалось, что при одинаковых значениях $\frac{l}{e}$ пояса обеих систем испытывают почти одинаковые дополнительные напряжения, между тем как раскосы и стойки раскосных ферм находятся в значительно худших условиях, чем треугольная решетка.

4) Опасные пределы $\frac{l}{e}$ и $\frac{l}{b}$.

Для поясов $\frac{l}{e} \leq 12$.

Для раскосов $\left\{ \begin{array}{l} \text{около опор} \dots \dots \dots \frac{l}{b} \leq 18. \\ \text{около середины пролета} \dots \dots \frac{l}{b} \leq 24. \end{array} \right.$

Для стоек $\frac{l}{b} \leq 14$.

5) *Невыгодная нагрузка.* Для расчета наибольших полных напряжений N можно с достаточной точностью принять, что они получаются при положении временной нагрузки, соответствующем наибольшему основному напряжению в данном элементе, так что в поясах и ближайших к опорам раскосах и стойках наибольшие напряжения N вызовутся при полном нагружении фермы и при расположении наиболее тяжелых грузов вблизи рассматриваемого элемента.

§ 11. Фермы двухраскосной системы.

Пример № 4.

1) *Пример № 4.* Для двухраскосной статически неопределимой фермы железнодорожного съезда по низу моста пролетом 44,6 мет., (фиг. 20) спроектированного по последним нормам нашего Министерства Путей Сообщения и построенного на многих железных дорогах, нами составлен и помещен в III отдѣл подробный расчет: 1) основных напряжений по теории наименьшей работы деформации, и 2) дополнительных и полных напряжений от жесткости узлов. Все напряжения рассчитывались помощью инволюэнтных линий и соответствуют невыгоднейшему расположению временной нагрузки из двух паровозов и груженых вагонов (согласно циркуляру М. П. С. № 753 от 1896 года). Кроме того при двух положениях временной нагрузки определены полные деформации ферм, изображенные на VI листѣ чертежей.

2) *Деформации.* Известно, что в двухраскосной ферме нагрузка передается обѣим простям системам приблизительно по закону рычага; так что грузы, действующие в узлах одной системы почти не вызывают усилий в решетке другой системы. Если же узлы одной системы нагружены значительно больше узлов второй системы, тогда решетка I системы будет испытывать значительно большія усилия и упругія изгибныя длины, чем решетка II системы. Вследствие этого узлы I системы

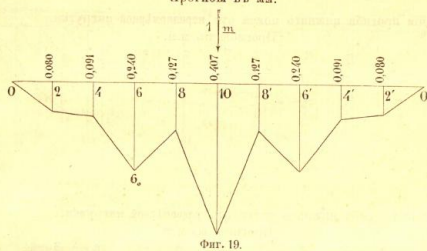
прогнутся больше остальных узлов, вызывая в обѣих поясах фермы волнообразный изгиб и значительныя дополнительные напряжения.

О размѣрѣ волнообразнаго изгиба нижняго пояса при разных положениях нагрузки можно судить по слѣдующимъ результатам, полученнымъ для 44 м. фермы (примеръ № 4) на основаніи расчетовъ, помещенныхъ в III отдѣлѣ.

I Случай. Линія прогиба отъ одного груза = 1 тон.

При расположеніи груза = 1 т. вь серединѣ фермы (узелъ 10 вь фиг. 20) получились вертикальныя прогибы, указанныя вь фиг. 19 и рассчитаныя вь § 28.

Инволюэнтная линія прогиба узла 10. Прогибы вь мм.



Узелъ 10 прогнулся вь 3,2 раза, а узлы 6 и 6' вь 1,89 разѣ больше сосѣднихъ узловъ 8 и 8'. Показанная вь фиг. 19 линія прогиба нижняго пояса отъ груза = 1 т., приложеннаго вь серединѣ фермы, представляетъ одновременно инволюэнтную линію вертикальнаго прогиба означенной точки, что непосредственно слѣдуетъ изъ теоремы о взаимности перемѣщеній двухъ точекъ.

Разсматривая ломанную линію фиг. 19 какъ инволюэнтную линію прогиба узла 10, можно заключить, что наибольшій прогибъ середины фермы получится при расположеніи самыхъ тяжелыхъ грузовъ вблизи узловъ 10, 6 и 6', но не узловъ 8 и 8'.

II Случай. Линія прогиба при неравномерной нагрузкѣ.

Для той же 44 мет. фермы составленъ точный расчетъ вь предположеніи слѣдующихъ нагрузокъ: а) постоянной по 6,22 т. на каждый узелъ нижняго пояса (§ 28. Таблица XLVI); б) временной (фиг. 20), состоящей (согл. циркуляру М. П. С. № 753 отъ 1896 г.) изъ двухъ паровозовъ, сибирскихъ трубаки вмѣстѣ и одного груженнаго вагона (§ 28. Таблица XLVII). Поездъ предположенъ съ разрывомъ вь одномъ мѣстѣ и поставленъ такъ, чтобы второе колесо лѣваго паровоза совпадало съ узломъ 6, а первое колесо праваго тендера съ узломъ 6'. Весь всего поезда составляетъ 107,5 т. на каждую ферму или 2,41 т. на пог. м. фермы. Узловыя нагрузки, соответствующія принятому расположенію колесъ, указаны вь фиг. 20. Ли-

Как усматривается из схемы фермы (фиг. 23), узлы, совпадающие со средними осями паровоза или тендера, нагружены от 2 до 3,4 раз больше остальных узлов. Фиг. 25 изображает линию прогиба нижнего пояса от временной нагрузки, причем прогибы нанесены в натуральной величине. Волнообразный изгиб нижнего пояса гораздо значительнее, чем во II случае. Наибольший изгиб замечается в узле 8, который прогибается на 12 м.м. относительно прямой, соединяющей узлы 7 и 9, между тем как прогиб узла 6 относительно узлов 5 и 7 составляет 9,4 м. м.

Переходя к вопросу о деформации отдельных элементов фермы рассмотрим два случая нагрузки: 1) совместное действие постоянной и *равномерной* временной нагрузки, состоящей из двух нормальных паровозов и одного вагона, расположенных как указано в фиг. 20 и 2) совместное действие постоянной и *равномерной* временной нагрузки, причем последняя — 3,14 т. на пог. м. фермы.

Для построения деформации каждого элемента рассчитывались углы $\tau_1 = \psi_1 - \psi_{1,2}$ и $\tau_2 = \psi_2 - \psi_{1,2}$; по этим углам проводились концы касательных элементов и затем определялись нулевые точки упругих линий. Полные деформации фермы, соответствующие указанным двум случаям нагрузки, изображены на VI листе чертежей в искаженном виде, причем углы τ увеличены в 250; а линейная перемещения — в 100 раз против масштаба даны.

Из этих фигур усматривается, что при *неравномерной* нагрузке все элементы поясов, раскосов и стоек имеют двойной (\sphericalangle) изгиб; при *равномерной* нагрузке изгиб поясов и раскосов частью двойной и частью простой; стойки же имеют как в первом случае исключительно двойной изгиб.

Основываясь на рассмотренных а также других случаях нагрузки, можно принять, что элементам двухраскосных ферм соответствует преимущественно *двойной* изгиб.

3) Напряжения.

Интегральные линии главных и основных напряжений, построенная для всех элементов 44,6 м. двухраскосной фермы, (I, II и III листы чертежей) позволяют для любой нагрузки вывести соотношение $\frac{N}{\sigma}$ между главным и основным напряжением каждого элемента. Мы ограничимся рассмотрением следующих двух случаев для каждого элемента:

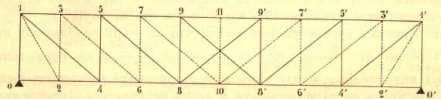
а) при совместном действии постоянной и временной *средноточечной* нагрузки, соответствующей циркуляру М. П. С. № 753 от 1896 года, определены наибольшие основные напряжения $\max \sigma$ и наибольшие главные напряжения $\max N$, причем каждое из этих напряжений рассчитано при невыгоднейшем для него расположении поезда.

б) при *равномерной* нагрузке, составляющей по 1 тон. на каждый узел нижнего пояса, определены основные напряжения σ_p и главные напряжения N_p . Соответствующим этому случаю отношения $\frac{N_p}{\sigma_p}$ остаются одинаковыми для любого равномерного нагружения всей фермы.

Значения $\frac{N}{\sigma}$ для обоих случаев приведены в следующей таблице.

Таблица значений $\frac{N}{\sigma}$.

Фиг. 26.



Литое железо.

№ эле-мента.	I случай				II случай				Примечание.		
	Наибольшие значения $\max N$ и $\max \sigma$, соответствующие невыгоднейшему для каждого из двух случаев нагружения.				Значения N и σ , соответствующие равно-мерно нагруженному всему пролету.						
	Возле-е	$\frac{l}{b}$	$\frac{N}{\sigma}$	$\max N$	Возле-е	$\frac{l}{b}$	$\frac{N}{\sigma}$	Знаме-ны равно-мерно нагру-женного поезда в м.м.			
Верхний пояс.	1-3	нижнее	14	-558	2,23	верхнее	64	-558	1,11	2,61	*) Напряжения σ для поясов рас- считаны по <i>равно- мерной</i> нагруз- ке, — постоянной нагрузке — времен- ной нагрузке, значи- тельная погреш-
	3-5	нижнее	11	-683	2,27	верхнее	56	-683	1,04	3,16	
	5-7	нижнее	10	-654	2,75	верхнее	50	-654	1,10	2,98	
	7-9	нижнее	10	-658	2,82	верхнее	41	-658	1,14	3,00	
	9-11	нижнее	10	-653	3,93	верхнее	41	-653	1,27	2,96	
Нижний пояс.	0-2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	2-4	верхнее	18	+420	2,64	нижнее	45	+420	1,25	4,44	
	4-6	верхнее	12	-610	2,81	нижнее	41	-610	1,15	3,28	
	6-8	верхнее	11	-675	3,61	нижнее	37	-675	1,09	3,25	
8-10	верхнее	9	+596	2,99	нижнее	34	+596	1,13	2,65		
Раскосы.	1-2	верхнее	23	+768	1,17	верхнее	23	—	1,34	—	
	1-4	нижнее	28	+776	1,30	нижнее	28	—	1,06	—	
	3-6	верхнее	34	+752	1,12	нижнее	34	—	1,12	—	
	5-8	нижнее	43	+707	1,08	нижнее	43	—	1,08	—	
	7-10	нижнее	44	+630	1,27	нижнее	44	—	1,22	—	
9-8'	верхнее	44	-305	1,49	нижнее	44	—	—	—		
Стойки.	0-1	правое	20	-410	1,47	левое	20	—	1,39	—	
	2-3	правое	23	-350	1,96	правое	23	—	2,11	—	
	4-5	левое	23	-354	1,92	правое	23	—	2,12	—	
	6-7	левое	28	-292	1,83	левое	28	—	1,38	—	
	8-9	правое	33	-95	2,37	левое	33	—	—	—	

Наибольший интерес представляют отношения $\frac{\max N}{\max n}$, ибо они непосредственно показывают величину дополнительных напряжений r , пренебрегаемых при расчете ферм в предположении шарнирных узлов.

В рассматриваемой 44,6 м. ферме эти дополнительные напряжения r составляют в % от основных напряжений n для поясов от 123 до 293%; для раскосов от 8 до 49% и для стоек от 47 до 137%.

Не лишним будет указать на то, что по мере приближения к середине фермы для поясов растут отношения $\frac{\max N}{\max n}$ и с ними дополнительные напряжения r ; между тем как в простых раскосных и решетчатых фермах с параллельными поясами наблюдается обратное явление.

Что касается результатов второго случая нагрузки, то о них будет речь впереди; здесь же необходимо обратить внимание на следующее обстоятельство:

Изоэпентные линии напряжений N для крайних волокон поясов (см. I и II лист чертежей) указывают на то, что при передвижении нагрузки от узла до узла напряжения N меняют знак. Вследствие этого временная нагрузка может вызвать в каждом элементе пояса как растягивающую N и сжимающую напряжения N , которая в связи с напряжением N от постоянной нагрузки дадут $\max N$ и $\min N$ с одинаковыми или разными знаками. В рассматриваемом примырь для каждого элемента поясов определены наибольшие растягивающая и сжимающая напряжения N от временной нагрузки при положении колес, указанных в изоэпентных линиях. Полные же напряжения $\max N$ и $\min N$ приведены в сравнительной таблице XLIV с указанием волокна, к которому они относятся. Очевидно можно было определить оба напряжения $\max N$ и $\min N$ для каждого из четырех крайних волокон элемента. В данном случае рассчитаны лишь наибольшее из четырех $\max N$ и наибольшее из четырех $\min N$, причем для некоторых элементов наибольшие $\max N$ и $\min N$ соответствуют одному и тому же волокну. Эти элементы, а именно 3—5 и 5—7 в верхнем и 2—4, 4—6, 6—8 в нижнем поясе, работая как сжато-выгнутые части, находятся в самых неблагоприятных условиях. Что же касается остальных элементов поясов, то из рассмотрения изоэпентных линий полных напряжений N нетрудно убедиться в том, что некоторые волокна этих элементов (кроме 0—2) также сжато-выгнуты. Вследствие разной разницы между напряжениями N и n для поясов изоэпентные линии этих напряжений имеют мало сходства, зато очень похожи между собой изоэпентные линии напряжений N и r .

В раскосах наоборот замечено сходство между изоэпентными линиями напряжений n и N (см. III лист чертежей) почему разница между напряжениями n и N незначительна. Первые четыре раскоса от совместного действия постоянной и временной нагрузки испытывают лишь растягивающую нагрузку. Что же касается раскосов 7—10 и 9—8, то из изоэпентных линий напряжений N нетрудно убедиться в том, что они работают как сжато-выгнутые части.

4) Неблагоприятная нагрузка для расчета напряжений N .

Из сравнения изоэпентных линий основных и дополнительных напряжений можно вывести следующие заключения:

- а) Пояса. Если для простых статически определяемых ферм можно,

с достаточной точностью утверждать, что наибольшие полные напряжения поясов имеют место при той же нагрузке, которой соответствуют наибольшие основные напряжения n , то это положение оказывается совершенно неверным для двухраскосных ферм. Наибольшие основные напряжения n и получаются при полной нагрузке фермы, между тем изоэпентные линии напряжений N указывают, что при означенной нагрузке напряжения N сравнительно малы, а что наибольшим напряжениям N соответствует такое расположение временной нагрузки, при котором одновременно нагружены одни положительные или одни отрицательные участки изоэпентных линий. Действительно, сравнительные значения $\frac{N}{n}$ и $\frac{\max N}{\max n}$, приведенные в последней таблице для случаев невыгоднейших и эквивалентных им равномерных нагрузок, усматривается, что хотя основные напряжения n одинаковы в обоих случаях, но значения $\frac{N}{n}$ для равномерной нагрузки значительно меньше чем для невыгоднейшей нагрузки. Поэтому, рассчитывая полные напряжения N в поясах при равномерной нагрузке всей фермы, мы сдвинули бы большую ошибку и получили бы напряжения N в 2 до 3,3 раза меньше действительных.

б) Раскосы. Определя полные напряжения N крайних волокон каждого конца раскосов по сплошной временной нагрузке, можно с достаточной точностью принимать тоже расположение нагрузки, которое соответствует наибольшему основному напряжению n (одного знака с N). При расчете этих напряжений по сосредоточенной временной нагрузке следует различать два случая в зависимости от того, имеют ли сходство между изоэпентными линиями напряжений N и n или нет. В первом случае наибольшие напряжения N и n будут соответствовать почти одинаковым, а во втором случае — разным положениям колес.

§ 12. Фермы с треугольной решеткой без дополнительных стоек.

Примырь № 5, 6, 7, 8.

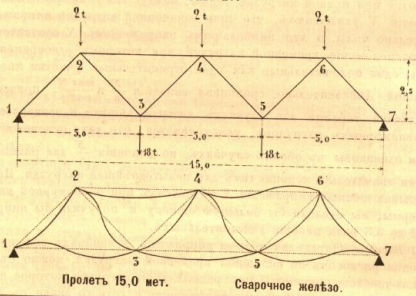
1. Примырь № 5. Ферма пролетом 15 м. со скошенными концами и с вадой по низу. Нагрузка несимметричная и показана в фиг. 27.

Примырь № 6. Ферма пролетом 20 м. (фиг. 28) со скошенными концами и с вадой по низу. В основании расчета положена полная нагрузка, распределенная равномерно по всей длине фермы и состоящая из 12 т. на каждый узел нижнего пояса. Рассчитать дополнительные напряжения произведем по способу Моллера-Бреслау (Ziti des Arch. u. Ing. Ver. zu Hannover 1886) в предположении, что все узлы жесткие.

Примырь № 7. Ферма пролетом 30 м. (фиг. 29) со скошенными концами и с вадой по низу. Постоянная нагрузка $p=1$ т. на п. м. фермы. Временная равномерная нагрузка: $K_1=2,3$ т. на п. м. ф. для расчета напряжений поясов и $K_2=2,6$ т. на п. м. ф. для раскосов. Рассчитать полные и основные напряжения произведем нами по изоэпентным линиям этих напряжений, построенным для каждого элемента и изображенным на IV листе чертежей. Для каждого элемента рассмотрено два случая нагрузки:

Примѣръ № 5.

Фиг. 27.



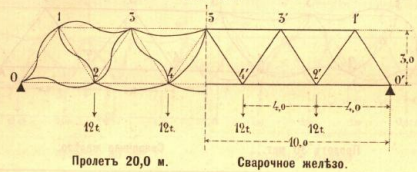
Пролѣть 15,0 мет. Сварочное желѣзо.

№ элемента.	ω brutto см. ²	I brutto см. ⁴	l см.	$b=2e$ см.	Наиб. напр. волок-но.	$\epsilon_1 = \epsilon_2$ см.	Напряженія.			$\frac{l}{\epsilon}$	Сѣченія. Размеры въ м.м.
							n	$\frac{\max N}{n}$	$\frac{N}{n}$		
Верхній пояс.											
2-4	60	1000	500	19	верх.	9,5	-	567	1,14	53	
4-6	60	1000	500	19	верх.	9,5	-	467	1,18	53	
Нижній пояс.											
1-3	50	750	500	17	ниж.	8,5	+	360	1,28	59	
3-5	50	750	500	17	ниж.	8,5	+	300	1,21	59	
3-5	70	1125	500	17	ниж.	8,5	+	457	1,18	59	
Восходяще-раскосы.											
1-2	50	700	350	17	верх.	8,5	-	520	1,06	21	
6-7	50	700	350	17	верх.	8,5	-	420	1,04	21	
3-4	30	440	350	17	-	8,5	+	100	1,05	21	
4-5	30	440	350	17	-	8,5	-	200	1,34	21	
Нисходяще-раскосы.											
2-3	40	610	350	16	-	8	+	575	1,12	22	
5-6	40	610	350	16	-	8	+	450	1,10	22	

1) Дополнительные напряжения рассчитаны для I brutto.

Примѣръ № 6.

Фиг. 28.



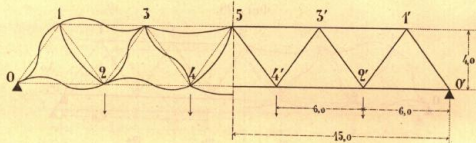
Пролѣть 20,0 м. Сварочное желѣзо.

№ элемента.	ω brutto см. ²	I brutto см. ⁴	l см.	$b=2e$ см.	Наиб. напр. волок-но.	$\epsilon_1 = \epsilon_2$ см.	Напряженія.			$\frac{l}{\epsilon}$	Сѣченія.
							n	$\frac{\max N}{n}$	$\frac{N}{n}$		
Верхній пояс.											
1-3	65	4000	400	24	верх.	12	-	490	1,22	33	Симметричное.
3-5	65	4000	400	24	верх.	12	-	740	1,12	33	
Нижній пояс.											
0-2	44	400	400	13	ниж.	6,5	+	360	1,25	62	Симметричное.
2-4	60	800	400	16	ниж.	8	+	670	1,12	50	
4-4	60	800	400	16	ниж.	8	+	800	1,07	50	
Восходяще-раскосы.											
0-1	60	900	360	17	-	8,5	-	480	1,10	21	Симметричное.
2-3	44	400	360	13	-	6,5	-	320	1,21	28	
4-5	44	900	360	13	-	6,5	0	-	-	28	
Нисходяще-раскосы.											
1-2	40	300	360	10	-	5	+	730	1,05	36	Симметричное.
3-4	44	400	360	13	-	6,5	+	320	1,09	28	

2) Дополнительные напряжения рассчитаны для I brutto.

Примѣръ № 7 и 7а.

Фиг. 29.



Пролетъ 30 мет.

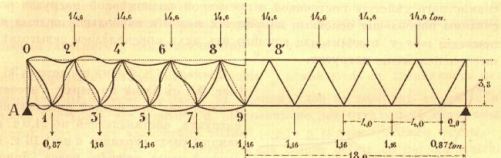
Сварочное железо.

№ элемента.	ω brutto см. ²	I brutto см. ⁴	l см.	$b=2e$ см.	Напр. волок. в 6)	$e_1=e_2$ см.	Угол наклона		$\frac{l}{e}$	Сѣчѣния.	
							γ	γ_a			
Верхній поясъ.	1-3	110	9120	600	25	верх.	12,5	1,15	1,15	48	Симметричное.
	3-5	170	12240	600	25	верх.	12,5	1,14	1,14	48	
Нижній поясъ.	0-2	50	2600	600	25	ниж.	12,5	1,20	1,20	48	Симметричное.
	2-4	110	9120	600	25	ниж.	12,5	1,11	1,11	48	
	4-4'	150	11200	600	25	ниж.	12,5	1,09	1,09	48	
Восходящ. раскосы.	0-1	106	2640	500	25	верх.	12,5	1,10	1,10	$\frac{1}{20}$	Симметричное.
	2-3	90	3600	500	26	верх.	13,0	1,21	1,19	19	
	4-5	68	2010	500	22	верх.	11,0	—	1,33	23	
						ниж.					
Нисходящ. раскосы.	1-2	80	2680	500	20	ниж.	10,0	1,04	1,04	25	Симметричное.
	3-4	54	1010	500	15	ниж.	7,5	1,09	1,08	33	

9) Дополнительные напряжения рассчитаны при I brutto. Индикаторныя линіи напряженій помещены на IV листъ чертежа.

Примѣръ № 8.

Фиг. 30.



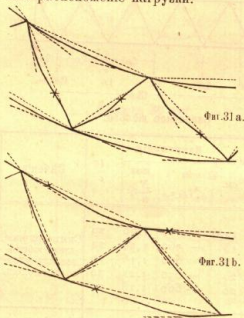
Пролетъ 36 мет.

Сварочное железо.

№ элемента.	ω brutto см. ²	I brutto см. ⁴	l см.	$b=2e$ см.	Напр. волок. в 6)	$e_1=e_2$ см.	Напряженіа.		$\frac{l}{e}$	Сѣчѣния.	
							n $\frac{1}{\text{см.}^2}$	max $\frac{N}{\text{см.}^2}$			
Верхній поясъ.	0-2	86	2040	400	27,2	верх.	13,6	- 410	1,66	29	Симметричное, крестообразное изъ уголковъ и полось.
	2-4	166	7110	400	36	верх.	18	- 560	1,34	22	
	4-6	226	13000	400	40	верх.	20	- 600	1,18	20	
	6-8	253	13000	400	40	верх.	20	- 630	1,22	20	
Нижній поясъ.	A-1	48	2140	200	27,6	ниж.	13,8	0	—	14	Симметричное, крестообразное изъ уголковъ и полось.
	1-3	95	4270	400	27,6	ниж.	13,8	+ 700	1,23	29	
	3-5	182	5960	400	32	ниж.	16	+ 640	1,24	25	
	5-7	224	12260	400	40	ниж.	20	+ 670	1,19	20	
7-9	239	13000	400	40	ниж.	20	+ 690	1,15	20		
Нисходящ. раскосы.	0-1	96	12800	429	40	—	20	+ 750	1,09	$\frac{1}{11}$	Симметричное изъ полосового желѣза. Симметричное изъ уголковъ.
	2-3	77	6550	429	32	—	16	+ 700	1,16	13	
	4-5	56	3660	429	28	—	14	+ 650	1,20	15	
	6-7	40	740	429	19,2	—	9,6	+ 460	1,28	22	
	8-9	48	1130	429	22,2	—	11,1	+ 14	5,29	19	
Восходящ. раскосы.	1-2	136	6020	429	36	—	18	- 520	1,35	12	Симметричное, крестообразное изъ уголковъ и полось.
	3-4	117	5090	429	35,6	—	17,8	- 450	1,38	12	
	5-6	89	3200	429	29,6	—	14,8	- 390	1,43	14	
	7-8	55	1640	429	25,2	—	12,6	- 310	1,32	17	
Опор. столбъ.	A-0	143	4410	380	25,2	—	12,6	- 500	1,44	15	

7) Дополнительные напряжения рассчитаны при I brutto.

Случай № 7: при равномерной нагрузке, составляющей по 1 т. на каждый узел нижнего пояса определены основные напряжения σ_p и полная напряженность N_p . Отношения $\frac{N_p}{\sigma_p}$, соответствующая этому случаю, остаются одинаковыми для любого равномерного нагружения всей фермы. Случай № 7 а: для совместного действия постоянной и временной равномерной нагрузки рассчитаны наибольшие основные напряжения $\max \sigma$ и наибольшие полные напряжения $\max N$, причем для каждого из них определялось невыгоднейшее расположение нагрузки.



Пример № 8. Ферма пролетом 36 м. (фиг. 30) с фадой поверху. Расчеты произведены при полной равномерной нагрузке, составляющей по 14,6 т. на каждый узел верхнего и по 1,16 т. на каждый узел нижнего пояса. Дополнительные напряжения рассчитаны по способу Мандерла (Allgemeine Bauzeitung 1880).

2. Деформации элементов. В зависимости от жесткости поясов сравнительно с раскосами можно различать два основных случая деформации: а) при жестких поясах и сравнительно слабых раскосах в верхних замечается простой (\cup), а в раскосах двойной (\cap) изгиб, как показано в фиг. 31 а; б) при жестких раскосах и сравнительно слабых поясах изгиб

последних — двойной, а для раскосов — простой (фиг. 31 б). В рассматриваемых фермах первый случай имеет место около середины пролета, а второй — вблизи опор. Действительно из всех примеров № 5, 6, 7, 8 усматривается, что пояса имеют двойной изгиб вблизи опор, а простой — около середины фермы. При простом изгибе поясов выпуклая сторона всегда обращена вниз. Наиболее напряженными волокнами являются: верхнее волокно для верхнего и нижнее для нижнего пояса. Что касается изгиба раскосов, то преобладает двойной изгиб.

3. Напряжения. Из примеров № 5, 6, 7, 8 усматривается, что дополнительные напряжения составляют в поясах до 66%, а в раскосах до 43% от основных напряжений σ . В следующей таблице сопоставлены предельные значения $\frac{N}{\sigma}$, соответствующие примерам № 5, 6, 7, 8 и рассчитаны, произведенным Винклером при допущениях, указанных в примечании *).

Название элементов.		Значения $\frac{N}{\sigma}$	
		Основано примерам № 5, 6, 7, 8 для пролетов от 18 до 36 м.	по Винклеру для средних пролетов.
Пояса	вблизи опор . . .	1,14 до 1,66	1,12 до 1,32
	вблизи середины . . .	1,07 до 1,22	1,08 до 1,12
Раскосы	вблизи опор . . .	1,04 до 1,38	1,10 до 1,20
	вблизи середины . . .	1,08 до 1,43	1,06 до 1,12

* Для раскосов не приняты во внимание отношения $\frac{N}{\sigma}$, соответствующая основным напряжениям σ , имеющим незначительную величину.

Из этой таблицы видно, что в фермах с треугольной решеткой и параллельными поясами дополнительные напряжения в поясах увеличиваются от середины фермы к опорам; что же касается раскосов, то заметно обратное явление, т. е. дополнительные напряжения растут *) от опор к середине фермы.

Пользуясь результатами расчета дополнительных напряжений для ферм однородных систем, нам удалось построить диаграммы, показывающие зависимость между значениями $\frac{N}{\sigma}$ и отношениями $\frac{l}{e}$ и $\frac{l}{b}$. Так как для однородных элементов отношения $\frac{N}{\sigma}$ изменяются в зависимости от расположения элементов ближе к опорам или к середине фермы, пришлось построить для поясов и раскосов по две отдельных диаграммы, соответствующих элементам вблизи опор и вблизи середины фермы.

Диаграммы № 1 и № 2 построены для поясов ферм с параллельными поясами и со следующими системами рибетки: 1) простой раскосной (примеры № 1 и 2); 2) сложной раскосной (примеры № 13 и XIII); 3) треугольной без дополнительных стоек (примеры № 5, 6, 7, 8); 4) треугольной с дополнительными стойками (примеры № 9 и 10). Каждому элементу поясов в диаграмм соответствует одна точка, ордината которой = $\frac{N}{\sigma}$, а абсцисса = $\frac{l}{e}$. Точки снабжены знаком \cup или \cap , обозначающим простой или двойной изгиб элемента, и послужили для построения наиболее вярных кривых зависимости между $\frac{N}{\sigma}$ и $\frac{l}{e}$. Пользуясь этими кривыми можно при данных отношениях $\frac{l}{e}$ приблизительно определить значения $\frac{N}{\sigma}$ для поясов вышеуказанных ферм. Значения $(\frac{N}{\sigma} - 1)$ непосредственно дают величину дополнительных напряжений, выраженную в % от основного напряжения σ . Что касается выбора расстояния e опасного волокна от нейтральной оси, то можно руководствоваться следующим правилом: а) для ферм простой раскосной системы и треугольной системы без стоек за опасная волокна верхнего пояса можно принять верхняя, а для нижнего пояса — нижняя волокна; б) для ферм треугольной системы с дополнительными стойками и сложной раскосной системы опасными могут быть другие волокна, так что при определении e рекомендуется принимать нижняя волокна для верхнего и верхняя волокна для нижнего пояса.

Из сравнения диаграммы № 1 для поясов вблизи опор с диаграммой № 2 для поясов вблизи середины усматривается, что в первом случае кривая более удалена от горизонтальной оси абсцисс, так что ему соответствуют большие значения $\frac{N}{\sigma}$. Отсюда следует, что дополнительные напряжения поясов вышеуказанных ферм возрастают от середины фермы к опорам. Значения $\frac{N}{\sigma}$, соответствующая отношениям $\frac{l}{e}$ от 20 до 10 растут очень быстро и кривая круто поворачивают вверх,

*) Это заключение для раскосов не соответствует результатам Винклера, которые за отсутствием данных не могли быть проверены.

Діаграма № 1

зависимости между $\frac{X}{n}$ и $\frac{l}{c}$

для поясов около опор.

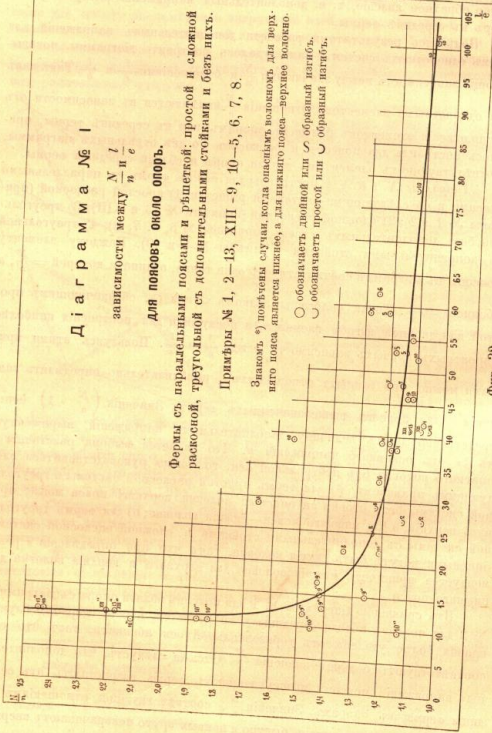
Формы с параллельными поясами и решеткой: простой и сложной раскосной, треугольной с дополнительными стойками и без них.

Примеры № 1, 2—13, XIII—9, 10—5, 6, 7, 8.

Знаком *) помечены случаи, когда опасная волокна для верхнего пояса является нижней, а для нижнего пояса—верхней волокну.

○ обозначает двоякой или ∞ образный пилот.

∪ обозначает простой или ∪ образный пилот.



Фиг. 32.

Діаграма № 2

зависимости между $\frac{X}{n}$ и $\frac{l}{c}$

для поясов около середины пролета.

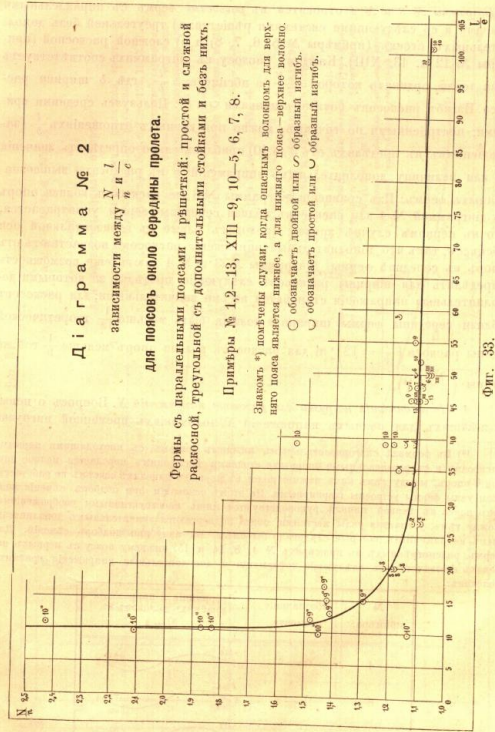
Формы с параллельными поясами и решеткой: простой и сложной раскосной, треугольной с дополнительными стойками и без них.

Примеры № 1, 2—13, XIII—9, 10—5, 6, 7, 8.

Знаком *) помечены случаи, когда опасная волокна для верхнего пояса является нижней, а для нижнего пояса—верхней волокну.

○ обозначает двоякой или ∞ образный пилот.

∪ обозначает простой или ∪ образный пилот.



Фиг. 33.

так что при подборе сечений поясов следовало бы принимать отношение $\frac{l}{e}$ не меньше 15¹⁰⁾.

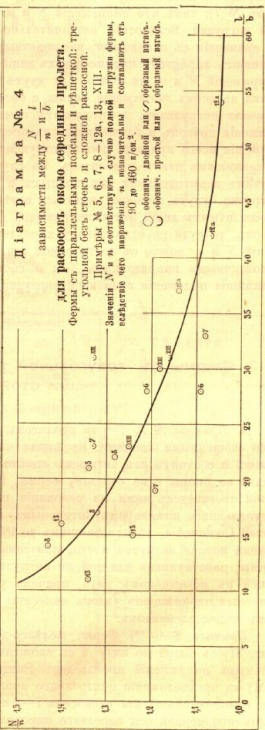
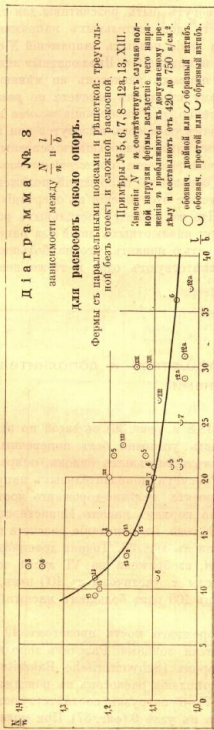
Диаграммы № 3 и № 4 относятся к раскосам ферм с параллельными поясами и со следующими системами ригельки: а) треугольной без дополнительных стоек (примеры № 5, 6, 7, 8) и б) сложной раскосой (примеры № 12 а, 13, XIII). Каждому раскосу в диаграммах соответствует одна точка, ордината которой $= \frac{N}{n}$, а абсцисса $= \frac{l}{b}$, где b ширина раскоса. Нагиб раскосов показан знаками \cup и \circ . Пользуясь средними кривыми, построенными по точкам, можно при данных отношениях $\frac{l}{b}$ (заключенных в пределах от 9 до 40) приблизительно определить значения $\frac{N}{n}$ или величину дополнительных напряжений γ в раскосах вышеуказанных ферм. Из сравнения диаграммы № 3 для раскосов вблизи опор с диаграммой № 4 для раскосов вблизи середины фермы усматривается, что в первом случае кривая проходит ближе к горизонтальной оси абсцисс, так что дополнительные напряжения раскосов возрастают от опор к середине фермы. Диаграммы № 3 и № 4 дают еще возможность определять для ширины раскосов следующие пределы, за которыми дополнительные напряжения становятся весьма значительными: для раскосов вблизи середины фермы ширина b должна быть меньше $\frac{1}{12}$ теоретической длины раскоса ($\frac{l}{b} = 12$), а для раскосов вблизи опор меньше $\frac{1}{9}$ той же длины ($\frac{l}{b} = 9$).

4. *Необходимыя нагрузки для расчета напряжений N.* Вопрос о невыгоднейших для полных напряжений N положениях временной нагрузки

¹⁰⁾ В фермах с горизонтальным нижним поясом, с выходящими первыми раскосами и с вертикальными опорными стойками последним передается полное давление опор, между тем как нижний пояс в пределах сосем не работает, если узлы фермы устроены шарнирными. На этом основании при подборе сечений нижнего пояса в первой панели руководствуются лишь конструктивными соображениями. Между тем, устранив узлы жесткими, пояс подвергается значительным дополнительным напряжениям, которая следовало бы иметь в виду при подборе сечений. Для ферм, рассмотренных в примерах № 4, 8, 14 и 15, нижнему поясу в первых панелях соответствуют следующие деформации и дополнительные напряжения крайних волокон:

№ примера.	Обозначение элемента.	Деформация и напряжения крайних волокон в $\frac{N}{\text{см}^2}$
4	0-2	
8	A-1	
14	0-2	
15	0-2	

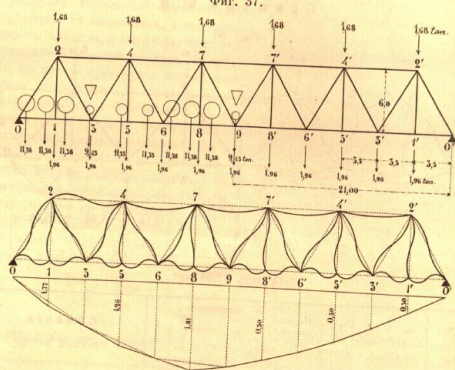
Фиг. 34.



Фиг. 35.

Пример № 10.

Фиг. 37.



Линия прогиба нижнего пояса. Прогобы в натур. величинъ.
Пролетъ 42,0 мет. Сварочное желъзо.

№ элемента.	ω см.²	I см.	b см.	Нап. напр. волово-во.	ε см	Напряжения.			I / ε	Сечения. Размеры вь см.
						к / см.²	max N / и	и		
Верхний пояс.	0-1	106	350	41	ниж.	9,0	+280	1,54	39	35a в. л. 40×1 г. л. 40×0,8 2 л. 9×9×1
	0'-1'	106	350	41	ниж.	9,0	+160	1,19	39	
	1-3	106	350	41	верх.	31,8	+280	2,43	11	
	1'-3'	106	350	41	ниж.	9,0	+160	1,22	39	
Нижний пояс.	3-5	138	350	42	верх.	34,0	+480	1,83	10,3	35a в. л. 40×1 г. л. 40×0,8 2 л. 9×9×1
	3'-5'	138	350	42	ниж.	7,6	+350	1,11	46	
	5-6	138	350	42	верх.	34,0	+480	1,83	10,3	
	5'-6'	138	350	42	ниж.	7,6	+350	1,11	46	
Стойки.	6-8	178	350	43	верх.	35,8	+450	2,11	9,8	35a в. л. 40×1 г. л. 40×0,8 2 л. 9×9×1
	8-9	178	350	43	ниж.	9,8	+400	1,10	52	
	8'-9'	178	350	43	верх.	35,8	+450	2,11	9,8	

и) Дополнительные напряжения рассчитаны при I brutto.

Продолжение таблицы примера № 10.

№ элемента.	ω см.²	I см.²	I см.	b см.	Нап. напр. волово-во.	ε см.	Напряжения.		I / ε	Сечения. Размеры вь см.	
							к / см.²	max N / и			
Верхний пояс.	2-4	106	14600	700	41	ниж.	31,8	-480	1,21	22	35a в. л. 40×1 г. л. 40×0,8 2 л. 9×9×1
	2'-4'	106	14600	700	41	верх.	9,0	-300	1,13	78	
	4-7	162	18100	700	42,2	верх.	6,9	-480	1,08	101	
	4'-7'	162	18100	700	42,2	верх.	6,9	-350	1,09	101	
	7-7'	182	18450	700	43,2	верх.	7,1	400	1,10	99	
Нижний пояс.	2-3	93,6	—	712	35	—	17,5	+460	1,11	20	35b в. л. 35×1 г. л. 17,5×1 2 л. 7×7×0,9
	2'-3'	93,6	—	712	35	—	17,5	+320	1,17	20	
	4-6	58,8	—	712	26	—	13	+340	1,18	27	
	4'-6'	58,8	—	712	26	—	13	+400	1,15	27	
	7-9	38,8	—	712	17	—	8,5	-260	1,27	42	
Стойки.	0-2	114,8	—	712	40	—	20	-520	1,44	18	35c в. л. 40×1 г. л. 21×1 2 л. 8×8×1,1
	0'-2'	114,8	—	712	40	—	20	-300	1,30	18	
	3-4	87,6	—	712	32	—	16	-380	1,26	22	
	3'-4'	87,6	—	712	32	—	16	-310	1,39	22	
	6-7	52,1	—	712	21	—	10,5	-150	1,47	34	
Стойки.	6'-7'	52,1	—	712	21	—	10,5	-420	1,14	34	35d в. л. 40×1 г. л. 21×1 2 л. 10×10×1,4
	1-2	21,1	—	600	15	—	8	+590	1,12	40	
Стойки.	4-5	21,1	—	600	15	—	8	+420	1,17	40	35e в. л. 40×1 г. л. 21×1 2 л. 7×7×0,8
	7-8	21,1	—	600	15	—	8	+575	1,05	40	
	7'-8'	21,1	—	600	15	—	8	+100	1,90	40	
	4'-5'	21,1	—	600	15	—	8	+100	1,90	40	
	1'-2'	21,1	—	600	15	—	8	+100	1,95	40	

2. Деформации элементов. Дополнительные стойки, подвергаясь упругим изменениям их длины, могут быть причиной больше или меньше значительных деформаций поясов. Эти деформации малы в том случае, если стойки испытывают небольшие усилия или если их сечения подобраны с запасом, т. е. вообще если основные напряжения стоек незначительны. Если же эти напряжения мало отличаются или превосходят напряжения в остальных элементах, тогда в них замечается волнообразный изгиб, величину которого нетрудно рассчитать исходя из следующих соображений. Предположим, что ферма АВ с треугольной решеткой без дополнительных стоек (фиг. 38) нагружена в каждом узле верхнего и нижнего пояса грузами P и что нижний пояс фермы прогибается по многоугольнику A'2'4'В'. Добавим теперь дополнительные стойки I-1, 3-III и 5-III,

перенесем в их нижние концы грузы P , действовавшие на верхние узлы фермы и определяем при этих условиях линию прогиба нижнего пояса. Нетрудно убедиться, что прогибы точек 2 и 4 останутся без изменения, между тем как промежуточные узлы I, II и III прогнутся больше, чем в первом случае на вертикальные отрезки I'-I'', II'-II'' и III'-III'', равные удлинению стоек от действия грузов P , приложенных к их нижним концам. В последнем случае нижний пояс получит волеобразный изгиб, который будет тем значительнее, чем больше удлинения стоек (13). Такия же деформации замечаются в верхнем поясе при сжатых дополнительных стойках, устраиваемых в фермах с вадой поверху.

Что касается изгиба отдельных элементов поясов, подверженных непосредственному влиянию дополнительных стоек, т. е. нижнего пояса при вытянутых и верхнего пояса при сжатых дополнительных стойках, то они преимущественно бывают двойной (фиг. 36 и 37).

3. Напряжения. Волеобразный изгиб поясов является причиной дополнительных напряжений в них. Примеры № 9 и 10 ясно показывают, что эти напряжения тем больше, чем значительнее изменения длины стоек. В примере № 9 основные напряжения в стойках малы, так что в местах их прикрепления к нижнему поясу дополнительные напряжения последнего незначительны и значения $\frac{N}{n}$ доходят лишь до 1,16. В примере № 10 основные напряжения стоек равны и даже превосходят напряжения остальных элементов фермы; вследствие этого дополнительные напряжения поясов весьма значительны, и значения $\frac{N}{n}$ доходят до 2,43. При устройстве стечей нижнего пояса таврового или коробчатого типа с высокими вертикальными листами, последние могут корчиться от действия сжимающих усилий; поэтому рекомендуется прикреплять вдоль верхних краев вертикальных листов уголки жесткости.

В отчете проф. Риттера и Tetmaiera (Schweizerische Bauzeitung 1891) о крушении моста через Birs у Mönchenstein'a (пример № 10) указано, что в местах прикрепления стоек к нижнему поясу видны следы бокового выпучивания вертикальных листов.

Дополнительные напряжения поясов от влияния стоек можно приблизительно определить, если рассмотреть каждую двойную панель пояса как балку пролетом $L = 2d$ с заданными концами, нагруженную в середине грузом P . Принимая прогиб ($f = \frac{PL^3}{192EI}$) середины такой балки равным изменению ($\lambda = \frac{\Delta l}{E}$) длины стойки и определяя наибольший изги-

13) Прогибы промежуточных узлов нижнего пояса ферм, рассмотренных в примерах № 9 и 10, приведены в таблице на стр. 49 и составляют от 0,22 до 1,81 мм.

бующий момент $M = \frac{PL}{8} = \frac{24 E I \lambda}{l^2} = \frac{6 E I \lambda}{d^2}$, можно рассчитать дополнительные напряжения от изгиба по формуле $\sigma' = \frac{Mx}{I} = \frac{6 E \lambda x}{d^2}$.

Результаты этого расчета для нижнего пояса ферм, рассмотренных в примерах № 1, 9 и 10, приведены в следующей таблице. Значения $\frac{N}{n}$, соответствующие приближенному и точному способу расчета в предположении жестких узлов, помещены в двух последних графах таблицы.

№ примера.	№ стоек.	№ осн. стоек	№ осн. удлин. стоек	λ м.	Напряжения нижнего пояса			Отношения $\frac{N}{n}$		
					допол. σ'	основное σ	полное $\sigma' + \sigma$	по приближен. расчету	по точному расчету	
9	1-2	+	71	0,22	+	22	-491	+513	1,04	1,14
	5-6	+	71	0,22	+	36	-635	-671	1,06	1,16
10	1-2	+	590	1,77	+	550	-280	+830	2,96	2,43
	4-5	+	420	1,26	+	419	-480	+899	1,88	1,87
	7-8	+	575	1,81	+	634	-450	+1084	2,41	2,11
	7'-8'	+	100	0,30	+	103	-400	+505	1,26	1,13
	4'-5'	+	100	0,30	+	100	-350	+450	1,28	1,11
1'-2'	+	100	0,30	+	93	-160	+253	1,58	1,22	
1	1-2	+	376	1,36	+	144	-610	+754	1,24	1,18

§ 14. Фермы двойной рѣшетчатой системы без стоек.

Примеры № II и XI¹⁴⁾.

1. Примеры № II и XI а. Ферма пролетом 27 мет. (фиг. 39) с вадой поверху. Раскосы не склепаны в местах их взаимного пересѣчения. В основании расчета напряжений положена не действительная нагрузка моста, а фиктивная, состоящая из ряда грузов по 1 т. и рассмотрены 2 случая. В случае № II основные и дополнительные напряжения определены при расположении грузов = 1 т. в узлах 3, 7, 3', каковая нагрузка вызывает наибольшая дополнительные напряжения. В случае № II а основные и дополнительные напряжения имеют наибольшая значения, причем дополнительные напряжения тем же как в случае № II, а основные напряжения определяны при невыгоднейшем для них расположении грузов = 1 т.

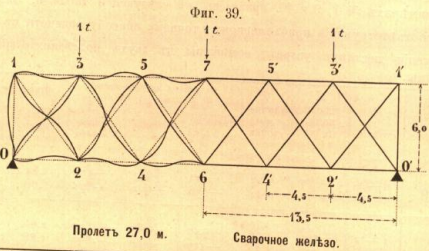
В примере № XI рассмотрена та же 27 м. ферма при тех же случаях нагрузки, как в примере № II, с той лишь разницей, что раскосы склепаны в местах их взаимного пересѣчения.

2. Деформации. Двойная рѣшетчатая система без стоек страдает теми же недостатками как двухраскосная (см. § 11): при неравномерном нагружении узлов обѣих основных систем рѣшетки пояса принимают

14) Примеры № II и XI заимствованы из: Winkler Theorie der Brücken II Heft.

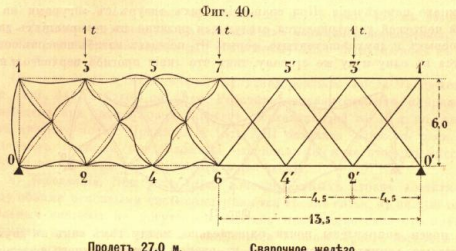
Примѣры № 11 и 11а.

Раскосы не склепаны въ пересѣченяхъ.



Примѣры № 11 и 11а.

Раскосы склепаны въ пересѣченяхъ.



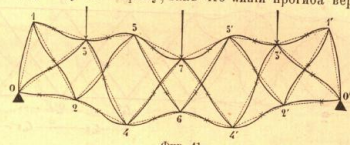
№ элемента.	ω	I	i	δ	Напр. во.	II		III		Съчѣна.		
						Напряженія въ / см. ²		Напряженія въ / см. ²			I	ε
						при расположеніи грузовъ = 1 тон. въ узлахъ 3, 7, 9.	и	при расположеніи грузовъ = 1 т. со-общенъ, выходящ. осев. нагр. н.	и			
Вѣрн. лѣст.	1-3	60	2800	450	23	ниж.	15,8	0	-12,5	1,50	28	
	3-5	80	3700	450	24	ниж.	18,7	-18,8	-28,1	1,56	24	
	5-7	100	4500	450	25	ниж.	21,1	-15,0	-30,0	1,88	21	
Нижн. лѣст.	0-2	60	2800	450	23	верх.	15,8	+18,8	+18,8	1,41	28	
	2-4	80	3700	450	24	верх.	18,7	+14,1	+32,8	1,70	24	
	4-6	100	4500	450	25	верх.	21,1	+18,8	+33,8	1,71	21	
Р а с к о с ы	1-2	36	2100	750	26				+34,7	1,12	29	
	3-4	28	900	375	20				+22,3	1,23	37	
	5-6	43	400	750	14				+9,7	1,17	54	
Вѣрн. стѣн.	0-3	106	2500	750	24				-17,7	1,12	51	
	3-5	96	1700	750	20				0	1,22	37	
	4-7	80	1100	750	18				-7,8	1,33	42	
Нижн. стѣн.	0-1	96	1400	600	16				0		37	

11) Дополнительная напряженія рассчитаны при I brutto.

№ элемента.	ω	I	i	δ	Напр. во.	XI.		XIa.		Съчѣна.				
						Напряженія въ / см. ²		Напряженія въ / см. ²			I	ε		
						при расположеніи грузовъ = 1 тон. въ узлахъ 3, 7, 9.	и	при расположеніи грузовъ = 1 т. со-общенъ, выходящ. осев. нагр. н.	и					
Вѣрн. лѣст.	1-3	60	2800	450	23	верх.	7,2	0	-12,5	1,27	62			
	3-5	80	3700	450	24	ниж.	18,7	-18,8	1,55	-28,1	1,36	24		
	5-7	100	4500	450	25	ниж.	21,1	-15,0	3,27	-30,0	2,13	21		
Нижн. лѣст.	0-2	60	2800	450	23	верх.	15,8	+18,8	1,73	+18,8	1,73	29		
	2-4	80	3700	450	24	верх.	18,7	+14,1	2,02	+32,8	1,44	24		
	4-6	100	4500	450	25	верх.	21,1	+18,8	2,15	+33,8	1,62	21		
Р а с к о с ы	1-2	36	2100	375	26					+34,7	1,28	44		
	3-4	28	900	375	20					+22,3	1,56	19		
	5-6	43	400	375	14					+9,7	1,90	27		
Вѣрн. стѣн.	0-3	106	2500	375	24					-17,7	1,29	16		
	3-5	96	1700	375	20					0	1,30	1,51	19	
	4-7	80	1100	375	18					-7,8	2,00	-10,4	1,75	21
Нижн. стѣн.	0-1	96	1400	600	16					0		-10,4	1,23	37

12) Дополнительная напряженія рассчитаны при I brutto.

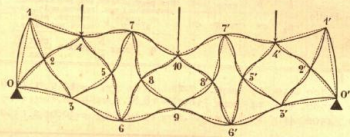
волнообразный изгиб, вызывающий в них значительные дополнительные напряжения. Полная деформация 27 м. фермы от действия трех грузов по 1 т. показана в фиг. 41 и 42; причем в фиг. 41 раскосы расположены не склепанными, а в фиг. 42—склепанными в местах их взаимного пересечения. При сравнении этих фигур с фигурами на VI листе чертежей усматривается следующая разница в деформациях двухраскосных и двухрешетчатых ферм. В первых изгиб поясов совершается в одну и ту же сторону, так что линии прогиба верхнего и ниж-



Фиг. 41.

него пояса направлены почти параллельно, между тем как в двухрешетчатых фермах пояс гнется в разные стороны, отчего расстояния между ними то увеличиваются, то уменьшаются.

Что касается изгиба отдельных элементов поясов, то они преимущественно двойной (∞).



Фиг. 42.

3. Напряжения. Принимая во внимание, что в основание расчета примеров № 11 и XI положена фиктивная нагрузка, приведенная в таблицах отношения $\frac{N}{n}$ не могут иметь общего значения; но, основываясь на них, можно заключить, что в поясах и раскосах дополнительные напряжения возрастают от опор к серединам ферм. Результатами примеров № 11 и XI можно кроме того воспользоваться для выяснения влияния, которое оказывает соединение раскосов в местах их взаимного пересечения на дополнительные напряжения: при склепанных раскосах дополнительные напряжения в поясах немного меньше, а в раскосах почти в два раза больше, чем для случая несклепанных раскосов.

4. Необходимости нагрузки. Наибольшая полная напряжения поясов не получаются при нагрузках, соответствующих наибольшим основным напряжениям, а следует располагать временную нагрузку так, чтобы узлы обычных основных систем решетки были нагружены по возможности неравномерно, подобно тому, что было сказано в § 11 относительно двухраскосных ферм.

Из следующего § 15 усматривается, что вышеуказанные недостатки двухрешетчатых ферм могут быть уничтожены при устройстве дополнительных стоек.

§ 15. Фермы сложной раскосной системы.

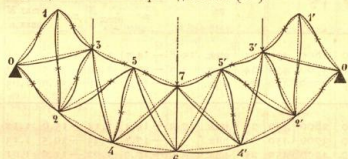
Примеры № 12, 13, XIII.

1) Пример № 12. Ферма пролетом 27 м. ¹⁶⁾ (фиг. 43) с вадой по верху. Раскосы не склепаны в местах их взаимного пересечения. Расчет напряжений произведен для тех же случаев нагрузки как в примерах № 11 и XI.

Пример № 13 и XIII. Ферма железнодорожного моста ¹⁷⁾ пролетом 40 м. (фиг. 44) с вадой по низу. Расчет дополнительных напряжений произведен при равномерной нагрузке, составляющей по 16 т. на каждый узел нижнего пояса. Примеры № 13 и XIII разнятся лишь в том, что в первом раскосы предложены склепанными, а во втором—несклепанными в местах их взаимного пересечения.

2) Деформации. При устройстве дополнительных стоек достигается между обоими основными системами решетки тесная связь, в силу которой отдельные системы не могут прогибаться независимо одна от другой. Вследствие этого в поясах не замечается волнообразного изгиба и они деформируются по плавным кривым, как усматривается из фиг. 45.

Изгиб отдельных элементов поясов такой же как в простых фермах раскосной и треугольной системы, так что вблизи середины фермы они—простой (∪), а вблизи опор—двойной (∞).



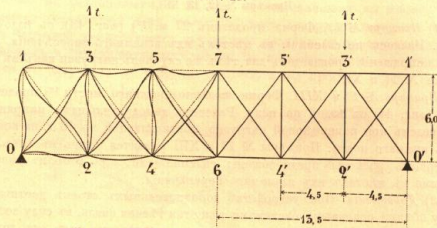
Фиг. 45.

3) Напряжения. Между отношениями $\frac{l}{e}$ и $\frac{N}{n}$ для поясов существует зависимость, представленная диаграммами № 1 и № 2 (фиг. 32 и 33), так что дополнительные напряжения имеют значительную величину лишь при отношениях $\frac{l}{e} < 15$, а в остальных случаях они составляют не более 38% от основных напряжений. В примерах № 13 и XIII первым панелям поясов при отношениях $\frac{l}{e} = 11$ соответствуют дополнительные напряжения, доходящие до 145% ($\frac{N}{n} = 2,45$) от основных напряжений, между тем как в остальных панелях дополнительные напряжения составляют от 6 до 12%. Также как в фермах с простой треугольной и раскосной решеткой дополнительные напряжения поясов увеличиваются от середины пролета к опорам. Соединение раскосов в местах их

¹⁶⁾ Пример № 12 взят из: Winkler, Theorie der Brücken II Heft.

¹⁷⁾ Примеры № 13 и XIII соответствуют мосту через Insehalpbach на Готардской ж. д. и заимствованы из: Ritter, Anwendungen der graphischen Statik, II Teil.

Примѣры № 12 и 12а.
Раскосы по склону въ переувѣнках.
Фиг. 43.



Пролѣть 27,0 мет.

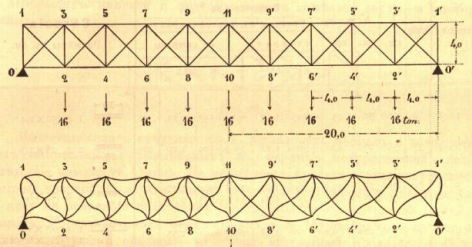
Сварочное желѣзо.

№ элемента.	ω см.з	I brutto см.4	l см.	δ см.	Наиб. напр. волок. н.	12				12a 17).				Сѣченія.
						Напряженія въ к/см.2				При расположеніи трехъ грузовъ=1 т. въ узлахъ 3, 7 и 9.				
						ε	и	и	и	и	и	и	и	I/δ
Верхній поясъ.	1-3	60	2800	450	23	ниж.	15,8	-4,7	1,52	-15,6	1,15	39	36 300	
	3-5	80	3700	450	24	верх.	5,3	-15,7	1,04	-30,5	1,02	8,5		
	5-7	100	4500	450	25	верх.	3,9	-16,1	1,06	-31,9	1,03	11,5		
Нижній поясъ.	0-2	60	2800	450	23	ниж.	7,2	+14,1	1,14	+15,6	1,12	62	36 300	
	2-4	80	3700	450	24	ниж.	5,3	+17,1	1,23	+20,5	1,13	85		
	4-6	100	4500	450	25	ниж.	3,9	+17,7	1,02	+31,9	1,01	115		
Раскосы.	1-2	36	2100	750	26	ниж.	13	+13,0	1,10	+43,3	1,03	29	48 300	
	3-4	28	900	750	20	ниж.	10	+7,8	1,09	+37,2	1,02	37		
	5-6	43	400	750	14	ниж.	7	+4,1	1,18	+14,5	1,05	54		
Стойки.	0-3	106	2500	750	24	верх.	12	-1,33	1,04	-14,7	1,03	31	48 300	
	2-5	96	1700	750	20	верх.	10	-4,3	1,34	-10,9	1,14	37		
	4-7	80	1100	750	18	верх.	9	-5,0	1,10	-7,8	1,07	42		
Стойки.	0-1	96	1400	600	16	-	8	-3,9	1,05	-18,2	1,11	37	48 300	
	2-3	28	-	600	-	-	-	-1,8	1,78	-18,0	1,08	-		
	4-5	28	-	600	-	-	-	-	6,6	-18,0	1,05	-		
	6-7	28	-	600	-	-	-	-	1,0	1,00	-18,0	1,00		

17) Дополнительные напряженія ε въ случаяхъ 12 и 12a определены при расположеніи трехъ грузовъ=1 т. въ узлахъ 3, 7, 9 и соответствуютъ I бѣто.
Основная напряженія и въ случѣ 12 определены при расположеніи трехъ грузовъ=1 т. въ узлахъ 3, 7, 9; а въ случѣ 12a определены наиболѣе значащіе и, соответствующія невыгоднѣшему расположенію грузовъ=1 т.

Примѣры № 13 и XIII.

№ 13. Раскосы скелетны. Фиг. 44. Раскосы по скелетамъ. № XIII.



Пролѣть 40,0 мет.

Сварочное желѣзо.

№ элемента.	I δ см.	Наиб. напр. волок. во.	ε см.	13				XIII				Сѣченія.		
				Напряженія въ к/см.2 18)				Раскосы въ переувѣнках						
												I/δ		
Верхній поясъ.	1-3	400	46,2	ниж.	36,5	-150	2,17	-150	2,20	11	36 300		1 в. л. 45×1,5 1 г. л. 48×1,2 2 л. 11,8×11,8×1,3	
	3-5	400	46,2	верх.	9,7	-390	1,12	-390	1,12	41				
	5-7	400	47,4	верх.	8,6	-460	1,12	-460	1,12	46				
Нижній поясъ.	0-2	400	46,2	верх.	36,5	+210	2,45	+210	2,17	11	36 300	1 в. л. 45×1,5 2 г. л. 48×1,2 2 л. 11,8×11,8×1,3		
	2-4	400	46,2	ниж.	9,7	+380	1,07	+480	1,08	41				
	4-6	400	47,4	ниж.	8,6	+530	1,08	+530	1,10	46				
Стойки.	0-3	106	2500	750	24	верх.	12	-1,33	1,04	-14,7	1,03	31	48 300	1 в. л. 45×1,5 3 г. л. 48×1,2 2 л. 11,8×11,8×1,3
	2-5	96	1700	750	20	верх.	10	-4,3	1,34	-10,9	1,14	37		
	4-7	80	1100	750	18	верх.	9	-5,0	1,10	-7,8	1,07	42		
Стойки.	0-1	400	48	-	-	-105	2,33	-105	2,24	8	48 300	1 г. л. 48×1,5 2 г. л. 48×1,2 2 в. л. 11×1 4 л. 10,5×10,5×1,2 4 л. 9,2×9,2×1,2		
	2-3	400	17	-	-	-	30	5,83	-30	6,13			24	
	4-5	400	17	-	-	-	-	50	3,20	-50			3,29	24
	6-7	400	17	-	-	-	-	60	2,41	-60			2,41	24
Стойки.	8-9	400	17	-	-	-	-	70	1,50	-70	1,71	24	4 л. 8×8×1	
	10-11	400	17	-	-	-	-	90	1,00	-90	1,00	24		

18) Дополнительные напряженія рассчитаны при I бѣто.

Продолжение таблицы примера № 13 и XIII.

№ элемента.	α	l	b	e ₁ =e ₂	XIII				Сечения.			
					Напряжения в ^в см.							
					Раскосы в пересечениях							
					СКЛЕПАНЫ		НЕ СКЛЕПАНЫ		Размеры в см.			
					и	max $\frac{N}{A}$	и	max $\frac{N}{A}$				
					и	max $\frac{l}{b}$	и	max $\frac{l}{b}$				
Нисходящие раскосы.	1-2	84	566	30	15	+543	1,23	9,4	+543	1,11	19	
	3-4	73	566	28	14	+500	1,22	10	+500	1,20	20	
	5-6	60	566	25	12,5	+420	1,23	11	+420	1,17	23	
	7-8	60	566	25	12,5	+235	1,34	11	+235	1,25	23	
	9-10	49	566	18,2	9,1	+90	1,78	16	+90	1,33	31	
Восходящие раскосы.	0-3	95	566	21	10,5	-580	1,16	13	-580	1,09	27	
	2-5	85	566	19	9,5	-500	1,14	15	-500	1,14	30	
	4-7	72	566	19	9,5	-440	1,16	15	-440	1,11	30	
	6-9	72	566	19	9,5	-275	1,24	15	-275	1,18	30	
	8-11	49	566	18,2	9,1	-155	1,40	16	-155	1,16	31	

взаимного пересечения оказывает на дополнительные напряжения повсюду очень слабое влияние.

В раскосах заметно увеличение дополнительных напряжений от опоры к середине пролета, причем дополнительные напряжения составляют до 34% (78%) от основных. Соединение раскосов в местах их взаимного пересечения увеличивает их дополнительные напряжения, но не в столь значительной степени, как в двухрешетчатых фермах без стоек.

§ 16. Фермы полураскосной системы.

Пример № 14.

В последнем выпуске руководства „E. Häsel, der Brückenbau, I Teil 4. Lieferung“ полураскосная система (фиг 46), примененная неоднократно для горизонтальных связей мостов, рекомендуется также для

²⁹⁾ Полураскосная система использована в горизонтальных связях многих новых мостов. Ваварин; между прочим в „Häselbrücke“ около центрального локала в Мюнхен

главных ферм, причем указывается на следующие ее преимущества: 1) она статически определяема при четном числе панелей; 2) она в некоторых случаях легче простых раскосных и двухраскосных ферм; 3) при значительной высоте ферм она допускает устройство сравнительно небольших панелей и поэтому может замывать двух- и многоэтажные системы.



Фиг. 46.

Вышеназванное побудило нас исследовать вопрос о дополнительных напряжениях, вызываемых в фермах полураскосной системы вследствие жесткости узлов. За неимением проекта фермы полураскосной системы таковой был составлен для железнодорожного моста с талой по низу на основании последних норм нашего Министерства Путей Сообщения. Проектированная ферма (пример № 14) изображена в фиг 47 и имеет следующие основные размеры: расчетный пролет $l=41,2$ м.,

расчетная высота $h=7,2$ м. $= \frac{1}{5,72} l$; длина панели $d=5,15$ м., так что $\frac{d}{h}=0,715$. Согласно стр. 447, 451 и 453 вышеуказанного сочинения

Häselera принятому нами отношению $\frac{d}{h}=0,715$ соответствует почти наименьший вес решетки при устройстве ее полураскосной системы; кроме того при $\frac{d}{h}=0,715$ этот вес меньше веса для простой раскосной, но немного больше веса для двухраскосной фермы.

Связи элементов фермы определены в предположении постоянной нагрузки $p=1232$ кил. на п. м. фермы и временной нагрузки, состоящей, согласно циркуляру М. П. С. № 753 от 1896 года, из 2 паровозов и грузевых вагонов, расположенных невыгоднейшим образом для каждого отдельного случая. Усилия в частях фермы рассчитаны по их инволютным линиям. Ферма проектирована из литого железа и коэффициенты прочного сопротивления приняты согласно нормам, указанным в журнале Инженерного Совета от 6 марта 1896 г. за № 31.

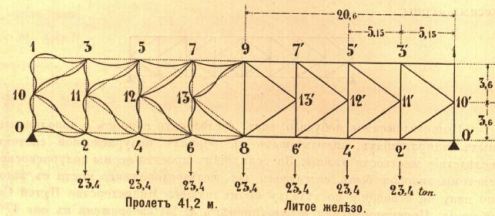
Принимая во внимание, что наибольшим дополнительным напряжениям от жесткости узлов соответствует почти тоже расположение временной нагрузки, при котором вызывается наибольшая основная нагрузка, предположив случай равномерной полной нагрузки, составляющей по 23,4 т. на каждый узел нижнего пояса. Такое расположение нагрузки можно считать самым невыгодным для дополнительных напряжений поясов,

(Zf. d. Verein. Deutscher Ing. 1893). Кроме того эта система была предложена в конкурсных проектах следующих мостов: 1) через Дунай в Будапеште (Zf. d. Ver. Deut. Ing. 1894); 2) через Рейн в Бонне (Centralblatt d. Bauverwaltung 1895); 3) через Рейн в Вормсе (Zf. d. Ver. Deut. Ing. 1897); 4) через Эльбу в Гартбург (Zf. d. Ver. Deut. Ing. 1897).

См. также в журнале М. П. С. 1900 статью Е. О. Патова о влиянии вертикальной нагрузки на напряжения горизонтальных связей мостов.

Примѣръ № 14.

Фиг. 47.



№ элемента.	ω brutto см.²	I netto см.⁴	l см.	b см.	Наиб. напр. возм. по.	e см.	Напряжен.		1/ε	Сѣченія. Размѣры въ см.
							и	max N/и		
Верхній пояс.										
1—3	94	8207	515	32	ниж.	20,7	0	—	25	2 в.л. 32×1 2 л. 8×8×1
3—5	205	32872	515	36	верх.	12,3	-403	1,08	42	2 в.л. 35×1 1 г.л. 45×1 6 л. 8×8×1
5—7	205	32872	515	36	верх.	12,3	-690	1,09	42	2 в.л. 35×1 1 г.л. 45×1 6 л. 8×8×1
7—9	242	47707	515	41	верх.	13,3	-705	1,07	39	2 в.л. 39×1 1 г.л. 45×1 1 г.л. 29×1 6 л. 8×8×1
Нижній пояс.										
0—2	104	13487	515	37	верх.	23,3	0	—	22	2 в.л. 37×1 2 л. 8×8×1
2—4	104	13487	515	37	ниж.	13,7	+672	1,06	38	2 в.л. 37×1 2 л. 8×8×1
4—6	171	40143	515	49	ниж.	14,7	+689	1,11	35	2 в.л. 48×1 1 г.л. 45×1 2 л. 8×8×1
6—8	209	53166	515	53	ниж.	14,7	+699	1,12	35	2 в.л. 52×1 1 г.л. 45×1 4 л. 8×8×1
Средній вѣ.										
0—10	165	6503	360	27	—	13,5	-550	1,28	13	8 л. 13×8,5×1
10—1	165	6503	360	27	—	13,5	0	—	13	8 л. 13×8,5×1
2—11	77	2587	360	25	—	12,5	-257	1,76	14	4 л. 12×8×1
11—3	77	2587	360	25	—	12,5	+600	1,22	14	4 л. 12×8×1
4—12	56	690	360	16	—	8	-124	1,43	23	4 л. 7,5×7,5×1
12—5	56	690	360	16	—	8	+609	1,16	23	4 л. 7,5×7,5×1
6—13	56	690	360	16	—	8	+609	1,16	23	4 л. 7,5×7,5×1
13—7	56	690	360	16	—	8	+118	1,27	23	4 л. 7,5×7,5×1
8—9	56	690	360	16	—	8	+356	1,09	23	4 л. 7,5×7,5×1
					—	8	+244	1,06	23	4 л. 7,5×7,5×1

*) Дополнительные напряжения рассчитаны при I netto.

Продолженіе таблицы примѣра № 14.

№ элемента.	ω brutto см.²	I netto см.⁴	l см.	b см.	ε₁=ε₂ см.	Напряжен.		l/b	Сѣченія. Размѣры въ см.
						и	max N/и		
Восходяще попераскосы.									
3—10	196	7838	628	27	13,5	-397	1,18	23	8 л. 13×8,5×1,2
5—11	153	5175	628	25	12,5	-374	1,08	25	8 л. 12×8×1
7—12	87	4921	628	31	15,5	-391	1,10	20	4 л. 15×7,5×1,2
9—13	77	2587	628	25	12,5	-150	1,18	25	4 л. 12×8×1
Нисходяще попераскосы.									
10—2	166	4251	628	27	13,5	+750	1,10	23	4 л. 13×8,5×1,3
11—4	84	3033	628	25	12,5	+684	1,09	25	4 л. 12×8×1,1
12—6	74	3288	628	27	13,5	+466	1,18	23	4 л. 13×6,5×1
13—8	46	1109	628	21	16,5	+221	1,10	30	4 л. 10×5×0,8

опорныхъ стоевъ и попераскосовъ первой панели. Что же касается раскосовъ 2-й и 3-й панели, то ихъ наибольшія дополнительные напряжения не будутъ много различаться отъ напряженій, соответствующихъ принятой нагрузкѣ, чего нельзя сказать про остальные раскосы и стойки.

Переходя къ результатамъ расчета, слѣдуетъ указать, что пояса разсматриваемой фермы изгибаются также какъ въ верхахъ простой раскосной и треугольной системы; такъ что въблизи опоръ замѣчается двойной (∞), а около середины фермы—простой (∪) изгибъ. Въ попераскосахъ и стойкахъ при полной нагрузкѣ фермы замѣчается преимущественно двойной изгибъ.

Дополнительныя напряжения составляютъ въ 9/10 отъ основныхъ напряженій: для поясовъ отъ 6 до 12%, для попераскосовъ отъ 9 до 18% и для стоекъ отъ 9 до 76%.

Изъ вышеуказанныхъ расчетовъ можно заключить, что по отношенію къ дополнительнымъ напряжениямъ отъ жесткости узловъ фермы съ попераскосами находятся въ сравнительно благопріятныхъ условияхъ.

В. Фермы с криволинейными поясами

При рассмотрении простых раскосных ферм с параллельными поясами указывалось на то, что деформация каждого элемента фермы является следствием: 1) изменения длины поясов и 2) изменения длин частей решетки, и что окончательная деформация зависит от жесткости поясов сравнительно с частями решетки.

О жесткости элементов можно судить по отношениям $\frac{I}{l}$ т. е. момента инерции к длине элемента. В простых фермах с параллельными поясами отношения $\frac{I}{l}$ для поясов обыкновенно в несколько раз больше отношений $\frac{I}{l}$ для раскосов и стоек. При этом замечается, что дополнительные напряжения поясов тем значительнее, чем больше жесткость ближайших к ним раскосов и стоек. Например мы видели, что около опор, т. е. в месте расположения наиболее жестких раскосов и стоек, пояса испытывают наибольшие дополнительные напряжения (см. диаграммы № 1 и 2). В употребительных фермах с криволинейным очертанием замечается еще большая разница между отношениями $\frac{I}{l}$ для поясов и для частей решетки, так как последние работают слабее и поэтому имеют меньшие сечения чем в фермах с параллельными поясами. Отсюда можно заключить, что в фермах с криволинейным очертанием изменение длин раскосов и стоек оказывают на деформацию поясов меньшее влияние, чем в фермах с параллельными поясами. Чем меньше это влияние, тем более пояса находятся в условиях неразрывных балок на упругих опорах, совпадающих с узлами соответственного пояса.

Итак в фермах с криволинейным очертанием пояса испытывают меньшие дополнительные напряжения, чем в фермах с параллельными поясами. При простых системах решетки эти напряжения увеличиваются от середины пролета к опорам. Изгиб поясов преимущественно простой (ω).

Что же касается раскосов и стоек, то они подвержены значительным деформациям, так как изменения их длин не могут оказывать существенного влияния на деформацию поясов, и расходятся преимущественно на деформацию тех же раскосов и стоек. Несмотря на это дополнительные напряжения последних обыкновенно меньше чем в фермах с параллельными поясами, ибо они зависят от ширины и момента инерции раскосов и стоек, которые в фермах с криволинейными поясами обыкновенно меньше, чем в фермах с параллельными поясами.

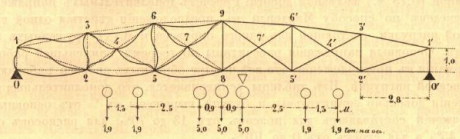
Наименьшие дополнительные напряжения поясов и решетки соответствуют тем фермам, решетка которых испытывает сравнительно с поясами наименьшие основные напряжения. Этому условию лучше всего удовлетворяют параболические фермы.

Все вышесказанное относится преимущественно к таким фермам, верхний и нижний поясы которых сходятся в опорных узлах. Что же касается ферм с опорными стойками, то они занимают среднее положение между фермами с криволинейными и параллельными поясами.

Пример № 15.

Раскосы склонены в переувелич.

Фиг. 48.



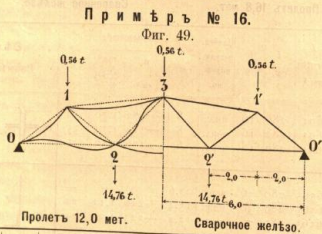
№ элемента.	ω см. ²	I brutto см. ⁴	l см.	d см.	Наибол. напряж. попер. во.	Напряжения		$\frac{I}{l}$	Сечения. Размеры в см.			
						n н/см. ²	max $\frac{N}{2l}$ н					
Верхний пояс.	1-3	60	691	286	16	ниж.	8	-173	1,70	36	4 L 8x8x1	
	3-6	60	691	282	16	верх.	8	-214	1,14	35		
	6-9	60	691	280	16	верх.	8	-296	1,16	35		
Нижний пояс.	0-2	51	6565	280	36	верх.	22,6	0	—	—	1 в. л. 36x1 1 L 8x8x1	
	2-5	51	6565	280	36	ниж.	13,4	+236	1,13	21		
	5-8	51	6565	280	36	ниж.	13,4	+323	1,30	21		
Раскосы и стойки.	1-2	47	418	297	14	—	7	+230	1,45	21	4 L 7x7x0,9	
	3-4	24	209	145	14	—	7	+160	1,17	10		
	4-5	24	209	175	14	—	7	+160	1,19	12		
	6-7	15	53	163	8	—	—	—	+175	1,06	—	8x8x1
	7-8	15	53	175	8	—	—	—	+175	1,04	—	
	3-4	15	53	157	8	—	—	—	+153	1,18	—	
	4-6	15	53	181	8	—	—	—	+153	1,13	—	
	5-7	15	53	167	8	—	—	—	+82	1,15	—	
	7-9	15	53	177	8	—	—	—	+82	1,29	—	
Стойки.	0-1	60	848	100	17	—	8,5	—	94	1,38	4 L 8x8x1	
	2-3	21	243	157	11	—	—	—	73	1,97		11x11x1 8x8x1
	5-6	15	53	189	8	—	—	—	+43	2,01	—	
	8-9	15	53	200	8	—	—	—	+200	1,00	—	

²⁾ Дополнительные напряжения рассчитаны при I brutto.

§ 17. Фермы полупараболическия, параболическия и системы Шведлера.

Примѣры № 15, 16, 17, 18, 19.

Примѣръ № 15.²²⁾ (фиг. 48). Полупараболическая ферма для моста узкоколейной (0,75 м.) желѣзной дороги. Расчетъ дополнительныхъ напряженій произведенъ по способу Мандера въ предположеніи дѣйствія одной временной нагрузки, состоящей изъ одного вагона и двухъ груженыхъ вагоновъ. Основные напряженія рассчитаны по теоремѣ наименьшей работы деформации въ предположеніи, что всѣ четыре обратныхъ раскоса работаютъ при всякой нагрузкѣ. Изъ таблицы усматривается, что дополнительныя напряженія довольно значительны и будучи выражены въ % отъ основныхъ напряженій составляютъ для поясовъ отъ 13 до 70%; для раскосовъ отъ 4 до 43% и для стоекъ отъ 0 до 101%.



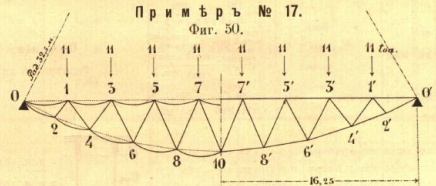
№ элемента.	ω	I brutto	l	b	Набл. напряж. волокон.	Напряженіе.			Сѣченія		
						ε	и	max			
	см. ²	см. ⁴	см.	см.	см.	ε / см. ²	и	N / и	Размѣры въ см.		
Верхній поясъ.	0-1	45,8	6160	243	20	верх.	6,8	-573	1,24	36	
	1-3	45,8	6160	403	20	верх.	6,8	-780	1,09	59,5	
	0-2	45,8	6160	400	20	верх.	13,2	+463	1,37	30	
Нижній поясъ.	2-2'	45,8	6160	400	20	ниж.	6,8	+673	1,14	59	
	2-3	18	216	281	12	ниж.	6	+361	1,26	23	
Раскосы.	1-2	30	1000	243	20		10	+587	1,13	12	
	2-3	18	216	281	12		6	+361	1,26	23	

²²⁾ Civilingenieur 1883, Стр. 383.

²³⁾ Дополнительные напряженія рассчитаны при I brutto.

Примѣръ № 16.²⁴⁾ Ферма пролетомъ 12 м. съ эллиптическимъ верхнимъ поясомъ. Напряженія рассчитаны для нагрузки, показанной въ фиг. 49. Дополнительные напряженія поясовъ составляютъ отъ 9 до 27%, а раскосовъ—отъ 13 до 26% отъ основныхъ напряженій.

Примѣръ № 17.²⁵⁾ Ферма желѣзнодорожнаго моста пролетомъ 32,5 м. (фиг. 50) (Niddabrücke bei Assenheim, Centralblatt d. Bauverwaltung 1882, Стр. 72). Узлы нижняго пояса расположены по дугѣ круга, радиусъ котораго равенъ пролету. Разомотрѣвъ случай полной нагрузки фермы, состоящей по 11 т. на каждый узелъ верхняго пояса. Расчетъ дополнительныхъ напряженій произведенъ по способу Ландсберга (см. § 7) въ предположеніи, что раскосы соединены съ жесткими поясами помощью шарнировъ, такъ что пояса рассматривались какъ неразрывныя балки на упругихъ опорахъ. Изгибъ поясовъ исключительно простой (С). Дополнительные напряженія поясовъ составляютъ около опоръ 15 до 23%, а около середины фермы—5 до 7% отъ основныхъ напряженій.



№ элемента.	ω	I brutto	l	b	Набл. напряж. волокон.	Напряженіе.			Сѣченія		
						ε	и	max			
	см. ²	см. ⁴	см.	см.	см.	ε / см. ²	и	N / и	Размѣры въ см.		
Верхній поясъ.	0-1	172	14306	358	31,3	верх.	9,2	-492	1,25	39	
	1-3	172	14306	362	31,3	верх.	9,2	-506	1,25	39	
	3-5	172	14306	362	31,3	верх.	9,2	-526	1,06	39	
	5-7	172	14306	362	31,3	верх.	9,2	-534	1,06	39	
	7-7'	172	14306	362	31,3	верх.	9,2	-539	1,05	39	
Нижній поясъ.	0-2	177	16970	295	33,3	ниж.	10	+539	1,16	30	
	2-4	177	16970	304	33,3	ниж.	10	+548	1,15	30	
	4-6	177	16970	308	33,3	ниж.	10	+541	1,05	37	
	6-8	177	16970	308	33,3	ниж.	10	+540	1,07	37	
	8-10	177	16970	308	33,3	ниж.	10	+538	1,07	37	

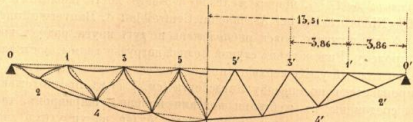
²⁴⁾ Handbuch d. Ingenieurwissen. II Band, Balkenbrücken. Стр. 361.

²⁵⁾ Zeitschrift d. Archt u. Ing. Ver. zu Hannover 1885, Стр. 371.

²⁶⁾ Дополнительные напряженія рассчитаны при I brutto.

Примѣръ № 18.

Фиг. 51.



Пролетъ 27,03 м.

Литое желѣзо.

№ эле-мента	ω	I	I	I	I	I	IS		ISa		Сѣченія.	
							напр.	е	напр.	е		
монта.	см.³	см.¹	см.	см.	см.	см.	№	№	№	№	Размѣры въ дм.	
Верхній поясъ.												
0-1	239	43736	386	47,6	верх.	10,6	37	1,33	1,28	-501	1,27	
1-3	239	43736	386	47,6	верх.	10,6	37	1,29	1,25	-582	1,31	
3-5	239	43736	386	47,6	верх.	10,6	37	1,07	1,06	-559	1,07	
5-5'	239	43736	386	47,6	верх.	10,6	37	1,07	1,06	-557	1,05	
Нижній поясъ.												
0-2	216	40757	213	47	ниж.	11	19	1,40	1,33	+658	1,42	
2-4	216	40757	410	47	ниж.	11	37	1,36	1,30	+714	1,38	
4-6	216	40757	395	47	ниж.	11	45	1,08	1,07	+651	1,06	
6-8	216	40757	387	47	ниж.	11	35	1,08	1,07	+632	1,07	
Р а с к о с ъ.												
1-2	55	688	213	16	ниж.	8	13	1,60	1,47	-332	1,54	
1-4	55	688	208	16	верх.	8	19	1,70	1,59	-432	1,86	
3-4	55	688	208	16	ниж.	8	19	1,80	1,62	-340	1,52	
3-6	55	688	305	16	верх.	8	23	1,28	1,22	-459	1,23	
5-6	55	688	305	16	ниж.	8	23	1,35	1,27	-396	1,18	
5-8	55	688	390	16	верх.	8	24	1,49	1,38	-436	1,27	

Примѣръ № 18. Параболическая ферма (фиг. 51) желѣзнодорожнаго моста пролетомъ 27 м., спроектированная по послѣднимъ нормамъ (1896 г.) нашего Министерства Путей Сообщенія. Протяжная часть моста состоитъ изъ деревянныхъ поперечницъ, расположенныхъ непосредственно на верхнихъ поясахъ фермы. Постоянная нагрузка составляетъ 3,32 т. на каждый узелъ верхняго пояса; а временная нагрузка состоитъ изъ 2 паровозовъ,

соотвѣтствующихъ циркуляру М. П. С. № 753 отъ 1896 г. Рассчетъ полныхъ и основныхъ напряженій произведенъ нами по инфлюэнтнымъ линиямъ этихъ напряженій. Результаты расчета помѣщены въ таблицахъ А, В, С, D, E,

Таблица А ²⁷⁾ основныхъ напряженій въ $\frac{N}{\text{см.}^2}$ при положеніяхъ груза Р=1 тон. въ узлахъ:

№ элемента	1	3	5	5'	3'	1'	ω netto см.²
Верхній поясъ.							
0-1	- 9,19	- 7,66	- 6,12	- 4,60	- 3,06	- 1,53	201
1-3	- 6,98	- 9,51	- 7,61	- 5,71	- 3,81	- 1,91	201
3-5	- 3,98	- 7,96	- 8,84	- 6,63	- 4,42	- 2,21	201
5-5'	- 2,84	- 5,68	- 8,52	- 8,52	- 5,68	- 2,84	201
Нижній поясъ.							
0-2	+ 11,12	+ 9,26	+ 7,41	+ 5,56	+ 3,71	+ 1,85	183,5
2-4	+ 12,07	+ 10,06	+ 8,04	+ 6,03	+ 4,02	+ 2,01	183,5
4-6	+ 5,72	+ 11,43	+ 9,14	+ 6,86	+ 4,57	+ 2,28	183,5
6-8	+ 3,72	+ 7,45	+ 11,17	+ 8,37	+ 5,58	+ 2,79	183,5
Р а с к о с ъ.							
1-2	- 5,72	- 4,77	- 3,82	- 2,87	- 1,92	- 0,97	46,3
1-4	- 25,14	+ 2,61	+ 2,10	+ 1,58	+ 1,06	+ 0,54	46,3
3-4	+ 10,26	- 7,78	- 6,22	- 4,67	- 3,11	- 1,56	46,3
3-6	- 9,22	- 18,44	+ 5,59	+ 4,21	+ 2,81	+ 1,40	46,3
5-6	+ 4,88	+ 9,76	- 10,82	- 8,10	- 5,40	- 2,70	46,3
5-8	- 4,77	- 9,55	- 14,30	+ 7,93	+ 5,27	+ 2,63	46,3

²⁷⁾ По этой таблицѣ построены инфлюэнтныя линіи основныхъ напряженій, помѣщенные въ V листѣ чертежей.

Таблица В. 25) дополнительных напряжений

Л Э В Ы Е К О Н Ц Ы Э Л Е М Е Н Т О В Ъ .														
№ элемент.	И ^н тента см. ²	Верхняя воложина.						Нижняя воложина.						И ^н тента см. ²
		Положение груза P=1 тон. вь узль:												
		1	3	5	5'	3'	1'	1	3	5	5'	3'	1'	
Верхний пояс.														
0-1	3496	-0,54	-1,27	-0,84	-0,70	-0,44	-0,21	+1,99	+4,44	+2,94	+2,46	+1,55	+0,75	1001
1-3	3496	-5,59	-1,05	-1,68	-0,98	-0,75	-0,38	+19,53	+3,68	+5,86	+3,42	+2,63	+1,32	1001
3-5	3496	+1,30	-3,05	+0,93	-0,53	+0,02	-0,03	-4,54	+10,65	-2,21	+1,86	-0,07	+0,10	1001
5-5'	3496	-0,38	+0,64	-2,84	+0,61	-0,31	+0,004	+1,33	-2,25	+0,92	-2,12	+1,09	-0,01	1001
Нижний пояс.														
0-2	953	+2,00	+4,67	+3,09	+2,58	+1,63	+0,78	-0,61	-1,43	-0,94	-0,79	-0,50	-0,24	3119
2-4	953	-10,00	-8,97	-8,80	-6,26	-4,39	-2,13	+5,81	+2,74	+2,69	+1,91	+1,34	+0,65	3119
4-6	953	-1,21	-5,05	+0,63	-0,79	+0,21	-0,13	+0,37	+1,55	-0,19	+0,24	-0,06	+0,04	3119
6-8	953	-0,39	-3,93	-3,29	+0,89	-2,06	-0,22	+0,12	+1,20	+1,61	-0,27	+0,63	+0,07	3119
Р а с с е л е н и е .														
1-2	67	+6,03	-2,70	-0,46	-0,88	-0,36	-0,22	-6,03	+2,70	+0,46	+0,88	+0,36	+0,22	67
1-3	67	-10,24	-1,15	-0,66	-0,55	-0,39	-0,18	+10,24	+1,15	+0,66	+0,55	+0,39	+0,18	67
3-4	67	+3,18	+5,48	-0,66	+1,33	+0,27	+0,24	-3,18	-5,48	+0,66	-1,33	-0,27	-0,24	67
3-6	67	+0,87	-4,22	-0,37	+0,006	+0,01	-0,07	-0,87	+4,22	+0,37	-0,006	-0,01	+0,07	67
5-6	67	-0,10	+1,19	+3,52	-0,66	-0,30	+0,03	+0,10	-1,19	-3,52	+0,66	+0,30	-0,03	67
5-8	67	-0,64	+0,16	-4,10	-0,46	-0,99	-0,25	+0,64	-0,16	+4,10	+0,46	+0,99	+0,25	67

25) По этой таблиць построены инфлюэнтна линия дополнительных напряжений, помещен

в в н. см.² при дѣйствіи грузовъ P=1 тон.

П Р А В Ы Е К О Н Ц Ы Э Л Е М Е Н Т О В Ъ .														
№ элемент.	И ^н тента см. ²	Верхняя воложина.						Нижняя воложина.						И ^н тента см. ²
		Положение груза P=1 тон. вь узль:												
		1	3	5	5'	3'	1'	1	3	5	5'	3'	1'	
Верхний пояс.														
0-1	3496	-5,67	-1,13	-1,70	-1,01	-0,77	-0,39	+19,81	+3,93	+5,93	+3,51	+2,68	+1,34	1001
3-1	3496	+1,38	-3,02	+0,63	-0,51	+0,02	-0,03	-4,81	+10,57	-2,18	+1,78	-0,68	+0,10	1001
5-3	3496	-0,40	+0,67	-2,85	+0,60	-0,34	-0,001	+1,38	-2,34	+0,99	-2,09	+1,17	+0,003	1001
5'-5	3496	+0,004	-0,31	+0,61	-2,84	+0,64	-0,38	-0,01	+1,09	-2,12	+0,92	-2,25	+1,33	1001
Нижний пояс.														
2-0	953	-18,95	-0,32	-9,00	-6,43	-4,50	-2,18	+5,79	+2,85	+2,75	+1,97	+1,37	+0,67	3119
4-2	953	-1,59	-4,67	+0,65	-0,69	+0,23	-0,11	+0,48	+1,43	-0,20	+0,21	-0,07	+0,03	3119
6-4	953	-0,38	-4,13	-5,05	+0,84	-2,05	-0,23	+0,12	+1,26	+1,54	-0,26	+0,62	+0,07	3119
8-6	953	-0,22	+1,73	-4,02	-3,84	+1,69	-0,20	+0,07	+0,53	+1,23	+1,17	-0,52	+0,06	3119
Р а с с е л е н и е .														
2-1	67	-0,81	+5,18	+2,84	+2,51	+1,49	+0,78	+0,81	-5,18	-2,84	-2,51	-1,49	-0,78	67
4-1	67	+7,12	-1,63	-0,36	-0,60	-0,19	-0,16	-7,12	+1,63	+0,36	+0,60	+0,19	+0,16	67
4-3	67	-1,70	-3,88	+0,16	-0,88	-0,13	-0,15	+1,79	+3,88	-0,16	+0,88	+0,13	+0,15	67
6-3	67	-0,16	+3,15	-0,67	+0,36	-0,33	+0,04	+0,16	-3,15	+0,67	-0,36	+0,33	-0,04	67
6-5	67	+0,04	-0,22	-2,67	+0,37	+0,27	-0,03	-0,04	+0,22	+2,67	-0,37	-0,27	+0,03	67
8-5	67	+0,42	+0,25	+2,63	+0,04	+0,87	+0,15	-0,42	-0,25	-2,63	-0,04	-0,87	-0,15	67

линя на V листь чертежей.

Таблица С основных, дополнительных и полных напряжений от равномерной нагрузки.

при расположении грузов = 1 т. в каждом узле верхнего пояса.

Напряжения в $\frac{1}{\text{см}^2}$

№ элемента.	Основное направление (разно для всех волокон) N_p	R_p Дополнительные напряжения.				N_p Полные напряжения от постоянной нагрузки.				
		Левый конец.		Правый конец.		Левый конец.		Правый конец.		
		Верхнее	Нижнее	Верхнее	Нижнее	Верхнее	Нижнее	Верхнее	Нижнее	
		волокон.		волокон.		волокон.		волокон.		
Верхний пояс.	0-1	-32,16	-4,00	+14,04	-10,67	+37,20	-36,16	-18,12	-42,83	+5,04
	1-3	-35,53	-10,43	+36,44	-1,53	+5,38	-45,96	+9,91	-37,06	-30,15
	3-5	-34,04	-1,66	+5,79	-2,32	+8,08	-35,70	-28,25	-36,30	-25,06
	5-5'	-34,08	-2,28	+7,96	-2,28	+7,96	-36,36	-26,12	-36,30	-26,12
Нижний пояс.	0-2	+38,91	+14,75	-4,51	-50,38	+15,40	+53,66	+34,40	-11,47	+54,31
	2-4	+42,23	-49,55	+15,14	-6,18	+1,88	-7,32	+57,37	+36,05	+44,11
	4-6	+40,00	-6,34	+1,95	-11,00	+3,35	+33,66	+41,95	+29,00	+43,35
	6-8	+39,08	-11,00	+3,36	-4,86	+1,48	+28,08	+42,44	+34,22	+40,56
Раскосы.	1-2	-20,07	+1,41	-1,41	+11,99	-11,99	-18,66	-21,48	-8,08	-32,06
	1-4	-17,25	-13,17	+13,17	+4,18	-4,18	-30,42	-4,08	-13,07	-21,43
	3-4	-13,08	+10,44	-10,44	-6,67	+6,67	-2,64	-23,52	-19,75	-6,41
	3-6	-13,65	-3,77	+3,77	+2,39	-2,39	-17,42	-9,88	-11,26	-16,04
	5-8	-12,79	+4,28	-4,28	-2,24	+2,24	-8,10	-16,66	-14,62	-10,14

Таблица D. Наибольших полных (основных + дополнительных) напряжений N при жестких узлах.

Напряжения в $\frac{1}{\text{см}^2}$

№ элемента.	Обозначение волокон, испытывающего наибольшее напряжение.	Постоянная нагрузка $K=3,32$ тон.		Временная нагрузка	Невыгодная нагрузка.		
		Концев.	Волокон.				
		Σy	$K \cdot \Sigma y$				
Верхний пояс.	0-1	правый	верхнее	-42,83	-142	-611	-753
	нижнее		+5,04	+17	+202	+219	
	1-3	левый	верхнее	-45,96	-153	-611	-764
			нижнее	+0,91	+3	+235	+238
3-5	правый	верхнее	-36,36	-121	-476	-597	
		нижнее	-25,96	-86	0	-86	
5-5'	левый	верхнее	-36,36	-121	-463	-584	
		нижнее	-26,12	-87	0	-87	
Нижний пояс.	0-2	правый	нижнее	+54,31	+180	+752	+932
	верхнее		-11,47	-38	-201	-239	
	2-4	левый	нижнее	+57,37	+199	+799	+989
			верхнее	-7,32	-24	-162	-186
4-6	правый	нижнее	+43,35	+144	+548	+692	
		верхнее	+29,00	+96	0	+96	
6-8	левый	нижнее	+42,44	+141	+533	+674	
		верхнее	+28,08	+93	0	+93	
Раскосы.	1-2	правый	нижнее	-32,06	-106	-407	-513
			верхнее	-8,08	-27	0	-27
	1-4	левый	верхнее	-30,42	-101	-701	-802
			нижнее	-4,08	-14	+143	+129
	3-4	левый	нижнее	-23,52	-78	-439	-517
			верхнее	-2,64	-9	+263	+254
	3-6	левый	верхнее	-17,42	-58	-509	-567
			нижнее	-9,88	-33	+193	+160
5-6	левый	нижнее	-16,66	-55	-414	-469	
		верхнее	-8,10	-27	+240	+213	
5-8	левый	верхнее	-19,07	-63	-492	-555	
		нижнее	-6,51	-22	+245	+223	

Сравнительная таблица Е. наибольших основных и полных напряжений в $\frac{N}{n}$ с¹

№ элемент.	Обозначение наиболее напряженного волокна.	Основные напряжения от			max и наибольшие основные напряжения.		max N наибольшие полные напряжения.		max N при разн. велич. поезда для n и N.	
		постоянной нагрузки.	временной нагрузки.		+	-	Min	Max		
			%	+						-
Верхний пояс.	0-1 верх. прав.	-107	0	-484	0	-591	+210	-753	1,27	
	1-3 верх. лѣв.	-120	0	-462	0	-582	+238	-764	1,31	
	3-5 верх. прав.	-113	0	-446	0	-559	-86	-597	1,07	
	5-5' верх. лѣв.	-113	0	-444	0	-557	-87	-584	1,05	
Нижний пояс.	0-2 ниж. прав.	+129	+529	0	+658	0	-239	+932	1,42	
	2-4 ниж. лѣв.	+140	+574	0	+714	0	-186	+989	1,38	
	4-6 ниж. прав.	+133	+518	0	+651	0	+96	+692	1,06	
	6-8 ниж. лѣв.	+131	+501	0	+632	0	+93	+674	1,07	
Раскосы.	1-2 ниж. прав.	-67	+226	-265	Min.	Max.	-332	-27	-513	1,54
	1-4 верх. лѣв.	-57	+121	-375	+64	-432	+129	-802	1,86	
	3-4 ниж. лѣв.	-43	+306	-297	+263	-340	+254	-517	1,52	
	3-6 верх. лѣв.	-45	+221	-414	+176	-459	+160	-567	1,23	
	5-6 ниж. лѣв.	-41	+301	-355	+260	-396	+213	-469	1,18	
	5-8 верх. лѣв.	-42	+283	-394	+241	-436	+223	-555	1,27	

а инволюнтная линия изображены на V листѣ чертежей. Каждый элемент рассматривался въ сабующих двух случаях нагрузки:

Случай № 18. При равномерной нагрузкѣ, составляющей по 1 т. на каждый узелъ верхняго пояса, определены основные напряжения n_p и полныя напряжения N_p . Соответствующія этому случаю отношенія $\frac{N_p}{n_p}$ остаются одинаковыми для любого равномернаго загрузенія всей фермы.

Случай № 18 а. Для совместнаго дѣйствія постоянной и временной сосредоточенной нагрузки рассчитаны наибольшія основные напряжения max n и наибольшія полныя напряжения max N, причемъ для каждаго изъ нихъ определялось невыгоднѣе расположеніе поезда.

Какъ усматривается изъ первой таблицы примѣра № 18 отношенія $\frac{N}{n}$ для поясовъ, соответствующія случаямъ № 18 и № 18 а, мало разнятся между собой. Наибольшія дополнительныя напряжения, выраженные въ % отъ наибольшихъ основныхъ напряженій max n составляютъ: для поясовъ около опоръ отъ 27 до 42%, для поясовъ вблизи середины пролета отъ 5 до 7%, для раскосовъ около опоръ отъ 52 до 86%, для раскосовъ около середины пролета отъ 18 до 27%. Также какъ въ примѣрѣ № 17 отношенія $\frac{N}{n}$ для поясовъ значительно больше вблизи опоръ, чѣмъ около середины пролета. Дополнительныя напряжения поясовъ вблизи опоръ получились даже больше чѣмъ въ фермахъ съ параллельными поясами. Это явление объясняется тѣмъ, что въ примѣрѣ № 18 пояса имѣютъ сравнительно съ длиною панели большую ширину²⁹⁾, такъ что ихъ отношенія $\frac{l}{l_0}$ гораздо значительнѣе, чѣмъ въ примѣрахъ, послужившихъ для построенія диаграммы № 1 зависимости между $\frac{N}{n}$ и $\frac{l}{l_0}$. Что же касается дополнительныя напряженія поясовъ вблизи середины пролета, то они меньше чѣмъ для фермъ съ параллельными поясами.

Изгибъ поясовъ между узлами преимущественно простой (C), а раскосовъ — преимущественно двойной (S).

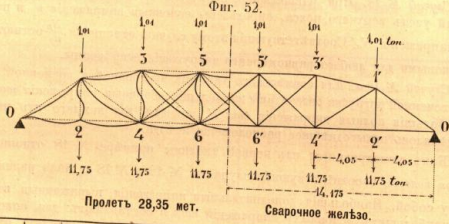
Вопросъ о невыгоднѣйшихъ для полныхъ напряженій N положеніяхъ временной нагрузки рѣшается очень просто изъ сравненія между собой инволюнтныхъ линий полныхъ и основныхъ напряженій каждаго элемента (см. V листѣ чертежей). Имѣя въ виду, что въ верхнемъ поясѣ опаснѣе волокономъ является верхнее, а въ нижнемъ поясѣ — нижнее волокно, и сравняя инволюнтныя линіи полныхъ напряженій этихъ волоконъ съ инволюнтными линіями основныхъ напряженій, нельзя не замѣтить большого сходства между ними. Обѣ линіи не являютъ знака на всемъ протяженіи пролета, такъ что наибольшія полныя и наибольшія основные напряженія отъ равномерной нагрузки соответствуютъ случаю загрузенія всего пролета.

При расчетѣ напряженій N и n по сосредоточеннымъ грузамъ невыгоднѣйшія положенія грузовъ будутъ немного различаться въ зависимости отъ очертанія инволюнтныхъ линій этихъ напряженій. Сравненія отношенія $\frac{N_p}{n_p}$ и $\frac{\text{max } N}{\text{max } n}$, приведенныя въ таблицѣ на стр. 64 и соответствующія случаямъ

²⁹⁾ Вертикальнымъ листамъ верхняго пояса, работающаго на мѣстныхъ изгибахъ, придае значительная высота съ тѣмъ, чтобы увеличить моментъ сопротивленія сѣченія.

Примѣръ № 19.

Фиг. 52.



Пролетъ 28,35 мет.

Сварочное желѣзо.

№ элемента.	ω brutto см.²	I brutto см.⁴	I в см.	Направл. волово.	ε см.	Напряжен. н знак $\frac{N}{\omega}$ т/см.²	I $\frac{N}{\sigma}$	Сѣченія.	
									Размѣры въ см.
Верхній поясъ.									
0-1	94	492	493	19	верх.	9,5 - 717	1,08	52	
1-3	130	6856	411	20	верх.	5,3 - 575	1,07	78	
3-5	130	6856	405	20	верх.	5,3 - 684	1,08	76	
5-7	130	6856	405	20	верх.	5,3 - 682	1,08	76	
Нижній поясъ.									
0-2	91,5	3770	405	22	ниж.	14,3 + 625	1,21	28	
2-4	91,5	3770	405	22	ниж.	14,3 + 604	1,22	28	
4-6	114	4879	405	23	ниж.	15 + 650	1,21	27	
6-9	138	6940	405	23	ниж.	13,6 + 646	1,15	30	
Раскосы.									
1-4	45,5	1160	493	17,5	-	8,8 + 499	1,10	28	
3-6	45,5	1160	535	17,5	-	8,8 + 433	1,13	31	
5-8	24	220	535	10,5	-	5,3 - 14	2,93	51	
Стойки.									
1-2	96	783	281	16,6	-	8,3 + 122	2,73	17	
3-4	96	783	350	16,6	-	8,3 - 15	9,33	21	
5-6	96	783	350	16,6	-	8,3 - 8	12,50	21	

*) Дополнительные напряжения рассчитаны для I brutto.

равномерной и невыгоднѣйшей нагрузки, усматривается, что наибольшая разница между этими значеніями для поясовъ составляетъ 6%.

Для раскосовъ взаимонѣныя линіи полныхъ и основныхъ напряженій также имѣютъ одинаковый характеръ; поэтому при расчетѣ по равномернымъ нагрузкамъ можно съ достаточной точностью принять, что наибольшія полныя и наибольшія основныя напряжения раскосовъ соответствуютъ одинаковому положенію временной нагрузки.

Примѣръ № 19 (фиг. 52). Ферма системы Шведлера для желѣзнодорожнаго моста пролетомъ 28,35 м. (Wathebrücke bei Custrin, чертежи см. Heinzerling, Brücken der Gegenwart, III Heft, Taf. 3). Въ основаніе расчета положены случай полной, равномерной нагрузки фермы, составляющей по 11,75 т. на каждый узелъ нижняго и по 1,01 т. на каждый узелъ верхняго пояса. Расчетъ дополнительныхъ напряженій произведенъ въ предположеніи, что моменты инерціи раскосовъ и стоекъ = 0, такъ что въ каждомъ узлѣ дополнительные моменты смежныхъ поясовъ равны между собой. Изгибъ поясовъ и раскосовъ получился преимущественно простой (∪), стойкамъ же соответствуетъ исключительно двойной (∞) изгибъ. Опасными волоками являются для верхняго пояса—верхнее, а для нижняго пояса—нижнее волоко. Въ нижнемъ поясѣ нейтральная ось расположена ближе къ верхнему краю вертикальныхъ листовъ, такъ что нижнимъ волокнамъ соответствуютъ большія дополнительныя напряжения, чѣмъ при обычныхъ типахъ сѣченій. Этимъ объясняются значительныя дополнительныя напряжения нижняго пояса, составляющія 15 до 22% отъ основныхъ напряженій, между тѣмъ какъ въ верхнемъ поясѣ они составляютъ лишь 7 до 8%. Въ раскосахъ и стойкахъ дополнительныя напряжения незначительны.

*) Ritter, Graphische Statik, II Teil.

III ОТДѢЛЪ.

Подробный расчетъ двухраскосной фермы моста пролетомъ 20 саж.

§ 18. Описание фермъ моста.

Верхнее строение железнодорожного моста съ каждой по низу состоитъ изъ металлической пролѣзной части и двухъ статически неопредѣлимыхъ двухраскосныхъ фермъ съ параллельными поясами. (См. фиг. 53).

Свѣченія всехъ элементовъ показаны на страницѣ 76. Пояса имѣютъ тавровыя свѣченія, а стойки — крестообразныя; раскосы вблизи опоръ устроены изъ полосоваго желѣза, а четыре среднихъ раскоса изъ угловъ. Раскосы и стойки соединены съ поясами при помощи узловыхъ вставокъ, позволяющихъ измѣнять высоту вертикальнаго лага поясовъ и тѣмъ избѣгать вѣдцентренности прикрѣпленія поясовъ въ узлахъ.

Данная для расчета:

- Отверстие моста 20 саж.
- Расчетный пролетъ $l = 44,576$ м.
- Число павелей $m = 10$.
- Длина павели $d = 4,458$ м.
- Высота фермы $h = 7,315$ м.
- Расстояние между осями фермъ $= 5,34$ м.

Постоянная нагрузка моста составляетъ на каждый узелъ нижняго пояса по 6,22 Т.

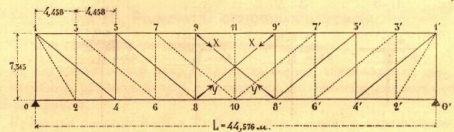
Временная нагрузка принята согласно циркуляру М. П. С. за № 753 отъ 1896 г. въ видѣ поезда изъ двухъ паровозовъ и груженыхъ вагоновъ.

Материалы. Верхнее строение проектировано изъ литого желѣза съ коэффициентомъ упругости $E = 215000 \frac{\text{кг.}}{\text{см.}^2}$.

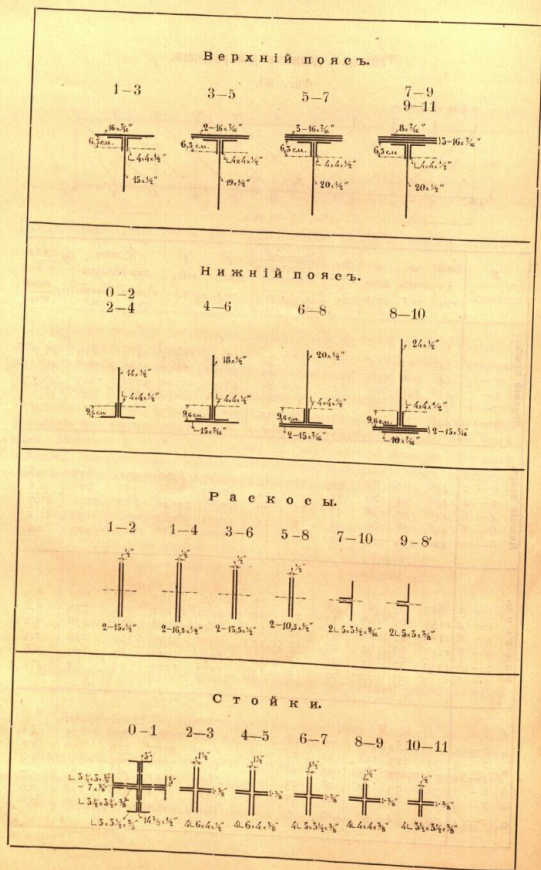
Всѣ данныя относительно свѣчений элементовъ фермы приведены къ таблицѣ I.

Таблица I данныхъ для расчета.

Фиг. 53.



№ элемента.	Длина I см.	ω brutto см. ²	ω netto см. ²	Ширина b см.	Расстоянія до крайнихъ положеній.		I brutto см. ⁴	I netto см. ⁴	W ² netto для волока		N = $\frac{2EI}{l}$ тонна на 100 метр.	
					a_1 см.	a_2 см.			правата см. ²	лѣваго см. ²		
Верхній поясъ.												
1—3	446	142	121	39	7	32	17124	16932	2419	529	16,5	
3—5	446	200	172	50	8	42	37397	36867	4608	878	36,1	
5—7	446	249	209	54	9	45	48395	47100	5233	1047	46,7	
7—9	446	271	227	55	11	45	50685	42365	3851	941	48,9	
9—11	446	271	227	55	11	45	50685	42365	3851	941	48,9	
Нижній поясъ.												
0—2	446	94	80	35	10	25	10127	8266	331	827	9,8	
2—4	446	94	80	35	10	25	10127	8266	331	827	9,8	
4—6	446	149	128	47	11	36	27675	24540	682	2231	26,7	
6—8	446	198	166	53	12	41	42964	38582	936	3199	41,4	
8—10	446	239	201	64	13	51	85505	72788	1427	5599	82,4	
Раскосы.												
1—2	857	97	91	38	19	19	11796	11392	600	600	5,9	
1—4	1153	107	100	42	21	21	15579	15172	722	722	5,8	
3—6	1153	87	81	34	17	17	8542	8098	476	476	3,2	
5—8	1153	68	62	27	13,5	13,5	4029	3199	237	237	1,5	
7—10	1153	57	51	26	13	13	2039	1940	149	149	0,8	
9—8	1153	37	32,5	25	13	13	1286	1220	94	94	0,5	
Стойки.												
0—1	731	264	219	36	18	18	21800	15750	лѣваго 87,5	правата 87,5	12,8	
2—3	731	123	112	31	16	16	6520	4962	310	310	3,8	
4—5	731	93	85	31	16	16	4936	3752	235	235	2,9	
6—7	731	79	70	26	13	13	2890	2151	165	165	1,7	
8—9	731	74	66	21	11	11	1552	1294	118	118	0,9	
10—11	731	64	56	19	9	9	1066	864	96	96	0,6	



Г Л А В А I.

Расчет основных напряжений по способу наименьшей работы деформации.

§ 19. Расчет основных усилий.

(В предположении шарнирных узлов).

В виду статической неопределимости фермы, заключающей два линейных элемента, расчет усилий производится по способу наименьшей работы деформации.

Принимая раскосы 8-9' и 9-8' за *лишние* элементы, нарушающие статическую определенность фермы, замкнем каждый из них двумя внешними силами x , x и y , y , действующими как показано в фиг. 53, и равными неизвестным усилиям этих раскосов. Оставшиеся *необходимые* элементы образуют статически определенную ферму, подверженную действию нагрузки и внешних сил x и y ; так что нетрудно определить величину неизвестных сил x и y из условия, чтобы работа деформации фермы имела наименьшее значение. Для этого рассчитываем усилия S необходимых элементов от действия нагрузки фермы и внешних сил x и y . Эти усилия получаются в виде функций от неизвестных сил x и y , например для $n^{\text{го}}$ элемента

$$S_n = N_n + (U_x)_n + (U_y)_n \dots 23$$

где N_n равно усилию от внешней нагрузки, а $(U_x)_n$ и $(U_y)_n$ равны усилиям от сил x и y .

Предположим, что до нагружения фермы напряжения всех элементов равны нулю и что первоначальная температура остается постоянной, так что изменения длин частей составляют $\lambda = \frac{SI}{E \cdot \omega}$ и будем пренебрегать трением на опорах, вследствие чего работа опорных реакций равна нулю, тогда основное уравнение для работы внутренних сил фермы будет $A = \frac{1}{2} \sum \frac{S^2 I}{E \cdot \omega}$, где S представляют, как указано выше, функции от независимых переменных x и y . Значения последних определяются из условия $A = \text{Min}$. Приравняв нулю производные работы A по каждому из неизвестных x и y , получим два уравнения

$$\sum \frac{SI}{\omega} \frac{dS}{dx} = 0 \dots 24$$

$$\sum \frac{SI}{\omega} \frac{dS}{dy} = 0 \dots 25$$

причем суммирование распространяется на все *необходимые* элементы фермы. Этих уравнений достаточно для определения неизвестных x и y .

Расчет основных усилий помещен в таблицах II до XI и произведен для 5 разных случаев нагрузки с тем, чтобы построить независимые линии напряжений для всех элементов. Пяти указанным случаям нагрузки соответствует положение груза—1 попеременно в узлах 2, 4, 6, 8 и 10. Расчет усилий N , U_x , U_y и S , согласно уравнению 23, помещен в таблицу II.

Таблица II основных усилий U, N и S.

№ элем-та.	Усилия U _x и U _y вызываемые силой U		Усилия N _x вызываемые силой U					Полюсы при P=1	
	в плоскости элементу U-x или U _x	в плоскости элементу U-y или U _y	ностр удалений лишних элементов груза P=1 приложенным в узлы:						
			2	4	6	8	10		
Верхний поясок	1-3	-0,387x	+0,387y	-0,548	-1,096	-0,426	-0,974	-0,305	-0,548-0,387x+0,387y
	3-5	+0,387x	-0,387y	-0,426	-0,853	-1,279	-0,487	-0,913	-0,426-0,387x-0,387y
	5-7	+0,387x	-0,387y	-0,426	-0,853	-1,279	-1,705	-0,913	-0,426-0,387x-0,387y
	7-9	+0,387x	-0,387y	-0,305	-0,609	-0,913	-1,218	-1,523	-0,305-0,387x-0,387y
	9-11	+0,387x	-0,387y	-0,305	-0,609	-0,913	-1,218	-1,523	-0,305-0,387x-0,387y
	11-9'	-0,387x	+0,387y	-0,305	-0,609	-0,913	-1,218	-1,523	-0,305-0,387x-0,387y
	9'-7'	-0,387x	+0,387y	-0,305	-0,609	-0,913	-1,218	-1,523	-0,305-0,387x-0,387y
	7'-5'	+0,387x	-0,387y	-0,183	-0,365	-0,548	-0,731	-0,913	-0,183-0,387x-0,387y
	5'-3'	+0,387x	-0,387y	-0,183	-0,365	-0,548	-0,731	-0,913	-0,183-0,387x-0,387y
	3'-1'	+0,387x	-0,387y	-0,061	-0,122	-0,183	-0,244	-0,305	-0,061-0,387x-0,387y
Нижний поясок	0-2	0	0	0	0	0	0	0	
	2-4	-0,387x	+0,387y	+0,548	-1,096	-0,426	-0,344	+0,305	+0,548-0,387x+0,387y
	4-6	+0,387x	-0,387y	+0,548	-1,096	-0,426	-0,974	+0,305	+0,548-0,387x-0,387y
	6-8	+0,387x	-0,387y	+0,426	-0,853	-1,279	-0,487	+0,913	+0,426-0,387x+0,387y
	8-10	+0,387x	-0,387y	+0,426	-0,853	-1,279	-1,705	+0,913	+0,426-0,387x-1,161y
Раскосы	10-8'	+1,161x	+0,387y	+0,183	+0,365	+0,548	+0,305	+0,913	+0,183-1,161x+0,387y
	8'-6'	+0,387x	+0,387y	+0,061	+0,122	+0,183	+0,122	+0,305	+0,061-0,387x+0,387y
	6'-4'	+0,387x	+0,387y	0	0	0	0	0	0
	4'-2'	+0,387x	+0,387y	0	0	0	0	0	0
	2'-0'	+0,387x	+0,387y	0	0	0	0	0	0
Раскосы	1-2	-0,745x	+0,745y	+1,055	-0,234	+0,820	-0,469	+0,586	+1,055-0,745x+0,745y
	2-3	+x	-y	0	+1,573	0	+1,573	0	+x-y
	3-4	+x	-y	-0,157	+0,315	+1,101	-0,629	+0,786	+1,101-x+y
	4-5	+x	-y	-0,157	+0,315	+1,101	-0,629	+0,786	+1,101-x+y
	5-6	+x	-y	-0,157	+0,315	+1,101	-0,629	+0,786	+1,101-x+y
	6-7	+x	-y	-0,157	+0,315	+1,101	-0,629	+0,786	+1,101-x+y
	7-8	+x	-y	-0,157	+0,315	+1,101	-0,629	+0,786	+1,101-x+y
	8-9	+x	-y	-0,157	+0,315	+1,101	-0,629	+0,786	+1,101-x+y
	9-10	+x	-y	-0,157	+0,315	+1,101	-0,629	+0,786	+1,101-x+y
	10-11	+x	-y	-0,157	+0,315	+1,101	-0,629	+0,786	+1,101-x+y
Столбы	0-1	0	0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,9+0+0
	1-2	+0,634x	+0,634y	+0,1	+0,2	-0,7	+0,4	-0,5	+0,1+0,634x+0,634y
	2-3	+0,634x	+0,634y	0	0	0	1,0	-0,5	0-0,634x+0,634y
	3-4	+0,634x	+0,634y	0	0	0	0	-0,5	0-0,634x+0,634y
	4-5	+0,634x	+0,634y	0	0	0	0	0	0-0,634x+0,634y
	5-6	+0,634x	+0,634y	0	0	0	0	0	0-0,634x+0,634y
	6-7	+0,634x	+0,634y	0	0	0	0	0	0-0,634x+0,634y
	7-8	+0,634x	+0,634y	0	0	0	0	0	0-0,634x+0,634y
	8-9	+0,634x	+0,634y	0	0	0	0	0	0-0,634x+0,634y
	9-10	+0,634x	+0,634y	0	0	0	0	0	0-0,634x+0,634y

Усилия S = N_x + (U_x)_h + (U_y)_h в положении груза P=1 в узлах:

4	6	8	10
-1,096-0,387x+0,387y	-0,426-0,387x+0,387y	-0,974-0,387x+0,387y	-0,305-0,387x+0,387y
-0,853-0,387x-0,387y	-1,279-0,387x-0,387y	-0,487-0,387x-0,387y	-0,913-0,387x-0,387y
-0,609-0,387x-0,387y	-0,913-0,387x-0,387y	-1,218-0,387x-0,387y	-1,523-0,387x-0,387y
-0,609-0,387x-0,387y	-0,913-0,387x-0,387y	-1,218-0,387x-0,387y	-1,523-0,387x-0,387y
-0,609-0,387x-0,387y	-0,913-0,387x-0,387y	-1,218-0,387x-0,387y	-1,523-0,387x-0,387y
-0,609-0,387x-0,387y	-0,913-0,387x-0,387y	-1,218-0,387x-0,387y	-1,523-0,387x-0,387y
-0,609-0,387x-0,387y	-0,913-0,387x-0,387y	-1,218-0,387x-0,387y	-1,523-0,387x-0,387y
-0,609-0,387x-0,387y	-0,913-0,387x-0,387y	-1,218-0,387x-0,387y	-1,523-0,387x-0,387y
-0,122-0,387x-0,387y	-0,183-0,387x-0,387y	-0,244-0,387x-0,387y	-0,305-0,387x-0,387y
0	0	0	0
+1,096+0,387x-0,387y	+0,426+0,387x-0,387y	+0,974+0,387x-0,387y	+0,305+0,387x+0,387y
+0,853-0,387x+0,387y	+1,279+0,387x+0,387y	+0,487-0,387x+0,387y	+0,913-0,387x+0,387y
+0,853-0,387x+0,387y	+1,279+0,387x+0,387y	+0,487-0,387x+0,387y	+0,913-0,387x+0,387y
+0,853-0,387x+0,387y	+1,279+0,387x+0,387y	+0,487-0,387x+0,387y	+0,913-0,387x+0,387y
+0,305-1,161x+0,387y	+0,548-1,161x+0,387y	+0,305-1,161x+0,387y	+0,013-1,161x+0,387y
+0,305+0,387x-0,387y	+0,548+0,387x-0,387y	+0,305+0,387x-0,387y	+0,013+0,387x-0,387y
+0,122-0,387x+0,387y	+0,183-0,387x+0,387y	+0,122-0,387x+0,387y	+0,305-0,387x+0,387y
+0,122+0,387x-0,387y	+0,183+0,387x-0,387y	+0,122+0,387x-0,387y	+0,305+0,387x-0,387y
0	0	0	0
-0,234-0,745x+0,745y	+0,820-0,745x+0,745y	-0,469-0,745x+0,745y	+0,586-0,745x+0,745y
+1,573x-y	+1,573x-y	+1,573x-y	+1,573x-y
-0,315-x+y	+1,101-x+y	-0,629-x+y	+0,786-x+y
-0,315-x+y	+1,101-x+y	-0,629-x+y	+0,786-x+y
-0,315-x+y	+1,101-x+y	-0,629-x+y	+0,786-x+y
-0,315-x+y	+1,101-x+y	-0,629-x+y	+0,786-x+y
-0,315-x+y	+1,101-x+y	-0,629-x+y	+0,786-x+y
-0,315-x+y	+1,101-x+y	-0,629-x+y	+0,786-x+y
-0,315-x+y	+1,101-x+y	-0,629-x+y	+0,786-x+y
-0,315-x+y	+1,101-x+y	-0,629-x+y	+0,786-x+y
-0,315-x+y	+1,101-x+y	-0,629-x+y	+0,786-x+y
+0,234+0,745x-0,745y	+0,352+0,745x-0,745y	+0,469+0,745x-0,745y	+0,586+0,745x-0,745y
-0,8+0+0	-0,7+0+0	-0,6+0+0	-0,5+0+0
+0,2+0,634x-0,634y	-0,7+0,634x-0,634y	+0,4+0,634x-0,634y	-0,5+0,634x-0,634y
0-0,634x+0,634y	0-0,634x+0,634y	-1,0-0,634x+0,634y	0-0,634x+0,634y
+0,2+0,634x-0,634y	+0,3-0,634x-0,634y	+0,4+0,634x-0,634y	-0,5+0,634x-0,634y
0-0,634x+0,634y	0-0,634x+0,634y	0-0,634x+0,634y	0-0,634x+0,634y
0+0-0,634y	0+0-0,634y	0+0-0,634y	0+0-0,634y
-0,2-0,634x+0,634y	-0,3-0,634x+0,634y	-0,4-0,634x+0,634y	-0,5-0,634x+0,634y
+0,634x-0,634y	+0,634x-0,634y	+0,634x-0,634y	+0,634x-0,634y
-0,2-0,634x+0,634y	-0,3-0,634x+0,634y	-0,4-0,634x+0,634y	-0,5-0,634x+0,634y
-0,2+0+0	-0,3+0+0	-0,4+0+0	-0,5+0+0

Таблица III.

№ элемента.	$\frac{l}{\omega} \frac{dS}{dx} = A.$	$A \cdot N_n = \frac{l}{\omega} \frac{dS}{dx} N_n$, где N_n — условн. элемента при положении груза в узле.					$B = A[(U_x) + (U_y)]_n = \frac{l}{\omega} \frac{dS}{dx} [(U_x) + (U_y)]_n$	
		2	4	6	8	10	x	y
Верхний пояс.								
1-3	-1,215	+0,666	+1,232	+0,518	+1,183	+0,371	+0,470	-0,470
3-5	+0,862	-0,368	-0,736	-1,104	-0,420	-0,788	+0,334	-0,334
5-7	-0,693	+0,295	+0,591	+0,886	+1,282	+0,653	+0,268	-0,268
7-9	+0,537	-0,194	-0,388	-0,582	-0,776	-0,970	+0,247	-0,247
9-11	-0,371	+0,194	+0,388	+0,582	+0,776	+0,970	+0,247	+0,247
11-9'	+0,371	-0,194	-0,388	-0,582	-0,776	-0,970	+0,247	-0,247
9'-7'	-0,371	+0,194	+0,388	+0,582	+0,776	+0,970	+0,247	+0,247
7'-5'	+0,693	-0,295	-0,591	-0,886	-1,282	-0,653	+0,268	-0,268
5'-3'	-0,862	+0,368	+0,736	+1,104	+0,420	+0,788	-0,334	+0,334
3'-1	+1,215	-0,666	-1,232	-0,518	-1,183	-0,371	-0,470	+0,470
Σ		+0,938	+1,877	+1,335	+3,425	+1,940	+3,132x	-2,144y
Нижний пояс.								
0-2	0	0	0	0	0	0	0	0
2-4	-1,836	-1,006	+0,224	-0,782	+0,032	-0,560	+0,710	-0,710
4-6	+1,159	+0,035	+1,270	+0,494	+1,120	+0,253	+0,448	-0,448
6-8	-0,871	-0,371	-0,743	-1,114	-0,424	-0,795	+0,337	-0,337
8-10	+0,722	+0,368	+0,610	+0,902	+1,231	+0,059	+0,279	-0,279
10-8'	-2,166	-0,390	-0,791	-1,187	-0,791	-1,978	-2,315	-0,838
8'-6'	+0,871	+0,159	+0,318	+0,477	+0,318	+0,795	+0,337	-0,337
6'-4'	-1,159	-0,071	-0,142	-0,213	-0,142	-0,353	+0,448	-0,448
4'-2'	+1,836	+0,112	+0,224	+0,336	+0,224	+0,560	+0,710	-0,710
2'-0'	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ		-0,630	+0,976	-1,066	+2,197	-1,319	+5,784x	-4,666y
Равновесие.								
1-2	-6,582	-6,944	+1,540	-5,397	+3,687	-3,857	+4,994	-4,994
1-4	+10,776	0	+16,951	0	+16,951	0	+10,776	-10,776
3-6	-13,253	+2,081	0	-14,592	+8,336	-10,417	+13,253	-13,253
5-8	+16,956	0	0	0	0	0	+16,956	-16,956
7-10	-20,228	+3,176	+6,372	-9,548	+12,723	-15,899	+20,228	-20,228
9-8'	-31,162	0	0	0	0	0	-31,162	31,162
9'-8'	0	0	0	0	0	0	0	0
9'-10'	+20,228	+3,176	+6,372	-9,548	+12,723	-15,899	+20,228	-20,228
5'-8'	-16,956	0	0	0	0	0	-16,956	16,956
3'-6'	+13,253	+2,081	+4,175	+6,255	+8,336	+10,417	+13,253	-13,253
1'-4'	-10,776	0	0	0	0	0	-10,776	10,776
1'-2'	+6,582	+0,770	+1,540	+2,317	+3,087	+3,857	+6,582	-6,582
Σ		+6,618	+41,125	+7,670	+91,915	0	+163,396x	-132,234y
Стойки.								
0-1	0	0	0	0	0	0	0	0
2-3	+3,768	+0,377	+0,754	-2,038	+1,507	-1,884	+2,389	-2,389
4-5	-4,983	0	0	0	0	0	+3,159	-3,159
6-7	+5,866	+0,587	+1,173	+1,760	+2,346	+2,933	+3,719	-3,719
8-9	-6,203	0	0	0	0	0	+3,971	-3,971
10-11	0	0	0	0	0	0	0	0
9'-10'	0	0	0	0	0	0	0	0
8'-9'	+5,866	+0,587	+1,173	+1,760	+2,346	+2,933	+3,719	-3,719
4'-5'	-4,983	0	0	0	0	0	+3,159	-3,159
2'-3'	+3,768	+0,377	+0,754	-2,038	+1,507	-1,884	+2,389	-2,389
0'-1'	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ		+1,028	+3,854	+2,012	+12,689	0	+22,505x	-18,534y

Таблица IV для расчета усилий x и y из производных работы по x .

	ΣB	$\Sigma N_n A$ при дйствии груза = 1 на узлы:				
		2	4	6	8	10
Верхний пояс	+ 3,132x - 2,144y	+0,938	+1,877	+1,335	+3,425	+1,940
Нижний пояс	+ 5,784x - 4,666y	-0,630	+0,976	-1,066	+2,197	-1,319
Раскосы	+163,396x - 132,234y	+6,618	+41,125	+7,670	+91,915	0
Стойки	+ 22,505x - 18,534y	+1,928	+3,854	+2,012	+12,689	0
Σ	+194,817x - 157,578y	+8,854	+47,832	+9,960	+110,226	+0,621
	$ax + by$	e				

Таблица IV_a для расчета усилий x и y из производных работы по y .

	$\Sigma B'$	$\Sigma N_n A'$ при дйствии груза = 1 на узлы:				
		2	4	6	8	10
Верхний пояс	- 2,144x + 3,132y	-0,162	-0,325	+0,993	-0,321	+1,940
Нижний пояс	+ 4,666x - 5,784y	+0,250	-2,730	+1,571	-5,186	-1,319
Раскосы	-132,234x + 163,396y	-6,618	-41,125	-7,670	-91,915	0
Стойки	- 18,534x + 22,505y	-1,928	-3,854	-2,012	-12,689	0
Σ	-157,578x + 194,817y	-8,958	-48,040	-10,269	-110,111	+0,621
	$b'x + a'y$	d				

Таблица V для расчета x и y при положениях груза $P=1$ вь узле *):

	2	4	6	8	10
d	- 8,958	- 48,040	- 10,269	- 110,111	- 0,621
$b d$	+141,584	+7570,047	+1618,168	+17351,071	- 97,856
$a e$	+1724,010	+9318,487	+1040,357	+21472,869	+120,981
e	+ 8,854	+ 47,832	+ 9,960	+ 110,226	+ 0,621
$b d - a e$	- 313,226	-1748,440	- 322,209	- 4122,828	-218,837
$x = \frac{b d - a e}{a^2 - b^2}$	- 0,02388	- 0,13324	- 0,02455	- 0,31417	- 0,01668
e	+ 8,854	+ 47,832	+ 9,960	+ 110,226	+ 0,621
$b e$	-1395,196	-7537,271	-1569,477	-17369,193	- 97,856
$a d$	-1745,171	-9350,010	-2000,576	-21451,495	+120,981
d	- 8,958	- 48,040	- 10,269	- 110,111	- 0,621
$b e - a d$	+ 349,975	+ 1821,739	+ 431,999	+ 4082,302	-218,837
$y = \frac{b e - a d}{a^2 - b^2}$	+ 0,02667	+ 0,13882	+ 0,03285	+ 0,31108	- 0,01668

*) Примьчание: $a = +194,817$; $b = -157,578$; $a^2 = 37953,663$; $b^2 = 24830,826$; $a^2 - b^2 = 13122,837$.

Таблица VI полных ускорений S в верхнем поясе при положениях груза P=1 в узлах:

Верхний пояс	2			4			6			8			10			
	1-3	3-5	5-7	1-3	3-5	5-7	1-3	3-5	5-7	1-3	3-5	5-7	1-3	3-5	5-7	
1-3	-0,548+0,009+0,010	-0,529	-1,096+0,052+0,054	-0,999	-0,426+0,010+0,013	-0,403	-0,974+0,122+0,120	-0,732	-0,305+0,006+0,006	-0,305	-1,279+0,010+0,013	-1,302	-0,487+0,122+0,120	-0,720	-0,319+0,006+0,006	-0,913
3-5	-0,426+0,009+0,010	-0,445	-0,853+0,052+0,054	-0,985	-1,279+0,010+0,013	-1,256	-1,705+0,122+0,120	-1,463	-0,319+0,006+0,006	-0,913	-0,913+0,010+0,013	-0,916	-1,218+0,122+0,120	-1,460	-1,523+0,006+0,006	-1,523
5-7	-0,305+0,009+0,010	-0,324	-0,609+0,052+0,054	-0,715	-0,913+0,010+0,013	-0,916	-1,218+0,122+0,120	-1,216	-1,523+0,006+0,006	-1,511						
9-11	-0,305+0,009+0,010	-0,306	-0,609+0,052+0,054	-0,611												
9-11	-0,305+0,009+0,010	-0,286	-0,609+0,052+0,054	-0,593												
7-9	-0,183+0,009+0,010	-0,202	-0,365+0,052+0,054	-0,471												
5-7	-0,183+0,009+0,010	-0,164	-0,365+0,052+0,054	-0,259												
3-5	-0,061+0,009+0,010	-0,080	-0,122+0,052+0,054	-0,228												
1-3																
	$x = -0,023 \ 88$ $y = +0,026 \ 67$			$x = -0,133 \ 24$ $y = +0,138 \ 82$			$x = -0,024 \ 55$ $y = +0,032 \ 85$			$x = -0,314 \ 17$ $y = +0,311 \ 08$			$x = -0,016 \ 68$ $y = -0,016 \ 68$			

Таблица VII полных ускорений S в нижнем поясе при положениях груза P=1 в узлах:

Нижний пояс	2			4			6			8			10			
	0-2	2-4	4-6	0-2	2-4	4-6	0-2	2-4	4-6	0-2	2-4	4-6	0-2	2-4	4-6	
0-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2-4	+0,548+0,009+0,010	0	-0,122+0,052+0,054	-0,016	+0,426+0,010+0,013	+0,449	-0,344+0,122+0,120	-0,102	+0,305+0,006+0,006	+0,305	+0,426+0,010+0,013	+0,403	-0,974+0,122+0,120	+0,732	+0,305+0,006+0,006	+0,305
4-6	+0,426+0,009+0,010	+0,529	+1,006+0,052+0,054	+0,990	+1,279+0,010+0,013	+1,302	+0,487+0,122+0,120	+0,720	+0,913+0,006+0,006	+0,913	+1,279+0,010+0,013	+1,256	+1,705+0,122+0,120	+1,463	+0,913+0,006+0,010	+0,926
6-8	+0,426+0,009+0,010	+0,445	+0,853+0,052+0,054	+0,959												
8-10	+0,426+0,009+0,010	+0,386	+0,853+0,052+0,102	+0,699												
8-10	+0,183+0,028+0,010	+0,221	+0,365+0,155+0,054	+0,574												
6-8	+0,183+0,009+0,010	+0,164	+0,365+0,052+0,054	+0,259												
4-6	+0,061+0,009+0,010	+0,080	+0,122+0,052+0,054	+0,228												
2-4	+0,061+0,009+0,010	+0,042	+0,122+0,052+0,054	+0,016												
0-2		0	0	0												
	$x = -0,023 \ 88$ $y = +0,026 \ 67$			$x = -0,133 \ 24$ $y = +0,138 \ 82$			$x = -0,024 \ 55$ $y = +0,032 \ 85$			$x = -0,314 \ 17$ $y = +0,311 \ 08$			$x = -0,016 \ 68$ $y = -0,016 \ 68$			

Таблица VIII полных усилий Z в раскосах при положении груза P=1 в узлах:

Положение груза	2				4				6				8				10			
	1-2	1-4	3-6	5-8	7-10	9-8'	7-10	5-8	3-6	1-4	1-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-2	+1,055	+0,018	+0,020	0	-0,234	+0,099	+0,103	-0,032	+0,820	+0,018	+0,025	+0,863	-0,469	+0,234	+0,232	-0,003	+0,586	+0,012	-0,012	+0,586
1-4	0	-0,024	-0,027	-0,051	+1,573	-0,133	-0,139	+1,301	0	-0,025	-0,033	-0,058	+1,573	-0,314	-0,311	+0,948	0	-0,017	-0,017	0
3-6	-0,157	+0,024	+0,027	-0,106	-0,315	+0,133	+0,139	-0,043	+1,101	+0,025	+0,033	+1,150	-0,629	+0,314	+0,311	-0,004	+0,786	+0,017	-0,017	+0,786
5-8	0	-0,024	-0,027	-0,051	0	-0,133	-0,139	-0,272	0	-0,025	-0,033	-0,058	+1,573	-0,314	-0,311	+0,948	0	-0,017	-0,017	0
7-10	-0,157	+0,024	+0,027	-0,106	-0,315	+0,133	+0,139	-0,043	-0,472	+0,025	+0,033	-0,414	-0,629	+0,314	+0,311	-0,004	+0,786	+0,017	-0,017	+0,786
9-8'	0	-0,024	0	-0,024	0	-0,133	0	-0,133	0	-0,025	0	-0,025	0	-0,314	0	-0,314	0	-0,017	0	-0,017
9-8'	0	0	+0,027	+0,027	0	0	+0,139	+0,139	0	+0,033	+0,033	0	0	+0,311	+0,311	0	0	0	0	0
7-10	+0,157	-0,024	-0,027	+0,106	+0,315	-0,133	-0,139	+0,043	+0,472	-0,025	-0,033	+0,414	+0,629	-0,314	-0,311	-0,004	0	-0,017	-0,017	0
5-8	0	+0,024	+0,027	+0,051	0	+0,133	+0,139	+0,272	0	+0,025	+0,033	+0,058	0	+0,314	+0,311	+0,004	0	0	0	0
3-6	+0,157	-0,024	-0,027	+0,106	+0,315	-0,133	-0,139	+0,043	+0,472	-0,025	-0,033	+0,414	+0,629	-0,314	-0,311	-0,004	0	-0,017	-0,017	0
1-4	0	+0,024	+0,027	+0,051	0	+0,133	+0,139	+0,272	0	+0,025	+0,033	+0,058	0	+0,314	+0,311	+0,004	0	0	0	0
1-2	+0,117	-0,018	-0,020	+0,079	+0,234	-0,099	-0,103	+0,032	+0,352	-0,018	-0,025	+0,309	+0,469	-0,234	-0,232	+0,003	0	0	0	0
	x = -0,023 88 y = +0,026 67				x = -0,133 24 y = +0,138 82				x = -0,024 55 y = +0,032 85				x = -0,314 17 y = +0,311 08				x = -0,016 68 y = -0,016 68			

Таблица IX полных усилий Z в стойках при положении груза P=1 в узлах нижнего пояса:

Положение груза	2				4				6				8				10			
	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0-1	-0,9	0	0	-0,900	-0,8	0	0	-0,800	-0,7	0	0	-0,700	-0,6	0	0	-0,600	-0,5	0	0	-0,500
2-3	+0,1	-0,015	-0,017	+0,068	+0,2	-0,084	-0,088	+0,028	-0,7	-0,016	-0,021	-0,737	-0,4	-0,199	-0,197	+0,004	-0,5	-0,011	+0,011	-0,500
4-5	0	+0,015	+0,017	+0,032	0	+0,084	+0,088	+0,172	0	+0,016	+0,021	+0,037	-0,4	+0,199	+0,197	-0,604	0	+0,011	-0,011	0
6-7	+0,1	-0,015	-0,017	+0,068	+0,2	-0,084	-0,088	+0,028	+0,3	-0,016	-0,021	+0,263	+0,4	-0,199	-0,197	-0,004	-0,5	-0,011	+0,011	-0,500
8-9	0	+0,015	0	+0,015	0	+0,084	0	+0,084	0	+0,016	0	+0,016	0	+0,199	0	+0,199	0	+0,011	0	+0,011
10-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8-9	0	0	-0,017	-0,017	0	0	-0,088	-0,088	0	-0,021	-0,021	0	0	-0,197	-0,197	0	0	0	0	0
6-7	-0,1	+0,015	+0,017	-0,068	-0,2	+0,084	+0,088	-0,028	-0,3	+0,016	+0,021	-0,263	-0,4	+0,199	+0,197	-0,004	0	0	0	0
4-5	0	-0,015	-0,017	-0,032	0	-0,084	-0,088	-0,172	0	-0,016	-0,021	-0,037	0	-0,199	-0,197	-0,396	0	0	0	0
2-3	-0,1	+0,015	+0,017	-0,068	-0,2	+0,084	+0,088	-0,028	-0,3	+0,016	+0,021	-0,263	-0,4	+0,199	+0,197	-0,004	0	0	0	0
0-1	-0,1	0	0	-0,100	-0,2	0	0	-0,200	-0,3	0	0	-0,300	-0,4	0	0	-0,400	0	0	0	0
	x = -0,023 88 y = +0,026 67				x = -0,133 24 y = +0,138 82				x = -0,024 55 y = +0,032 85				x = -0,314 17 y = +0,311 08				x = -0,016 68 y = -0,016 68			

Таблица X полных усилий S в стойках при положениях груза P=1 в узлах верхнего пояса.

	1	3	5	7	9	11
0-1	-1,000	-0,000	-0,800	-0,700	-0,600	-0,500
2-3	0	-0,032	+0,028	-0,737	+0,004	-0,500
4-5	0	+0,032	-0,828	+0,037	-0,604	0
6-7	0	-0,068	+0,028	-0,737	+0,004	-0,500
8-9	0	-0,015	+0,084	+0,016	-0,801	+0,011
10-11	0	0	0	0	0	-1,000

	1'	3'	5'	7'	9'
8-9	0	-0,017	-0,088	-0,021	-0,107
6-7	0	-0,068	-0,028	-0,263	-0,004
4-5	0	-0,032	-0,172	-0,037	-0,396
2-3	0	-0,068	-0,028	-0,263	-0,004
0-1	0	-0,100	-0,200	-0,300	-0,400

Подставляя значения S, выраженные формулой 23, в уравнение 24, получим для производной работы по x следующее уравнение:

$$\sum \frac{S l}{\omega} \cdot \frac{dS}{dx} = \sum N_n \cdot \frac{l}{\omega} \cdot \frac{dS}{dx} + \sum [(U_n)_n + (U_n)_n] \frac{l}{\omega} \cdot \frac{dS}{dx} \dots 26$$

причем члены A и B не зависят от нагрузки фермы и остаются без изменения при положении груза P=1 в любом из узлов. Нагрузка влечь лишь на N_n. Рассчитать по формуле 26 для всех 5 случаев нагрузки помещены в таблицу III.

Производная работы по y имеет такой же вид как по x, так что почти для всех элементов можно заменить $\frac{dS}{dx}$ через $\frac{dS}{dy}$.

Исключение составляют некоторые элементы, расположенные у середины фермы. Поэтому составление отдельной таблицы по типу табл. III для расчета по уравнению 25 является излишним. Результаты расчетов по таблице III, сгруппированные по родам элементов, помещены в таблицы IV и IVа.

Суммируя значения ΣB и $\Sigma N_n \cdot A$ для всех элементов, можно представить уравнения 24 и 25 в следующем виде:

для производной по x: $ax + by + c = 0 \dots 27$

для производной по y: $bx + ay + d = 0 \dots 28$

причем $ax + by = \Sigma B$; $bx + ay = \Sigma B$; $C = \Sigma A \cdot N_n$ и $d = \Sigma A' \cdot N_n$. Члены c и d являются в зависимости от положений груза.

Таблица XI приближенных усилий в верхнем и нижнем поясе при положениях груза P=1 в узлах:

	2	4	6	8	10	
Верхний пояс.	1-3	-0,548	-0,974	-0,426	-0,731	-0,305
	3-5	-0,426	-0,974	-1,279	-0,731	-0,913
	5-7	-0,426	-0,731	-1,279	-1,462	-0,913
	7-9	-0,305	-0,731	-0,913	-1,462	-1,523
	9-11	-0,305	-0,731	-0,913	-1,462	-1,523
	2'	4'	6'	8'		
Нижний пояс.	0-2	0	0	0	0	0
	2-4	+0,548	0	+0,426	0	+0,305
	4-6	+0,548	+0,974	-0,426	+0,731	+0,305
	6-8	+0,426	+0,974	-1,279	+0,731	+0,913
	8-10	+0,426	+0,487	-1,279	+0,974	+0,913
	2'	4'	6'	8'		
Стойки.	8-10	+0,183	+0,487	+0,548	+0,974	0
	6-8	+0,183	+0,244	+0,548	+0,487	0
	4-6	+0,061	+0,244	+0,183	+0,487	0
	2-4	+0,061	0	+0,183	0	0
	0-2	0	0	0	0	0

Таблица XII приближенных усилий в раскосах и стойках при положениях груза P=1 в узлах:

	2	4	6	8	10	
Раскосы.	1-2	+1,055	0	+0,820	0	+0,586
	1-4	0	+1,261	0	+0,946	0
	3-6	-0,157	0	+1,101	0	+0,786
	5-8	0	-0,315	0	+0,940	0
	7-10	0	0	-0,472	0	+0,786
9-8'	0	0	0	0	0	
	2'	4'	6'	8'		
Стойки.	0-8'	0	+0,315	0	+0,930	0
	2-10	+0,157	0	+0,472	0	+0,530
	5-8	0	+0,315	0	+0,930	0
	3-6	+0,157	0	+0,472	0	0
	1-4	0	+0,315	0	+0,930	0
1-2	+0,117	0	+0,352	0	0	
	2	4	6	8	10	
Стойки.	0-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5
	2-3	+0,1	0	-0,7	0	-0,5
	4-5	0	+0,2	0	-0,6	0
	6-7	+0,1	0	+0,3	0	-0,5
	8-9	0	0	0	0	0
10-11	0	0	0	0	0	
	2'	4'	6'	8'		
Стойки.	8-9	0	-0,2	0	-0,4	0
	6-7	-0,1	0	-0,3	0	-0,5
	4-5	0	-0,2	0	-0,4	0
	2-3	-0,1	0	-0,3	0	-0,5
	0-1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5

Таблица XIII приближенных основных напряжений в $\frac{\text{н}}{\text{см}^2}$ при положении груза P=1 тон. в узлах:

№ элемента.	2		4		6		8		10		8'		6'		4'		2'	
Верхний пояс.	1-3	-4,53	-8,05	-3,52	-6,04	2,52	-4,02	-1,51	-2,02	-0,504								
	3-5	-2,48	-5,66	-7,44	-4,25	5,31	-2,83	-3,19	1,42	-1,06								
	5-7	-2,04	-3,50	-6,12	-7,00	-4,37	-4,66	-2,62	2,33	-0,88								
	7-9	-1,34	-3,22	-4,02	-6,44	-6,71	-4,29	-4,02	-2,15	-1,34								
	9-11	-1,34	-3,22	-4,02	-6,44	-6,71	-4,29	-4,02	-2,15	-1,34								
Нижний пояс.	0-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
	2-4	+6,85	0	+5,33	0	+3,81	0	+2,29	0	+0,76								
	4-6	+4,28	+7,61	+3,33	+5,71	+2,38	+3,80	+1,43	+1,91	+0,48								
	6-8	+2,57	+5,87	+7,70	+4,40	+5,50	+2,93	+3,30	+1,47	+1,10								
	8-10	+2,12	+2,42	+6,36	+4,85	+4,54	+4,85	+2,73	+2,42	+0,91								
Равноем.	1-2	+11,59	0	+9,01	0	+6,44	0	+3,87	0	+1,29								
	1-4	0	+12,61	0	+9,46	0	+6,30	0	+3,15	0								
	3-6	-1,94	0	+13,59	0	+9,70	0	+5,83	0	+1,94								
	5-8	0	-5,08	0	+15,26	0	+10,16	0	+5,08	0								
	7-10	-3,08	0	-9,26	0	+15,41	0	+9,26	0	+3,08								
9-8'	0	0	0	0	0	+19,38	0	+9,69	0									
Столбы.	0-1	-4,11	-3,65	-3,20	-2,74	-2,28	-1,82	-1,37	-0,91	-0,46								
	2-3	+0,89	0	-6,25	0	-4,46	0	-2,68	0	-0,89								
	4-5	0	+2,35	0	-7,06	0	-4,71	0	-2,35	0								
	6-7	+1,43	0	+4,29	0	-7,14	0	-4,29	0	-1,43								
	8-9	0	0	0	0	0	-6,06	0	-3,03	0								
10-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0									

Таблица XIV наибольших основных напряжений в $\frac{\text{н}}{\text{см}^2}$ при шарнирных узлах.

№ элемента.	По точному способу расчета.						По приближенному способу расчета.	
	Постоянная нагрузка k=6,22 тон.		Временная нагрузка.		Наибольшие основные напряжения.		Наибольшие основные напряжения.	
	Σy	k Σy=n ₀	+	-	Min.	Max.		
Верхний пояс.	1-3	-32,71	-203	0	-355	-203	-558	-646
	3-5	-33,64	-209	0	-474	-209	-683	-662
	5-7	-33,51	-208	0	-446	-208	-654	-658
	7-9	-33,54	-209	0	-449	-209	-658	-656
	9-11	-33,54	-209	0	-444	-209	-653	-656
Нижний пояс.	0-2	0	0	0	0	Max.	Min.	0
	2-4	+16,26	+101	+319	0	+420	+101	+381
	4-6	+29,29	+182	+428	0	+610	+182	+611
	6-8	+32,64	+203	+472	0	+675	+203	+683
	8-10	+33,04	+206	+390	0	+596	+206	+685
Равноем.	1-2	+32,20	+200	+568	0	Max.	Min.	+756
	1-4	+31,46	+196	+580	-9	+776	+187	+763
	3-6	+29,12	+181	+581	-31	+762	+150	+745
	5-8	+25,37	+158	+609	-106	+767	+52	+729
	7-10	+15,41	+96	+534	-216	+630	-120	+615
9-8'	-0,08	0	+300	-305	+300	-305	+548	
Столбы.	0-1	-20,54	-128	0	-282	Max.	Min.	-429
	2-3	-13,39	-83	+14	-267	-350	-69	-361
	4-5	-11,77	-73	+49	-281	-354	-24	-358
	6-7	-7,14	-45	+104	-247	-292	+59	-310
	8-9	+0,04	0	+92	-95	-95	+92	-201
10-11	0	0	0	0	0	0	-	

Наибольшее значение n проще всего находится путем последовательных пробных установок и подсчетов. Подсчеты могут быть сведены к простому суммированию ординат. Для этого представим формулу 31 в следующем виде:

$$n = 7,5 \left(\sum y + \sum \frac{6,25}{7,5} \cdot y' + \sum \frac{5}{7,5} \cdot y'' \right) \dots 32$$

Значение в скобках может быть найдено простым суммированием в том случае, если будем измерять в разных масштабах ординаты, соответствующие трем типам колес; а именно если примем для измерения ординат под колесами паровоза, тендера и вагона следующие единицы длины:

$$(1 \text{ см.}), \left(1 \cdot \frac{7,5}{6,25} \text{ или } 1,2 \text{ см.}\right), \left(1 \cdot \frac{7,5}{5} \text{ или } 1,5 \text{ см.}\right)$$

Для удобства измерения ординат на кальку были нанесены поезда. На ординатах, проведенных через центры колес, были нанесены деления, причём за единицы делений были приняты: под колесами паровоза—1 см., под колесами тендеров 1,2 см. и под колесами вагонов—1,5 см. Накладывая кальку на инфлюэнтные линии, длины ординат непосредственно читались и складывались на счетах. Суммирование ординат повторялось для нескольких установок колес. Невыгоднейшему положению их соответствовала небольшая сумма ординат.

Наибольшие напряжения от временной нагрузки, рассчитанные по формулам 31 приведены в таблиць XIV.

§ 21. Сравнение основных напряжений, соответствующих точному и приближенному способу расчета.

Разница между точными и приближенными напряжениями в *попсах* сравнительно небольшая и для некоторых элементов верхнего пояса (3—5 и 7—9) равна нулю. Для остальных элементов верхнего пояса точная напряжения меньше приближенных, причём разница доходит до 10%¹⁾ (элементы 9—11). Для нижнего пояса разница больше и колеблется в ту или другую сторону: для некоторых элементов точная напряжения меньше приближенных и разница доходит до 17%²⁾; а для других элементов (8—10) точная напряжения больше приближенных (до 6%²⁾.

Для *раскосов*, кроме средних 9—8^с и 8—9, разница между точными и приближенными напряжениями небольшая. Что же касается указанных средних раскосов, то по точному расчету они получают сжатые вытянуты, между тем как по приближенному расчету они только вытянуты; причём растягивающие напряжения, соответствующая последнему случаю на 32% больше точных.

В *стойках* замечаются те же явления как в *раскосах*.

¹⁾ % выражающие разности напряжений, отнесен к величин точных напряжений и определялись лишь для случая равномерной временной нагрузки.

Г Л А В А II.

Расчет дополнительных напряжений от жесткости узлов.

Расчет дополнительных напряжений от жесткости узлов произведен по способу Мора, изложенному в § 8. Для всестороннего решения вопроса в основе расчета положен не один определенный случай нагрузки, а для каждого элемента исследовано влияние груза = 1 т., двигающегося вдоль нижнего пояса, или другими словами рассчитаны *инфлюэнтные линии* дополнительных напряжений. Для этого требовалось повторить расчет дополнительных напряжений 5 раз, соответственно положениям груза = 1 т. поочередно в каждой из 5 узлов левой половины нижнего пояса.

§ 22. Расчет узлов ψ вращения элементов.

Углы ψ вращения элементов рассчитывались по теореме возможных перемещений.

Для этого к каждому элементу прикладывалась пара сил, момент которой = 1 и определял во всех элементах формы усилий, вызванные этой парой, приравнивали работу пары сумм работ усилий во остальных элементах фермы, что выражалось следующим уравнением: $1 \cdot \psi = \sum \sigma \cdot \lambda$, где σ —усилие, вызванное парой, а λ —изменение длины соответствующего элемента, вызванное нагрузкой фермы. В рассматриваемых нами пяти случаях нагрузки значения σ оставались без изменения, а менялись лишь значения λ .

Расчет усилий σ , вызванных парами +1, приложенными к *попсам* и *раскосам*, производился по ординатам инфлюэнтных линий основных усилий, приведенным в таблицах VI, VII, VIII, IX и X. Пары +1 принимались вращающими по часовой стрелке, так что правая сила пары всегда действовала вниз, а левая сила—вверх. Обозначая через η' и η'' ординаты инфлюэнтных линий под правой и левой силой, составлена следующая формула для расчета усилий σ от пары +1, приложенных к *попсам* и *раскосам*:

$$\sigma = (\eta' - \eta'') \frac{1}{l} \dots 33$$

где l горизонтальная проекция длины элемента, к которому приложена пара. При расчете по этой формуле следует иметь в виду, что усилия σ в *попсах* и *раскосах* не зависят от того, приложены ли силы, составляющие пару +1, к верхнему или к нижнему поясу, между тем как усилия σ в *стойках* зависят от расположения инфлюэнтных сил, так что приходится пользоваться обоими таблицами IX и X.

Для расчета усилий σ , вызванных парами +1, приложенными к *стойкам*, нельзя воспользоваться инфлюэнтными линиями усилий S , а следует приложить к *стойкам* две горизонтальные силы, дающие пару +1 и произвести расчет усилий σ по способу наименьшей работы деформации, примененному к § 19.

В уравнениях производных работы по x и y (см. урав. 26) от нагрузки зависят только члены AN_x , тогда как члены B от нее не зависят и сохраняют значения, приведенные в таблицах III, IV и IVa. Поэтому необходимо рассчитать только значения ΣAN_x . Этот расчет приведен в таблицах XV и XVI.

Таблица XV усилия N_n и $A.N_n$ в поясах стат.

№ элемента.	$A = \frac{l}{\omega} \frac{dS}{dx}$	0-1		2-3		4-5	
		$N_n \times 100000$ см.	$A.N_n$	$N_n \times 100000$ см.	$A.N_n$	$N_n \times 100000$ см.	$A.N_n$
1-3	-1,215	-123,3	+149,8	+13,7	-16,6	+13,7	-16,6
3-5	+0,863	-95,9	-82,8	-95,9	-82,8	+41,1	+35,5
5-7	-0,693	-95,9	+66,5	-95,9	+66,5	-95,9	+66,5
7-9	+0,637	-68,5	-43,6	-68,5	-43,6	-68,5	-43,6
9-11	-0,637	-68,5	+43,6	-68,5	+43,6	-68,5	+43,6
11'-9'	-0,637	-68,5	+43,6	-68,5	+43,6	-68,5	+43,6
9'-7'	-0,637	-68,5	+43,6	-68,5	+43,6	-68,5	+43,6
7'-5'	+0,693	-41,1	-28,5	-41,1	-28,5	-41,1	-28,5
5'-3'	-0,863	-41,1	+35,5	-41,1	+35,5	-41,1	+35,5
3'-1'	+1,215	-13,7	-16,6	-13,7	-16,6	-13,7	-16,6
			+211,1		+44,7		+163,0
			-36,7		+129,7		+11,4
0-2	0	+137	0	0	0	0	0
2-4	-1,836	+123,3	-226,4	+123,3	-226,4	-13,7	+25,2
4-6	+1,159	+123,3	+142,9	+123,3	+142,9	+123,3	+142,9
6-8	-0,871	+95,9	-83,5	+95,9	-83,5	+95,9	-83,5
8-10	+0,722	+95,9	+69,2	+95,9	+69,2	+95,9	+69,2
10-8'	-2,166	+41,1	-89,0	+41,1	-89,0	+41,1	-89,0
8'-6'	+0,871	+41,1	+35,8	+41,1	+35,8	+41,1	+35,8
6'-4'	-1,159	+13,7	-15,9	+13,7	-15,9	+13,7	-15,9
4'-2'	+1,836	+13,7	+25,2	+13,7	+25,2	+13,7	+25,2
2'-0'	0	0	0	0	0	0	0
			-141,7		-141,7		+109,9
			-56,1		-56,1		-307,7

опредл. фермы при действии момента = +1 на стойки.

6-7		8-9		10-11	
$N_n \times 100000$ см.	$A.N_n$	$N_n \times 100000$ см.	$A.N_n$	$N_n \times 100000$ см.	$A.N_n$
+13,7	-16,6	+13,7	-16,6	+13,7	-16,6
+41,1	+35,5	+41,1	+35,5	+41,1	+35,5
+41,1	-28,5	+41,1	-28,5	+41,1	-28,5
-68,5	-43,6	+68,5	+43,6	+68,5	+43,6
-68,5	+43,6	-68,5	+43,6	+68,5	-43,6
-68,5	+43,6	-68,5	+43,6	-68,5	+43,6
-68,5	+43,6	-68,5	+43,6	-68,5	+43,6
-41,1	-28,5	-41,1	-28,5	-41,1	-28,5
-41,1	+35,5	-41,1	+35,5	-41,1	+35,5
-13,7	-16,6	-13,7	-16,6	-13,7	-16,6
	+68,0		+155,2		+68,0
	+106,4		+19,2		-68,0
0	0	0	0	0	0
-13,7	+25,2	-13,7	+25,2	-13,7	+25,2
-13,7	-15,9	-13,7	-15,9	-13,7	-15,9
+95,9	-83,5	-41,1	+35,8	-41,1	+35,8
+95,9	+69,2	+95,9	+69,2	-41,1	-29,7
+41,1	-89,0	+41,1	-89,0	+41,1	-89,0
+41,1	+35,8	+41,1	+35,8	+41,1	+35,8
+13,7	-15,9	+13,7	-15,9	+13,7	-15,9
+13,7	+25,2	+13,7	+25,2	+13,7	+25,2
0	0	0	0	0	0
	-48,9		+70,4		-28,5
	-148,9		-268,2		+28,5

Таблица XVI усилий N_n в рѣшеткѣ стат. опредл. фермы при дѣйстви момента = +1 поочередно на всѣ стойки.

№ элемента.	$A = \frac{l}{\omega} \frac{dS}{dx}$	$N_n \times 100000$ см.	$A \cdot N_n$	№ элемента.	$A = \frac{l}{\omega} \frac{dS}{dx}$	$N_n \times 100000$ см.	$A \cdot N_n$
1-2	-6,582	-26,3	+173,1	0-1	0	+22,4	0
1-4	+10,776	0	0	2-3	+3,768	+22,4	+84,4
3-6	+13,353	-35,3	+467,8	4-5	-4,983	0	0
5-8	+16,936	0	0	6-7	+5,866	+22,4	+131,4
7-10	-20,228	+35,3	+714,0	8-9	-6,263	0	0
9-8'	+31,162	0	0	10-11	0	0	0
9'-8	0	0	0	8'-9'	0	0	0
7'-10	+20,228	+35,3	+714,0	6'-7'	-5,866	-22,4	+131,4
5'-8'	-16,936	0	0	4'-5'	+4,983	0	0
3'-6'	+13,353	+35,3	+467,8	2'-3'	-3,768	-22,4	+84,4
1'-4'	+10,776	0	0	0'-1'	0	-22,4	0
1'-2'	+6,582	+26,3	+173,1				
$\frac{dS}{dx}$ для dx			+2709,8	$\frac{dS}{dx}$ для dx			+431,6
$\frac{dS}{dy}$ для dy			-2709,8	$\frac{dS}{dy}$ для dy			-431,6

Все члены, входящие в уравнений 27 и 28 производных работы по x и y , а именно:

$$ax + by + c = 0$$

$$bx + ay + d = 0$$

приведены в таблицах XVII и XVIII. Незавѣстныя x и y рассчитаны по формулам 29 и 30. Все данныя помѣщены в таблицѣ XIX.

Подставляя значения x и y в формулы типа ур. 23 (5 послѣднихъ вызванныхъ дѣйствию пары +1 на стойки. Эти усилия σ приведены в таблицах XX, XXI, XXII и XXIII.

Остается рассчитать по формулѣ 33 усилия σ , вызванныя парами +1, приложенными въ поясамъ и раскосамъ. Расчетъ помѣщенъ в таблицах XXIV, XXV, XXVI.

Для опредѣленія угла ϕ вращения элементовъ необходимо еще рассчитать измѣненія λ давнъ элементовъ, при разныхъ положеніяхъ груза $P=1$ т. Если обозначить черезъ S усиліе элемента отъ нагрузки, черезъ l и ω давшу и площадь сѣченія элемента и черезъ E коэффициентъ упругости материала, ($= 2150000 \frac{\text{к}}{\text{см}^2}$), то

$$\lambda = \frac{S \cdot l}{E \cdot \omega}$$

Все значения λ , увеличенныя въ 10000 разъ и выраженныя въ см., приведены въ таблицѣ XXVII.

Таблица XVII для расчета усилий x и y изъ производныхъ работы по x .

	ΣB	$\Sigma N_n, A'$ при дѣйстви момента = +1 на стойки:					
		0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11
Верхній поясъ . . .	+3,1322-2,144у	+211,1	+44,7	+193,0	+68,0	+155,2	+68,0
Нижній поясъ . . .	+5,7342-4,660у	+141,7	+141,7	+199,0	-48,9	+79,4	-28,5
Раскосы	+163,3962-132,234у	+2799,8	+2799,8	-2799,8	+2799,8	+2799,8	+2799,8
Стойки	+22,5052-18,534у	+431,0	+431,0	+431,0	+431,0	+431,0	+431,0
$\Sigma =$	+194,8172-157,578у	+3210,8	+3044,4	+3414,3	+3169,5	+3397,0	+3180,9
	$ax + by$	c					

Таблица XVIII для расчета усилий x и y изъ производныхъ работы по y .

	$\Sigma B'$	$\Sigma N_n, A'$ при дѣйстви момента +1 на стойки:					
		0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11
Верхній поясъ . . .	-2,1442+3,132у	-36,7	+129,7	+11,4	+106,4	+19,2	-68,0
Нижній поясъ . . .	-4,6602+5,734у	-56,1	-56,1	-307,3	-148,9	-208,2	+28,5
Раскосы	-132,2342+163,396у	-2799,8	-2799,8	-2799,8	-2799,8	-2799,8	-2799,8
Стойки	-18,5342+22,505у	-431,0	-431,0	-431,0	-431,0	-431,0	-431,0
$\Sigma =$	-157,5782+194,817у	-3234,2	-3067,8	-3437,7	-3183,0	-3399,4	-3180,9
	$bx + ay$	d					

Таблица XIX для расчета x и y при дѣйстви момента = +1 на стойки:

	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11
d	-3334,2	-3067,8	-3437,7	-3183,0	-3399,4	-3180,9
b/d	+509698,8	+485417,8	+541795,9	+501712,6	+534352,5	+501239,9
a/c	+625518,4	+593100,9	+665163,7	+615719,1	+655948,8	+619993,4
e	+3210,8	+3044,4	+3414,3	+3169,5	+3397,0	+3180,9
$bd-ac$	-115879,6	-109683,1	-123457,8	-114069,5	-121696,3	-118453,5
$bd-ac$	-8,8303	-8,358	-9,408	-8,688	-9,274	-9,027
$\frac{bd-ac}{a^2-b^2}$						
e	+3210,8	+3044,4	+3414,3	+3169,5	+3397,0	+3180,9
b/c	-595951,4	-479739,5	-538018,6	-498025,3	-539595,1	-501239,9
a/d	-610077,1	-597659,6	-669724,4	-620277,8	-660507,6	-619993,4
d	-3334,2	-3067,8	-3437,7	-3183,0	-3399,4	-3180,9
$bc-ad$	+124125,7	+117929,1	+131703,8	+122252,5	+129942,5	+118453,5
$\frac{bc-ad}{a^2-b^2}$	+9,459	+8,986	+10,036	+9,316	+9,902	+9,027

¹⁾ x и y выражаются въ единицахъ $\frac{100000}{\text{см}}$ также, какъ величины N_n .

Таблица XX усилий $\sigma = N_n + (U_x)_n + (U_y)_n$ в элементах верхнего пояса при действии момента +1 на стойки:

№ элемента	0-1		2-3		4-5							
	0	1	2	3	4	5						
1-3	-123,3	+3,4	+3,7	-116,2	+13,7	+3,3	+3,5	+20,5	+13,7	+3,6	+3,9	+21,3
3-5	-95,9	-3,4	-3,7	-103,0	-95,9	-3,3	-3,5	-102,7	-41,1	-3,6	-3,9	-131,3
5-7	-95,9	+3,4	+3,7	-88,8	-95,9	+3,3	+3,5	-89,1	-95,9	+3,6	+3,9	-88,8
7-9	-68,5	-3,4	-3,7	-75,6	-68,5	-3,3	-3,5	-75,3	-68,5	-3,6	-3,9	-76,0
9-11	-68,5	+3,4	+3,7	-68,8	-68,5	+3,3	+3,5	-68,7	-68,5	+3,6	+3,9	-68,8
11-0'	-68,5	-3,4	-3,7	-68,8	-68,5	-3,3	-3,5	-68,7	-68,5	-3,6	-3,9	-68,8
0'-7'	-68,5	+3,4	+3,7	-61,4	-68,5	+3,3	+3,5	-61,7	-68,5	+3,6	+3,9	-61,4
7'-5'	-41,1	-3,4	-3,7	-48,2	-41,1	-3,3	-3,5	-47,9	-41,1	-3,6	-3,9	-48,1
5'-3'	-41,1	+3,4	+3,7	-34,0	-41,1	+3,3	+3,5	-34,3	-41,1	+3,6	+3,9	-33,7
3'-1'	-13,7	-3,4	-3,7	-20,8	-13,7	-3,3	-3,5	-20,5	-13,7	-3,6	-3,9	-21,3
	$x = -8,8$ $y = +9,5$		$x = -8,4$ $y = +9,0$		$x = -9,4$ $y = +10,0$							

Усилия σ выражены в единицах $\frac{100000}{\text{см}}$.

Таблица XXI усилий $\sigma = N_n + (U_x)_n + (U_y)_n$ в элементах нижнего пояса при действии момента +1 на стойки:

№ элемента	0-1		2-3		4-5							
	0	1	2	3	4	5						
0-2	+137,0	0	0	+137,0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-4	-123,3	-3,4	-3,7	+130,4	0	0	0	0	0	0	0	0
4-6	-123,3	+3,4	+3,7	+116,2	+123,3	+3,3	+3,5	+130,1	-13,7	+3,6	+3,9	-6,3
6-8	-95,9	-3,4	-3,7	+103,0	+123,3	-3,3	-3,5	+116,5	+123,3	-3,6	-3,9	+115,8
8-10	-95,9	+3,4	+3,7	-81,5	+103,0	+3,3	+3,5	+102,7	-95,9	+3,6	+3,9	+103,4
10-8'	-95,9	-3,4	-10,8	81,5	-95,9	-3,3	-10,4	82,2	-95,9	-3,6	-11,6	80,7
8'-6'	+41,1	+10,2	+3,7	55,0	+41,1	+0,8	+3,5	54,4	+41,1	+10,9	+3,9	55,0
6'-4'	+41,1	-3,4	-3,7	34,0	+41,1	-3,3	-3,5	34,3	+41,1	-3,6	-3,9	33,7
4'-2'	+13,7	+3,4	+3,7	20,8	+13,7	+3,3	+3,5	20,5	+13,7	+3,6	+3,9	21,3
2'-0'	0	0	0	6,6	0	0	0	6,9	0	0	0	6,3
	$x = -8,8$ $y = +9,5$		$x = -8,4$ $y = +9,0$		$x = -9,4$ $y = +10,0$							

Усилия σ выражены в единицах $\frac{100000}{\text{см}}$.

в элементах верхнего пояса +1 на стойки:

6-7		8-9		10-11								
+13,7	+3,4	+3,6	+20,7	+13,7	+3,6	+3,8	+21,1	+13,7	+3,5	+3,5	+20,7	
+41,1	-3,4	-3,6	+34,1	+41,1	-3,6	-3,8	+33,7	+41,1	-3,5	-3,5	+34,1	
+41,1	+3,4	+3,6	+48,1	+41,1	+3,6	+3,8	+48,5	+41,1	+3,5	+3,5	+48,1	
-68,5	-3,4	-3,6	-75,5	-68,5	-3,6	-3,8	-61,1	-68,5	-3,5	-3,5	-61,5	
-68,5	+3,4	+3,6	-68,7	-68,5	+3,6	+3,8	+68,7	-68,5	+3,5	+3,5	-68,5	
-68,5	-3,4	-3,6	-68,7	-68,5	-3,6	-3,8	-68,7	-68,5	-3,5	-3,5	-68,5	
-68,5	+3,4	+3,6	-61,5	-68,5	+3,6	+3,8	-61,1	-68,5	+3,5	+3,5	-61,5	
-41,1	-3,4	-3,6	-48,1	-41,1	-3,6	-3,8	-48,5	-41,1	-3,5	-3,5	-48,1	
-41,1	+3,4	+3,6	-34,1	-41,1	+3,6	+3,8	-33,7	-41,1	+3,5	+3,5	-34,1	
-13,7	-3,4	-3,6	-20,7	-13,7	-3,6	-3,8	-21,1	-13,7	-3,5	-3,5	-20,7	
	$x = -8,7$ $y = +9,3$		$x = -9,3$ $y = +9,9$		$x = -9,0$ $y = +9,0$							

в элементах нижнего пояса +1 на стойки:

6-7		8-9		10-11								
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
-13,7	+3,4	+3,6	-6,7	-13,7	+3,6	+3,8	-6,3	-13,7	+3,5	+3,5	-6,7	
-13,7	-3,4	-3,6	-20,7	-13,7	-3,6	-3,8	-21,1	-13,7	-3,5	-3,5	-20,7	
+95,9	+3,4	+3,6	+103,0	+41,1	+3,6	+3,8	+33,7	+41,1	+3,5	+3,5	+34,1	
+95,9	-3,4	-10,8	+81,7	+95,9	-3,6	-11,5	+80,8	+95,9	-3,5	-10,4	+55,0	
+41,1	+10,1	+3,6	+54,8	+41,1	+10,8	+3,8	+55,7	+41,1	+10,4	+3,5	+55,0	
+41,1	-3,4	-3,6	+34,1	+41,1	-3,6	-3,8	+33,7	+41,1	-3,5	-3,5	+34,1	
+13,7	+3,4	+3,6	+20,7	+13,7	+3,6	+3,8	+21,1	+13,7	+3,5	+3,5	+20,7	
-13,7	-3,4	-3,6	-6,7	-13,7	-3,6	-3,8	-6,3	-13,7	-3,5	-3,5	-6,7	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	$x = -8,7$ $y = +9,3$		$x = -9,3$ $y = +9,9$		$x = -9,0$ $y = +9,0$							

Таблица XXII усилий $\sigma = N_n + (U_x)$ при действии момента

№ элемента	0-1		2-3		4-5	
	σ	τ	σ	τ	σ	τ
1-2	-26,3+6,6+7,1	-12,6	-26,3+6,3+6,7	-13,3	-26,3+7,0+7,5	-11,8
1-4	0 - 8,8-9,5	-18,3	0 - 8,4-9,0	-17,4	0 - 9,4-10,0	-19,4
3-6	35,3+8,8+9,5	17,0	35,3+8,4+9,0	17,9	35,3+9,4+10,0	15,9
5-8	0 - 8,8-9,5	-18,3	0 - 8,4-9,0	-17,4	0 - 9,4-10,0	-19,4
7-10	35,3+8,8+9,5	17,0	35,3+8,4+9,0	17,9	35,3+9,4+10,0	15,9
9-8'	0 - 8,8 0 - 8,8	- 8,8	0 - 8,4 0 - 8,4	- 8,4	0 - 9,4 0 - 9,4	- 9,4
9'-8	0 0 +9,5	+ 9,5	0 0 +9,0	+ 9,0	0 0 +10,0	+10,0
7'-10	35,3-8,8-9,5	-17,0	35,3-8,4-9,0	-17,9	35,3-9,4-10,0	-15,9
5'-8'	0 +8,8+9,5	18,3	0 +8,4+9,0	17,4	0 +9,4+10,0	19,4
3'-6'	35,3-8,8-9,5	-17,0	35,3-8,4-9,0	-17,9	35,3-9,4-10,0	-15,9
1'-4'	0 +8,8+9,5	18,3	0 +8,4+9,0	17,4	0 +9,4+10,0	19,4
1'-2'	+26,3-6,6-7,1	-12,6	+26,3-6,3-6,7	-13,3	+26,3-7,0-7,5	-11,8
$x = -8,8$ $y = +9,5$			$x = -8,4$ $y = +9,0$		$x = -9,4$ $y = +10,0$	

Усилия σ выражены в единицах $\frac{100000}{\text{см}}$.

Таблица XXIII усилий $\sigma = N_n + (U_x)$ в раскосах $+(U_y)_n$ в стойках

+1 на стойки:

6-7		8-9		10-11	
σ	τ	σ	τ	σ	τ
-26,3+6,5+6,9	-12,9	-26,3+6,9+7,4	-12,0	-26,3+6,7+6,7	-12,9
0 - 8,7-9,3	-18,0	0 - 9,3-9,9	-19,2	0 - 9,0-9,0	-18,0
-35,3+8,7+9,3	-17,3	-35,3+9,3+9,9	-16,1	-35,3+9,0+9,0	-17,3
0 - 8,7-9,3	-18,0	0 - 9,3-9,9	-19,2	0 - 9,0-9,0	-18,0
-35,3+8,7+9,3	-17,3	-35,3+9,3+9,9	-16,1	-35,3+9,0+9,0	-17,3
0 - 8,7 0 - 8,7	- 8,7	0 - 9,3 0 - 9,3	- 9,3	0 - 9,0 0 - 9,0	- 9,0
0 0 +9,3	+ 9,3	0 0 +9,9	+ 9,9	0 0 +9,0	+ 9,0
+35,3-8,7-9,3	+17,3	+35,3-9,3-9,9	+16,1	+35,3-9,0-9,0	+17,3
0 +8,7+9,3	+18,0	0 +9,3+9,9	+19,2	0 +9,0+9,0	+18,0
+35,3-8,7-9,3	+17,3	+35,3-9,3-9,9	+16,1	+35,3-9,0-9,0	+17,3
0 +8,7+9,3	+18,0	0 +9,3+9,9	+19,2	0 +9,0+9,0	+18,0
+26,3-6,5-6,9	+12,9	+26,3-6,9-7,4	+12,0	+26,3-6,7-6,7	+12,9
$x = -8,7$ $y = +9,3$		$x = -9,3$ $y = +9,9$		$x = -9,0$ $y = +9,0$	

Таблица XXIII усилий $\sigma = N_n + (U_x)$ при действии момента

№ элемента	0-1		2-3		4-5	
	σ	τ	σ	τ	σ	τ
0-1	+22,4 0 0	+22,4	+22,4 0 0	+22,4	+22,4 0 0	+22,4
2-3	+22,4-5,6-6,0	+10,8	+22,4-5,3-5,7	+11,4	+22,4-6,0-6,3	+10,1
4-5	0 +5,6+6,0	+11,6	0 +5,3+5,7	+11,0	0 +6,0+6,3	+12,3
6-7	+22,4-5,6-6,0	+10,8	+22,4-5,3-5,7	+11,4	+22,4-6,0-6,3	+10,1
8-9	0 +5,6 0 + 5,6	0 + 5,6	0 +5,3 0 + 5,3	0 + 5,3	0 +6,0 0 + 6,0	0 + 6,0
10-11	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0
8'-9'	0 0 -6,0	- 6,0	0 0 -5,7	- 5,7	0 0 -6,3	- 6,3
6'-7'	+22,4+5,6+6,0	+10,8	+22,4+5,3+5,7	+11,4	+22,4+6,0+6,3	+10,1
4'-5'	0 -5,6-6,0	-11,6	0 -5,3-5,7	-11,0	0 -6,0-6,3	-12,3
2'-3'	+22,4+5,6+6,0	+10,8	+22,4+5,3+5,7	+11,4	+22,4+6,0+6,3	+10,1
0'-1'	+22,4 0 0	+22,4	+22,4 0 0	+22,4	+22,4 0 0	+22,4
$x = -8,8$ $y = +9,5$			$x = -8,4$ $y = +9,0$		$x = -9,4$ $y = +10,0$	

Усилия σ выражены в единицах $\frac{100000}{\text{см}}$.

Таблица XXIII усилий $\sigma = N_n + (U_x)$ в стойках

+1 на стойки:

6-7		8-9		10-11	
σ	τ	σ	τ	σ	τ
+22,4 0 0	+22,4	+22,4 0 0	+22,4	+22,4 0 0	+22,4
+22,4-5,5-5,9	+11,0	+22,4-5,9-6,3	+10,2	+22,4-5,7-5,7	+11,0
0 +5,5+5,9	+11,4	0 +5,9+6,3	+12,2	0 +5,7+5,7	+11,4
+22,4-5,5-5,9	+11,0	+22,4-5,9-6,3	+10,2	+22,4-5,7-5,7	+11,0
0 +5,5 0 + 5,5	0 + 5,5	0 +5,9 0 + 5,9	0 + 5,9	0 +5,7 0 + 5,7	0 + 5,7
0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0
0 0 -5,9	- 5,9	0 0 -6,3	- 6,3	0 0 -5,7	- 5,7
-22,4+5,5+5,9	-11,0	-22,4+5,9+6,3	-10,2	-22,4+5,7+5,7	-11,0
0 -5,5-5,9	-11,4	0 -5,9-6,3	-12,2	0 -5,7-5,7	-11,4
-22,4+5,5+5,9	-11,0	-22,4+5,9+6,3	-10,2	-22,4+5,7+5,7	-11,0
-22,4 0 0	-22,4	-22,4 0 0	-22,4	-22,4 0 0	-22,4
$x = -8,7$ $y = +9,3$		$x = -9,3$ $y = +9,9$		$x = -9,0$ $y = +9,0$	

Таблица XXIV усилий σ во всех элементах фермы при действии момента

№ элемента	0-2 или 1-3		2-4 или 3-5		
	$\eta_2 - \eta_0$	$\sigma = \frac{1}{d} (\eta_2 - \eta_0) \times 100000$ см.	$\eta_1 - \eta_2$	$\sigma = \frac{1}{d} (\eta_1 - \eta_2) \times 100000$ см.	
Верхний пояс.	1-3	-0,529	-118	-0,461	-103
	3-5	-0,445	-100	-0,514	-115
	5-7	-0,407	-91	-0,340	-76
	7-9	-0,324	-73	-0,391	-88
	9-11	-0,306	-69	-0,305	-68
	11-9'	-0,306	-69	-0,305	-68
	9'-7'	-0,286	-64	-0,217	-49
	7'-5'	-0,202	-45	-0,269	-60
	5'-3'	-0,164	-37	-0,095	-21
	3'-1'	-0,080	-18	-0,148	-33
Нижний пояс.	0-2	0	0	0	0
	2-4	+0,567	+127	+0,583	+131
	4-6	+0,529	+118	+0,461	+103
	6-8	+0,445	+100	+0,514	+115
	8-10	+0,386	+87	+0,253	+57
	10-8'	+0,221	+50	+0,353	+79
	8'-6'	+0,164	+37	+0,095	+21
	6'-4'	+0,080	+18	+0,148	+33
	4'-2'	+0,042	+9	+0,266	+60
	2'-0'	0	0	0	0
Раскосы.	1-2	+1,093	+245	+1,125	+252
	1-4	-0,051	-11	+1,362	+305
	3-6	-0,106	-24	+0,063	+14
	5-8	-0,051	-11	+0,221	+50
	7-10	-0,106	-24	+0,063	+14
	9-8'	-0,024	-5	-0,109	-24
	9'-8	+0,027	+6	+0,112	+25
	7'-10'	+0,106	+24	-0,063	-14
	5'-8'	+0,051	+11	+0,221	+50
	3'-6'	-0,106	-24	+0,063	+14
Столбы.	0-1	-0,100	-22	+0,100	+22
	2-3	+0,068	+15	-0,040	-9
	4-5	+0,032	+7	+0,090	+19
	6-7	+0,068	+15	-0,040	-9
	8-9	+0,015	+3	+0,069	+15
	10-11	0	0	0	0
	11-9'	-0,017	-4	-0,071	-16
	9'-7'	-0,068	-15	+0,040	+9
	7'-5'	-0,032	-7	+0,140	+31
	5'-3'	-0,068	-15	+0,040	+9
3'-1'	-0,100	-22	-0,100	-22	

на верхний и нижний пояс левой половины фермы.

№ элемента	4-6 или 5-7		6-8 или 7-9		8-10 или 9-11		
	$\eta_6 - \eta_4$	$\sigma = \frac{1}{d} (\eta_6 - \eta_4) \times 100000$ см.	$\eta_8 - \eta_6$	$\sigma = \frac{1}{d} (\eta_8 - \eta_6) \times 100000$ см.	$\eta_{10} - \eta_8$	$\sigma = \frac{1}{d} (\eta_{10} - \eta_8) \times 100000$ см.	
Верхний пояс.	4-6	+0,578	+132	-0,329	-74	+0,427	+96
	5-7	-0,343	-77	+0,573	+128	-0,184	-41
	6-8	-0,509	-114	-0,207	-46	+0,550	+123
	7-9	-0,221	-50	-0,524	-117	-0,063	-14
	8-10	-0,305	-68	-0,300	-67	-0,295	-66
	9-11	-0,305	-68	-0,300	-67	-0,295	-66
	11-9'	-0,387	-87	-0,086	-19	-0,547	-123
	9'-7'	-0,100	-22	-0,402	-90	+0,060	+13
	7'-5'	-0,266	-60	+0,036	+8	-0,424	-95
	5'-3'	+0,022	+5	-0,280	-63	+0,181	+41
Нижний пояс.	4-6	0	0	0	0	0	0
	5-7	+0,465	+104	-0,551	-124	+0,407	+91
	6-8	-0,587	-130	+0,420	+74	-0,427	-96
	7-9	-0,343	+77	-0,573	-128	+0,184	+41
	8-10	+0,592	+133	-0,009	-2	-0,296	-66
	9-11	+0,016	+4	+0,260	+58	+0,076	+17
	11-9'	+0,266	+60	-0,402	-90	-0,790	-177
	9'-7'	-0,022	-5	+0,158	+35	-0,059	-13
	7'-5'	+0,144	+32	-0,280	-63	+0,425	+95
	5'-3'	0	0	0	0	0	0
Раскосы.	4-6	+0,895	+200	-0,866	-194	+0,589	+132
	5-7	-1,359	-304	+1,006	+225	-0,948	-212
	6-8	-1,202	-270	-1,163	-261	+0,790	+177
	7-9	+0,214	+48	+1,006	+225	-0,948	-212
	8-10	-0,371	-83	-0,410	-92	+0,790	+177
	9-11	+0,108	+24	-0,289	-65	-0,297	-67
	11-9'	-0,106	-24	+0,278	+62	-0,328	-74
	9'-7'	+0,371	+83	-0,410	-92	+0,782	+175
	7'-5'	-0,214	-48	+0,567	+127	-0,625	-140
	5'-3'	+0,371	+83	-0,410	-92	+0,782	+175
Столбы.	4-6	+0,100	+22	+0,100	+22	+0,100	+22
	5-7	-0,068	-15	-0,068	-15	-0,068	-15
	6-8	+0,068	+15	+0,068	+15	+0,068	+15
	7-9	-0,068	-15	-0,068	-15	-0,068	-15
	8-10	+0,068	+15	+0,068	+15	+0,068	+15
	9-11	-0,068	-15	-0,068	-15	-0,068	-15
	11-9'	+0,068	+15	+0,068	+15	+0,068	+15
	9'-7'	-0,068	-15	-0,068	-15	-0,068	-15
	7'-5'	+0,068	+15	+0,068	+15	+0,068	+15
	5'-3'	-0,068	-15	-0,068	-15	-0,068	-15

Таблица XXVII изменений длин $\lambda = S.1$
при положениях груза $P=1$ тон. в узлах:

№ элемент. та.	l E_{00} $\times 10000$	2		4		6		8		10		
		S квл.	λ $\times 10000$ см.	S квл.	λ $\times 10000$ см.	S квл.	λ $\times 10000$ см.	S квл.	λ $\times 10000$ см.	S квл.	λ $\times 10000$ см.	
Верхний пояс.	1-3	0,0146	-229	-772	-990	-1445	-403	5,88	739	-10,69	-305	-4,45
	3-5	0,0103	-345	4,58	-959	9,88	-1302	-13,41	729	-7,51	913	-9,40
	5-7	0,0084	-407	3,42	-747	6,27	-1256	-0,55	-1493	-12,29	913	-5,67
	7-9	0,0076	-324	2,48	-715	5,43	-936	7,11	-1464	-11,10	-1523	-11,57
	9-11	0,0076	-306	2,33	-611	4,64	-916	6,96	-1216	-9,34	-1511	-11,48
	11-9'	0,0076	-306	2,33	-611	4,64	-916	6,96	-1216	-9,34	-1511	-11,48
	9'-7'	0,0076	-286	2,17	-503	3,82	-890	6,29	-976	-7,42	-1523	-11,57
	7'-5'	0,0084	-202	1,70	-471	3,09	-571	4,86	-973	-8,17	913	-7,67
	5'-3'	0,0103	-164	1,60	-239	2,67	-233	5,41	-489	-5,04	913	-9,40
3'-1'	0,0146	-80	1,17	-228	3,33	206	-3,01	486	-7,10	305	-4,45	
Нижний пояс.	0-2	0,0220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-4	0,0220	+567	+12,47	-16	-6,35	449	+9,88	-102	-2,24	305	+6,71
	4-6	0,0140	+529	+7,41	+990	+13,86	403	+5,64	732	+10,25	305	+4,27
	6-8	0,0105	+445	+4,67	+959	+10,67	1302	+13,67	729	+7,59	913	+9,59
	8-10	0,0087	+386	+3,39	+639	+5,56	1231	+10,71	1222	+10,63	926	+8,69
	10-8'	0,0087	+221	+1,92	+574	+4,99	590	+5,13	850	+7,40	926	+8,66
	8'-6'	0,0105	+194	+1,72	+259	+2,72	525	+5,51	123	+1,29	913	+9,59
	6'-4'	0,0140	+80	+1,12	-228	3,10	206	+2,88	364	+5,10	305	+4,27
	4'-2'	0,0220	+42	+0,92	16	+0,35	160	+3,52	-120	-2,64	305	+6,71
2'-0'	0,0220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Рядом с м.	1-2	0,0411	+1093	+44,92	32	-1,31	863	+35,47	-3	-0,12	586	+24,08
	1-4	0,0501	106	2,55	-1301	+65,18	58	2,91	+948	+47,49	0	0
	3-6	0,0610	106	6,53	-43	2,65	1159	+71,39	4	-0,25	786	+48,42
	5-8	0,0789	51	4,02	-72	21,16	38	4,58	+948	+74,80	0	0
	7-10	0,0941	106	9,97	-43	4,05	414	-38,96	4	-0,38	786	+73,96
	9-8'	0,1449	24	3,48	133	-19,27	25	3,62	-314	-45,59	-17	2,46
	8'-6'	0,1449	27	+3,91	139	+20,14	33	+4,78	311	+45,00	-17	2,46
	7'-10	0,0941	166	4,02	272	21,46	58	4,58	+625	+49,31	0	0
	5'-8'	0,0789	51	4,02	-72	21,16	38	4,58	+948	+74,80	0	0
3'-6'	0,0610	106	6,53	-43	2,65	1159	+71,39	4	-0,25	786	+48,42	
1'-2'	0,0501	106	2,55	-1301	+65,18	58	2,91	+948	+47,49	0	0	
1'-2'	0,0411	79	3,25	32	-1,31	309	+12,70	3	+0,12	586	+24,08	
Стойки.	0-1	0,0129	-900	-11,61	-800	-10,32	-700	-9,03	-600	-7,74	-500	-6,45
	1-3	0,0277	68	+1,88	28	+0,78	737	-20,41	4	+0,11	500	-13,85
	3-5	0,0366	32	+1,17	172	+6,29	37	+1,35	-604	-22,11	0	0
	5-7	0,0430	68	+2,92	28	+1,20	293	+11,31	4	+0,17	500	-21,50
	7-9	0,0459	15	+0,66	84	+3,86	16	+0,73	+199	+9,13	11	+0,50
	9-11	0,0531	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8'-9'	0,0459	17	-0,78	88	-4,04	21	-0,99	-197	-6,04	11	+0,50
	6'-7'	0,0430	68	2,92	28	1,20	293	11,31	4	0,17	500	-21,50
	4'-5'	0,0366	32	1,17	172	6,29	37	1,35	-604	-22,11	0	0
	2'-3'	0,0277	68	1,88	28	0,78	263	7,28	4	0,11	500	-13,85
	0'-1'	0,0129	-100	-1,29	-200	-2,58	-300	-3,87	-400	-5,16	-500	-6,45

λ выражены в см. и увеличены в 10000 раз.

Расчет углов φ производится по формул:

$$\varphi = \Sigma b. \lambda$$

и сводится для каждого элемента к умножению значений b на λ и к суммированию этих произведений $b. \lambda$.

Так как усилия b увеличены в 100 000 раз, а λ в 10 000 раз, то углы φ получаются увеличенными в 1 000 000 000 раз.

Расчеты углов φ , соответствующих всем 5 случаям нагрузки, помещены в таблицах XXVIII до XXXVI.

В графах указанных таблиц помещены произведения $b. \lambda$ отдельно для каждого элемента, а суммы этих произведений или углы φ , увеличенные в 1000 000 000 и в 10 000 000 раз, выписаны в двух последних строках каждой графы.

Таблица XXVIII углов $\psi = \Sigma \delta_i$
при положении груза

№ элемента	$\lambda \times 10000$ см.	Верхний пояс.					Нижний пояс.				
		ψ_{1-3}	ψ_{3-5}	ψ_{5-7}	ψ_{7-9}	ψ_{9-11}	ψ_{0-2}	ψ_{2-4}	ψ_{4-6}	ψ_{6-8}	ψ_{8-10}
		1 000 000 000 а. л.					1 000 000 000 а. л.				
То же, что											
Для											
верхнего пояса.											
Раскосы.											
Стойки.											
$1\ 000\ 000\ 000\ \psi =$											
$10\ 000\ 000\ \psi =$											

левой половины фермы
 $P=1$ вь узль 2.

ψ	Раскосы.										Стойки.													
	ψ_{1-2}	ψ_{1-4}	ψ_{3-6}	ψ_{5-8}	ψ_{7-10}	$\psi_{9-8'}$	ψ_{0-1}	ψ_{2-3}	ψ_{4-5}	ψ_{6-7}	ψ_{8-9}	ψ_{10-11}	ψ_{1-2}	ψ_{1-4}	ψ_{3-6}	ψ_{5-8}	ψ_{7-10}	$\psi_{9-8'}$	ψ_{0-1}	ψ_{2-3}	ψ_{4-5}	ψ_{6-7}	ψ_{8-9}	ψ_{10-11}
	1 000 000 000 а. л.										1 000 000 000 а. л.													
$1\ 000\ 000\ 000\ \psi =$																								
$10\ 000\ 000\ \psi =$																								

Таблица XXIX угловь $\psi = \Sigma \alpha_i$ при положеніи груза

№ элемента.	λ ×10000 см.	Верхний пояс.					Нижний пояс.					
		ψ 1'-3'	ψ 3'-5'	ψ 5'-7'	ψ 7'-9'	ψ 9'-11'	ψ 0'-2'	ψ 2'-4'	ψ 4'-6'	ψ 6'-8'	ψ 8'-10'	
		1 000 000 000 ст. л.					1 000 000 000 ст. л.					
Верхний пояс.		1'-3'	3'-5'	5'-7'	7'-9'	9'-11'	То же, что для верхнего пояса.					
		- 1,2	- 142	- 124	+ 158	- 89						+ 115
		- 3,7	- 170	- 196	- 131	+ 218						- 70
		- 1,7	- 155	- 120	- 194	- 78						+ 209
		- 2,2	- 161	- 194	- 110	- 257						- 31
		- 3,3	- 159	- 150	- 150	- 154						- 152
		- 2,5	- 159	- 156	- 156	- 154						- 153
		- 2,5	- 160	- 123	- 218	- 48						- 308
		- 3,4	- 153	- 204	- 75	- 306						+ 44
		- 4,6	- 170	- 97	- 276	+ 37						- 437
		- 7,7	- 159	- 254	+ 39	- 485	+ 316					
Нижний пояс.		0'-2'	2'-4'	4'-6'	6'-8'	8'-10'						
		0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		+ 0,9	- 114	+ 118	- 94	+ 112	- 82					
		+ 1,1	- 130	- 113	+ 143	- 81	+ 84					
		+ 1,7	- 170	- 196	- 131	+ 218	- 70					
		+ 1,9	- 165	- 108	- 253	+ 4	+ 135					
		+ 3,4	- 170	- 269	- 14	- 197	- 158					
		+ 4,7	- 174	- 99	- 14	- 197	- 158					
		+ 7,4	- 133	- 244	+ 37	- 250	+ 96					
		+ 12,5	- 113	+ 75	- 490	+ 423	- 823					
		0	0	0	0	0	0					
		0	0	0	0	0	0					
Раккосы.		1'-2'	1'-4'	3'-6'	5'-8'	7'-10'	9'-8'	0'-1'	2'-3'	4'-5'	6'-7'	8'-9'
		+ 3,3	- 809	+ 832	- 660	+ 640	- 439					
		+ 2,6	- 29	- 793	+ 790	- 585	+ 551					
		+ 6,5	- 156	- 91	- 1755	+ 1697	- 1151					
		+ 4,9	+ 44	- 200	- 1021	- 900	+ 848					
		+ 19,0	- 240	- 140	- 830	- 920	- 1720					
		+ 3,9	- 20	+ 88	- 84	- 217	- 261					
		- 3,5	- 21	+ 94	- 94	+ 254	- 170					
		- 10,0	- 240	- 140	- 830	- 920	- 259					
		- 4,9	- 44	+ 200	- 192	+ 508	- 560					
		- 6,5	- 156	- 91	+ 540	- 598	- 1138					
		- 2,6	- 29	+ 130	- 125	+ 330	- 304					
		+ 14,9	- 808	+ 494	- 2784	+ 3098	- 5882					
Стойки.		0'-1'	2'-3'	4'-5'	6'-7'	8'-9'	10'-11'	1'-2'	1'-4'	3'-6'	5'-8'	7'-10'
		- 1,3	+ 29	+ 29	+ 29	+ 29	+ 29	- 29	+ 29	+ 29	+ 29	+ 29
		- 1,9	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8	- 8	+ 8	+ 8	+ 8	+ 8
		- 2,9	+ 44	+ 44	+ 44	+ 44	+ 44	- 44	+ 44	+ 44	+ 44	+ 44
		- 6,8	+ 2	+ 12	- 12	- 146	- 398	+ 44	+ 12	+ 12	+ 12	+ 12
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		+ 0,7	+ 3	+ 11	- 11	+ 27	- 33	+ 3	+ 11	- 11	+ 27	- 33
		+ 2,9	+ 44	+ 26	+ 154	- 168	+ 322	+ 44	+ 26	+ 154	- 168	+ 322
		+ 4,5	+ 8	+ 37	- 39	+ 96	- 107	+ 8	+ 37	- 39	+ 96	- 107
		+ 1,9	+ 17	+ 101	- 110	+ 211	- 211	+ 17	+ 101	- 110	+ 211	- 211
		- 11,6	- 255	- 255	- 255	- 255	- 255	- 255	- 255	- 255	- 255	- 255
1 000 000 000 ψ		- 3870	- 2142	- 5647	+ 1449	- 11109	- 3502	- 2301	- 2326	+ 2979	- 11289	- 11289
10 000 000 ψ		- 39	- 21	- 50	+ 45	- 111	- 35	- 23	- 52	+ 40	- 113	- 113

правой половины фермы
R=1 вь уалъ 2.

Раккосы.						Стойки.					
ψ 1'-2'	ψ 1'-4'	ψ 3'-6'	ψ 5'-8'	ψ 7'-10'	ψ 9'-8'	ψ 0'-1'	ψ 2'-3'	ψ 4'-5'	ψ 6'-7'	ψ 8'-9'	
1 000 000 000 ст. л.						1 000 000 000 ст. л.					
- 71	- 133	+ 17	+ 35	+ 13	+ 34	- 139	+ 25	+ 25	+ 25	+ 25	
- 85	- 184	- 163	+ 44	+ 75	+ 40	- 175	+ 175	+ 58	+ 58	+ 58	
- 78	- 143	- 162	- 139	- 60	- 94	- 151	- 131	- 150	- 82	- 83	
- 79	- 176	- 152	- 185	- 145	- 119	- 167	- 105	- 167	- 167	+ 134	
- 78	- 159	- 156	- 156	- 154	0	- 159	- 159	- 159	- 159	- 159	
- 78	- 159	- 156	- 156	- 154	0	- 159	- 159	- 159	- 159	- 159	
- 80	- 140	- 170	- 133	- 128	- 135	- 153	- 155	- 153	- 155	- 153	
- 78	- 180	- 139	- 190	- 133	- 184	- 163	- 163	- 167	- 163	- 167	
- 83	- 133	- 180	- 120	- 202	- 124	- 156	- 156	- 156	- 156	- 156	
- 69	- 200	- 168	- 223	- 85	- 216	- 162	- 162	- 162	- 162	- 162	
- 58	0	0	0	0	0	- 117	0	0	0	0	
65	+ 2	+ 12	+ 32	+ 12	+ 45	- 128	- 129	- 138	+ 23	+ 23	
- 85	- 184	- 163	+ 44	+ 75	+ 116	- 175	- 175	- 175	- 175	+ 58	
- 82	- 137	- 181	- 124	- 05	+ 80	- 156	- 156	- 165	- 159	- 154	
- 85	- 221	- 139	- 105	- 129	- 143	- 187	- 184	- 190	- 187	- 190	
- 85	- 139	- 193	+ 71	- 207	- 320	- 160	- 160	- 160	- 160	- 160	
- 67	- 192	- 104	- 111	- 81	- 303	- 155	- 148	- 155	- 155	- 155	
- 63	- 25	- 163	+ 150	- 200	- 25	- 88	- 88	- 75	- 88	- 75	
- 406	+ 13	+ 86	- 10	+ 102	- 23	+ 43	+ 43	+ 40	+ 43	+ 40	
+ 16	+ 380	+ 3	+ 104	- 18	+ 94	+ 47	+ 44	+ 49	+ 47	+ 49	
+ 78	+ 33	- 923	- 26	+ 273	- 7	+ 111	+ 117	+ 104	+ 111	+ 104	
+ 24	+ 124	+ 4	- 548	- 28	- 144	+ 72	+ 68	+ 79	+ 72	+ 70	
+ 120	+ 50	+ 350	- 40	- 1350	- 10	+ 170	+ 180	+ 160	+ 170	+ 160	
+ 105	- 59	0	+ 78	- 4	- 273	+ 35	- 31	- 35	+ 35	- 35	
+ 105	- 59	0	+ 78	- 4	- 273	+ 35	- 31	- 35	+ 35	- 35	
+ 120	+ 50	+ 350	- 40	+ 420	- 10	+ 170	+ 180	+ 160	+ 170	+ 160	
+ 24	+ 124	+ 4	+ 160	- 28	+ 144	+ 72	+ 68	+ 79	+ 72	+ 70	
+ 78	+ 33	- 228	- 26	+ 273	- 7	+ 111	+ 117	+ 104	+ 111	+ 104	
+ 16	+ 81	+ 3	+ 104	- 18	+ 94	+ 47	+ 44	+ 49	+ 47	+ 49	
- 404	- 186	- 1167	+ 135	- 1392	+ 314	- 584	- 584	- 539	- 584	- 539	
+ 14	+ 29	+ 29	+ 29	+ 29	+ 29	+ 29	+ 29	+ 29	+ 29	+ 29	
+ 15	+ 6	+ 42	- 6	+ 51	- 2	+ 21	+ 21	+ 19	+ 21	+ 19	
+ 5	+ 23	+ 1	+ 30	+ 5	+ 28	+ 14	+ 13	+ 14	+ 14	+ 14	
+ 23	+ 9	+ 64	- 9	+ 78	- 3	+ 32	+ 32	+ 29	+ 32	+ 29	
+ 2	+ 7	0	+ 10	- 1	+ 54	+ 5	+ 4	+ 5	+ 5	+ 5	
+ 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
+ 1	+ 7	0	+ 8	- 3	+ 32	+ 4	+ 4	+ 4	+ 4	+ 4	
+ 23	+ 9	+ 64	- 9	+ 78	- 3	+ 32	+ 32	+ 29	+ 32	+ 29	
+ 5	+ 23	+ 1	+ 30	+ 5	+ 28	+ 14	+ 13	+ 14	+ 14	+ 14	
+ 15	+ 6	+ 42	- 6	+ 51	- 2	+ 21	+ 21	+ 19	+ 21	+ 19	
- 128	- 255	- 255	- 255	- 255	- 255	- 255	- 255	- 255	- 255	- 255	
- 1518	- 2695	- 3820	- 1475	- 3121	- 857	- 2507	- 2323	- 1977	- 1605	- 1648	
- 15	- 27	- 38	- 15	- 31	- 9	- 25	- 23	- 20	- 16	- 10	

Таблица XXX углов $\varphi = \Sigma \sigma_i$
при положений груза

№ элемента.	λ × 10 000 см.	Верхний пояс.					Нижний пояс.				
		φ -3	φ -5	φ -7	φ -9	φ -11	φ 0-2	φ 2-4	φ 4-6	φ 6-8	φ 8-10
1 000 000 000 σ. λ											
Верхний пояс.	1-3	-14,5	+1711	+1494	-1914	+1073	-1392				
	3-5	-9,5	+990	-1139	+702	-1297	+495				
	5-7	-6,3	+573	+479	+718	+290	-725				
	7-9	-5,4	+394	+475	+270	+632	+76				
	9-11	-4,6	+337	+313	+313	+308	+304				
	11-9'	-4,6	+337	+313	+313	+308	+304				
	9'-7'	-3,8	+243	+186	+331	+72	+467				
	7'-5'	-4,0	+180	+240	+88	+360	-52				
	5'-3'	-2,7	+180	-57	+162	-22	+257				
	3'-1'	-3,3	+59	+109	-17	+208	-135				
То же, что											
для											
верхнего пояса.											
Нижний пояс.	0-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4-6	+13,9	+1641	+1432	-1807	+1029	-1334				
	6-8	+10,1	+1010	+1161	+778	-1293	+414				
	8-10	+5,6	+487	+319	+745	-11	-370				
	10-8'	+5,0	+250	+305	+20	+290	+85				
	8'-6'	+2,7	+100	+57	+162	-243	+478				
	6'-4'	+3,2	+58	+106	+10	+112	-42				
	4'-2'	+0,4	0	0	0	0	+38				
	2'-0'	0	0	0	0	0	0				
Раскосы.	1-2	-16,3	-319	+328	-260	+252	-172				
	1-4	+0,8	-717	+10886	-19821	-14670	-13922				
	3-6	-2,7	+65	-38	-729	+795	-478				
	5-8	-21,5	+237	+1075	+932	-4838	+4558				
	7-10	-4,1	+98	-57	+340	-377	-226				
	9-8'	-19,3	+97	+493	-493	-1255	-1293				
	9-8	-20,1	+121	+503	-482	-1246	-1487				
	7'-10'	-4,1	+98	-57	+340	-377	-226				
	5'-8'	-21,5	+237	+1075	+932	-4838	+4558				
	3'-6'	-2,7	+65	-38	-729	+795	-478				
	1'-4'	+13,6	+150	+680	+553	+1727	-1904				
	1'-2'	+1,3	+23	-14	+81	-90	+170				
Стойки.	0-1	-10,3	-227	-227	-227	-227	-227	-227	-227	-227	
	2-3	+0,8	-107	+172	-137	+133	-90	+12	-7	-137	
	4-5	+6,3	+44	-1210	+1222	+907	+854	+44	+195	-180	
	6-7	+1,2	+18	-11	-205	+997	+139	-11	+64	-70	
	8-9	+3,9	+12	+59	-55	-714	+710	+12	+59	+160	
	10-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8'-9'	-4,0	+16	+64	-60	+150	-188	+16	+64	-60	
	6'-7'	-1,2	+18	-11	+64	-70	+133	+18	-11	+64	
	4'-5'	-6,3	+44	+195	-180	+504	-504	+44	+195	-180	
	2'-3'	-0,8	+12	-7	+42	-46	+86	+12	-7	+42	
	0'-1'	-2,6	+57	+57	+57	+57	+57	+57	+57	+57	
1 000 000 000 φ =		+8305	+20662	-22906	+18366	+10864	+9998	+30288	-23242	+18071	
10 000 000 φ =		+84	+291	-221	+184	+199	+100	+303	-232	+190	

Таблица XXX углов $\varphi = \Sigma \sigma_i$
для половины фермы
Р=1 в узле 4.

№ элемента.	λ × 10 000 см.	Верхний пояс.					Нижний пояс.				
		φ -3	φ -5	φ -7	φ -9	φ -11	φ 0-2	φ 2-4	φ 4-6	φ 6-8	φ 8-10
1 000 000 000 σ. λ											
Верхний пояс.	1-3	-14,5	+1711	+1494	-1914	+1073	-1392				
	3-5	-9,5	+990	-1139	+702	-1297	+495				
	5-7	-6,3	+573	+479	+718	+290	-725				
	7-9	-5,4	+394	+475	+270	+632	+76				
	9-11	-4,6	+337	+313	+313	+308	+304				
	11-9'	-4,6	+337	+313	+313	+308	+304				
	9'-7'	-3,8	+243	+186	+331	+72	+467				
	7'-5'	-4,0	+180	+240	+88	+360	-52				
	5'-3'	-2,7	+180	-57	+162	-22	+257				
	3'-1'	-3,3	+59	+109	-17	+208	-135				
То же, что											
для											
верхнего пояса.											
Нижний пояс.	0-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4-6	+13,9	+1641	+1432	-1807	+1029	-1334				
	6-8	+10,1	+1010	+1161	+778	-1293	+414				
	8-10	+5,6	+487	+319	+745	-11	-370				
	10-8'	+5,0	+250	+305	+20	+290	+85				
	8'-6'	+2,7	+100	+57	+162	-243	+478				
	6'-4'	+3,2	+58	+106	+10	+112	-42				
	4'-2'	+0,4	0	0	0	0	+38				
	2'-0'	0	0	0	0	0	0				
Раскосы.	1-2	-16,3	-319	+328	-260	+252	-172				
	1-4	+0,8	-717	+10886	-19821	-14670	-13922				
	3-6	-2,7	+65	-38	-729	+795	-478				
	5-8	-21,5	+237	+1075	+932	-4838	+4558				
	7-10	-4,1	+98	-57	+340	-377	-226				
	9-8'	-19,3	+97	+493	-493	-1255	-1293				
	9-8	-20,1	+121	+503	-482	-1246	-1487				
	7'-10'	-4,1	+98	-57	+340	-377	-226				
	5'-8'	-21,5	+237	+1075	+932	-4838	+4558				
	3'-6'	-2,7	+65	-38	-729	+795	-478				
	1'-4'	+13,6	+150	+680	+553	+1727	-1904				
	1'-2'	+1,3	+23	-14	+81	-90	+170				
Стойки.	0-1	-10,3	-227	-227	-227	-227	-227	-227	-227	-227	
	2-3	+0,8	-107	+172	-137	+133	-90	+12	-7	-137	
	4-5	+6,3	+44	-1210	+1222	+907	+854	+44	+195	-180	
	6-7	+1,2	+18	-11	-205	+997	+139	-11	+64	-70	
	8-9	+3,9	+12	+59	-55	-714	+710	+12	+59	+160	
	10-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8'-9'	-4,0	+16	+64	-60	+150	-188	+16	+64	-60	
	6'-7'	-1,2	+18	-11	+64	-70	+133	+18	-11	+64	
	4'-5'	-6,3	+44	+195	-180	+504	-504	+44	+195	-180	
	2'-3'	-0,8	+12	-7	+42	-46	+86	+12	-7	+42	
	0'-1'	-2,6	+57	+57	+57	+57	+57	+57	+57	+57	
1 000 000 000 φ =		+8305	+20662	-22906	+18366	+10864	+9998	+30288	-23242	+18071	
10 000 000 φ =		+84	+291	-221	+184	+199	+100	+303	-232	+190	

Таблица XXXI углов $\varphi = \Sigma \delta_i$ при положении груза

правой половины фермы Р=1 в уэль 4.

№ элемента	λ ×10000 см.	Верхний пояс.					Нижний пояс.					
		φ 1'-3'	φ 3'-5'	φ 5'-7'	φ 7'-9'	φ 9'-11'	φ 0'-2'	φ 2'-4'	φ 4'-6'	φ 6'-8'	φ 8'-10'	
1 000 000 000 г. л.												
Верхний пояс.		3,3	380	340	436	244	317					
1'-3'		2,7	270	310	208	346	111					
3'-5'		4,0	304	304	456	184	492					
5'-7'		3,8	277	334	190	448	53					
7'-9'		4,0	317	313	313	308	304					
9'-11'		4,6	317	313	313	308	304					
0'-2'		5,4	346	278	130	567	82					
2'-4'		6,3	384	265	476	163	604					
4'-6'		9,9	366	208	594	79	941					
6'-8'		14,5	261	479	73	914	595					
1 000 000 000 г. л.												
Нижний пояс.		0,4	51	52	42	50	30					
0'-2'		3,2	378	330	416	237	307					
2'-4'		2,7	270	311	208	346	111					
4'-6'		5,0	435	285	665	161	330					
6'-8'		5,6	286	442	22	325	95					
8'-10'		10,4	374	212	606	909	1788					
0'-2'		13,0	350	459	70	487	181					
2'-4'		0,4	51	52	42	50	30					
4'-6'		3,2	378	330	416	237	307					
6'-8'		2,7	270	311	208	346	111					
8'-10'		5,0	435	285	665	161	330					
0'-2'		5,6	286	442	22	325	95					
2'-4'		10,4	374	212	606	909	1788					
4'-6'		13,0	350	459	70	487	181					
6'-8'		0,4	51	52	42	50	30					
8'-10'		3,2	378	330	416	237	307					
0'-2'		2,7	270	311	208	346	111					
2'-4'		5,0	435	285	665	161	330					
4'-6'		5,6	286	442	22	325	95					
6'-8'		10,4	374	212	606	909	1788					
8'-10'		13,0	350	459	70	487	181					
0'-2'		0,4	51	52	42	50	30					
2'-4'		3,2	378	330	416	237	307					
4'-6'		2,7	270	311	208	346	111					
6'-8'		5,0	435	285	665	161	330					
8'-10'		5,6	286	442	22	325	95					
0'-2'		10,4	374	212	606	909	1788					
2'-4'		13,0	350	459	70	487	181					
4'-6'		0,4	51	52	42	50	30					
6'-8'		3,2	378	330	416	237	307					
8'-10'		2,7	270	311	208	346	111					
0'-2'		5,0	435	285	665	161	330					
2'-4'		5,6	286	442	22	325	95					
4'-6'		10,4	374	212	606	909	1788					
6'-8'		13,0	350	459	70	487	181					
8'-10'		0,4	51	52	42	50	30					
0'-2'		3,2	378	330	416	237	307					
2'-4'		2,7	270	311	208	346	111					
4'-6'		5,0	435	285	665	161	330					
6'-8'		5,6	286	442	22	325	95					
8'-10'		10,4	374	212	606	909	1788					
0'-2'		13,0	350	459	70	487	181					
2'-4'		0,4	51	52	42	50	30					
4'-6'		3,2	378	330	416	237	307					
6'-8'		2,7	270	311	208	346	111					
8'-10'		5,0	435	285	665	161	330					
0'-2'		5,6	286	442	22	325	95					
2'-4'		10,4	374	212	606	909	1788					
4'-6'		13,0	350	459	70	487	181					
6'-8'		0,4	51	52	42	50	30					
8'-10'		3,2	378	330	416	237	307					
0'-2'		2,7	270	311	208	346	111					
2'-4'		5,0	435	285	665	161	330					
4'-6'		5,6	286	442	22	325	95					
6'-8'		10,4	374	212	606	909	1788					
8'-10'		13,0	350	459	70	487	181					
0'-2'		0,4	51	52	42	50	30					
2'-4'		3,2	378	330	416	237	307					
4'-6'		2,7	270	311	208	346	111					
6'-8'		5,0	435	285	665	161	330					
8'-10'		5,6	286	442	22	325	95					
0'-2'		10,4	374	212	606	909	1788					
2'-4'		13,0	350	459	70	487	181					
4'-6'		0,4	51	52	42	50	30					
6'-8'		3,2	378	330	416	237	307					
8'-10'		2,7	270	311	208	346	111					
0'-2'		5,0	435	285	665	161	330					
2'-4'		5,6	286	442	22	325	95					
4'-6'		10,4	374	212	606	909	1788					
6'-8'		13,0	350	459	70	487	181					
8'-10'		0,4	51	52	42	50	30					
0'-2'		3,2	378	330	416	237	307					
2'-4'		2,7	270	311	208	346	111					
4'-6'		5,0	435	285	665	161	330					
6'-8'		5,6	286	442	22	325	95					
8'-10'		10,4	374	212	606	909	1788					
0'-2'		13,0	350	459	70	487	181					
2'-4'		0,4	51	52	42	50	30					
4'-6'		3,2	378	330	416	237	307					
6'-8'		2,7	270	311	208	346	111					
8'-10'		5,0	435	285	665	161	330					
0'-2'		5,6	286	442	22	325	95					
2'-4'		10,4	374	212	606	909	1788					
4'-6'		13,0	350	459	70	487	181					
6'-8'		0,4	51	52	42	50	30					
8'-10'		3,2	378	330	416	237	307					
0'-2'		2,7	270	311	208	346	111					
2'-4'		5,0	435	285	665	161	330					
4'-6'		5,6	286	442	22	325	95					
6'-8'		10,4	374	212	606	909	1788					
8'-10'		13,0	350	459	70	487	181					
0'-2'		0,4	51	52	42	50	30					
2'-4'		3,2	378	330	416	237	307					
4'-6'		2,7	270	311	208	346	111					
6'-8'		5,0	435	285	665	161	330					
8'-10'		5,6	286	442	22	325	95					
0'-2'		10,4	374	212	606	909	1788					
2'-4'		13,0	350	459	70	487	181					
4'-6'		0,4	51	52	42	50	30					
6'-8'		3,2	378	330	416	237	307					
8'-10'		2,7	270	311	208	346	111					
0'-2'		5,0	435	285	665	161	330					
2'-4'		5,6	286	442	22	325	95					
4'-6'		10,4	374	212	606	909	1788					
6'-8'		13,0	350	459	70	487	181					
8'-10'		0,4	51	52	42	50	30					
0'-2'		3,2	378	330	416	237	307					
2'-4'		2,7	270	311	208	346	111					
4'-6'		5,0	435	285	665	161	330					
6'-8'		5,6	286	442	22	325	95					
8'-10'		10,4	374	212	606	909	1788					
0'-2'		13,0	350	459	70	487	181					
2'-4'		0,4	51	52	42	50	30					
4'-6'		3,2	378	330	416	237	307					
6'-8'		2,7	270	311	208	346	111					
8'-10'		5,0	435	285	665	161	330					
0'-2'		5,6	286	442	22	325	95					
2'-4'		10,4	374	212	606	909	1788					
4'-6'		13,0	350	459	70	487	181					
6'-8'		0,4	51	52	42	50	30					
8'-10'		3,2	378	330	416	237	307					

Таблица XXXII углов $\varphi = \Sigma \sigma_i$
при положении груза

№ элемента	λ ×10000 см.	Верхний пояс.					Нижний пояс.				
		φ 1-3	φ 3-5	φ 5-7	φ 7-9	φ 9-11	φ 0-2	φ 2-4	φ 4-6	φ 6-8	φ 8-10
		1 000 000 000 ст. λ					1 000 000 000 ст. λ				
Верхний пояс.											
1-3	-5,9	+696	+608	-779	+437	-566					
2-4	-13,4	+1340	+1541	+1032	-1715	+549					
3-5	-10,6	+995	+806	+1208	+488	-1304					
7-9	-7,1	+518	+625	+355	+831	+99					
9-11	-7,0	+483	+470	+470	+460	+402					
11-9'	-7,0	+483	+470	+470	+460	+402					
9'-7'	-6,8	+435	+333	+594	+129	+836					
7'-5'	-4,8	+216	+288	+106	+432	+62					
5'-3'	-5,4	+200	+113	+324	+43	+513					
3'-1'	-3,0	+54	+99	-15	+189	-123					
То же, что											
Нижний пояс.											
0-2	0	0	0	0	0	0					
2-4	+9,9	+1257	-1297	+1030	-1228	+901					
4-6	+5,6	+661	+577	-738	+414	+538					
6-8	-13,7	-1370	-1576	+1055	-1754	+562					
8-10	-10,7	+931	+610	+1423	-21	-706					
10-8'	+5,1	+255	+403	+20	+296	+87					
8'-6'	+5,5	+204	+116	+330	+495	+974					
6'-4'	+2,9	+52	+96	+15	+102	+38					
4'-2'	+2,5	+32	+21	+112	+221	+333					
2'-0'	0	0	0	0	0	0					
для											
верхнего пояса.											
Р а с к о с ы.											
1-2	+35,5	+8698	-8046	+7100	-6887	+4686					
1-4	-2,9	+32	-885	+882	-653	+615					
3-6	+71,4	-1714	+1060	+19278	-18055	+12038					
5-8	-4,6	+51	-230	+221	+1055	+975					
7-10	-30,0	+930	+540	+324	+3588	-6905					
9-8'	-3,6	+18	+86	+86	+234	-241					
9'-8'	+4,8	+29	+120	+115	+298	-355					
7'-10'	-30,0	+930	+540	+324	+3588	-6905					
5'-8'	-4,6	+51	+230	+221	+1055	+974					
3'-6'	-25,5	+612	+357	+2117	-2346	-4403					
1'-4'	-2,9	+32	+145	+130	+368	-406					
1'-2'	+12,7	+229	+140	+787	-876	+354					
С т о я к и.											
0-1	-9,0	-198	-198	-198	-198	+198					
2-3	-20,4	+4204	-3860	+3488	-3386	+2305					
4-5	+14	+16	-269	+272	-202	+180					
6-7	+11,3	+170	-102	-102	+1876	-1277					
8-9	+0,7	+2	+11	-10	-128	+127					
10-11	0	0	0	0	0	0					
0'-9'	-1,0	+4	+16	-15	+39	-47					
6'-7'	-11,3	+170	+102	+599	-655	+1254					
4'-5'	-1,4	+10	+43	+42	+112	-195					
2'-3'	-7,3	+110	-66	+387	-423	+810					
0'-1'	-3,9	+86	+86	+86	+86	+86					
1 000 000 000 ст. φ		+24690	-7611	+39666	-33048	+18640	+20516	-2730	+41886	-35422	+18497
10 000 000 ст. φ		+247	-76	+397	-330	+186	+205	-27	+419	-354	+185

лвйой половины фермы
Р=1 тн уалъ 6.

№ элемента	λ ×10000 см.	Р а с к о с ы.							С т о я к и.				
		φ 1-2	φ 1-4	φ 3-6	φ 5-8	φ 7-10	φ 9-8'	φ 0-1	φ 2-3	φ 4-5	φ 6-7	φ 8-9	φ 10-11
		1 000 000 000 ст. λ							1 000 000 000 ст. λ				
Верхний пояс.													
1-2	+348	+655	-83	-171	-65	-165	+684	-124	-124	-124	-124	-124	
1-4	+670	+1447	+1286	-348	-590	-362	+1380	+1380	-456	-456	-456	-456	
3-6	+498	+890	+1007	+848	+413	-583	+943	+943	+933	-509	-519	-509	
5-8	+250	+568	+490	+596	+469	-383	+540	+533	+540	+540	-433	-433	
7-10	+238	+483	+470	+470	+469	0	+483	+483	+483	+483	+483	+483	
9-8'	+238	+483	+470	+470	+469	0	+483	+483	+483	+483	+483	+483	
0-1	+218	+381	+402	+360	+483	+307	+415	+422	+415	+422	+415	+415	
2-3	+110	+254	+197	+269	+187	+264	+230	+230	+235	+230	+235	+230	
4-5	+97	+157	+221	+140	+238	+140	+184	+184	+184	+184	+184	+184	
6-7	+27	+78	+42	+87	+33	+84	+93	+93	+93	+93	+63	+63	
8-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10-11	+534	-20	-129	-99	-158	-20	+1287	+1287	+59	-69	-59	-69	
0'-9'	+330	+622	-78	-162	-62	-239	+650	+655	+650	-118	-118	-118	
6'-7'	+685	+1480	-1315	-356	-603	-932	+1411	+1411	+1411	+1411	-466	-466	
4'-5'	+460	+770	+1017	+696	-364	-449	+870	+870	+867	+870	+867	+867	
2'-3'	+128	+332	+209	+158	+194	+214	+281	+275	+286	+281	+286	+281	
0'-1'	+99	+160	+226	-83	+242	+374	+187	+187	+187	+187	+187	+187	
1'-2'	+26	+75	+41	+44	+32	+119	+61	+58	+61	+61	+61	+61	
2'-3'	+18	+7	+40	+42	+50	+7	+25	+21	+21	+25	+21	+25	
3'-4'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4'-5'	+4307	-142	+923	+107	-1101	+249	-402	-402	-426	-402	-426	-402	
5'-6'	+17	+423	+3	+110	-20	+104	+52	+49	+55	+52	+55	+52	
6'-7'	+857	-357	+10139	+286	-2999	+71	-1214	-1285	-1142	-1214	-1142	-1214	
7'-8'	+28	+143	+5	-630	-32	+166	+83	+78	+87	+83	+87	+83	
8'-9'	+468	+195	+1305	-150	-2505	-39	+663	+702	+624	+663	+624	+663	
9'-10'	+97	+54	0	+72	-4	-252	+32	+29	+32	+32	+32	+32	
10'-11'	+144	+77	+5	+61	-169	+359	+43	+43	+48	+43	+48	+43	
0'-1'	+408	+195	+1305	-150	-2505	-39	+663	+702	+624	+663	+624	+663	
1'-2'	+28	+143	+5	+184	-32	+166	+83	+78	+87	+83	+87	+83	
2'-3'	+306	+128	-893	-162	+1071	-29	+434	+459	+408	+434	+408	+434	
3'-4'	+17	+90	+3	+116	-20	+104	+54	+49	+55	+52	+55	+52	
4'-5'	+114	+51	+330	+38	+394	-89	+165	+165	+152	+165	+152	+165	
5'-6'	-99	-198	-198	-198	-198	-198	-198	-198	-180	-198	-180	-198	
6'-7'	+163	-61	-449	+61	-551	+20	+224	-224	-204	-224	-204	-224	
7'-8'	+6	+27	+1	+35	+6	+39	+17	+15	+17	+15	+17	+15	
8'-9'	+90	+34	+249	+34	+305	-11	+124	+124	+113	+124	+113	+124	
9'-10'	+1	+6	0	+9	-1	+48	+4	+4	+4	+4	+4	+4	
10'-11'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0'-1'	+2	+10	0	+12	-4	-45	+6	+6	+6	+6	+6	+6	
1'-2'	+90	+34	+249	+34	+305	-11	+124	+124	+113	+124	+113	+124	
2'-3'	+6	+27	+1	+35	+6	+39	+17	+15	+17	+15	+17	+15	
3'-4'	+58	+22	+161	+22	+197	-7	+86	+86	+73	+86	+73	+86	
4'-5'	+43	+86	+86	+86	+86	+86	+86	+86	+86	+86	+86	+86	
1 000 000 000 ст. φ		+10301	-8903	+18725	+2729	-5655	-1524	+1087	+1004	+6820	+4590	+1750	
10 000 000 ст. φ		+103	+90	+187	+27	-57	-15	+108	+100	+68	+18	+18	

Таблица XXXIII уголъ φ = 26°, при положеніи груза Р = 1 въ узлѣ 6.

№ элемента	λ × 10000 см.	Верхній поясъ.					Нижній поясъ.				
		φ 1'-3'	φ 3'-5'	φ 5'-7'	φ 7'-9'	φ 9'-11'	φ 0'-2'	φ 2'-4'	φ 4'-6'	φ 6'-8'	φ 8'-10'
1 000 000 000 σ. λ											
Верхній поясъ.	1'-3'	-3,0	-354	-309	+396	-232	+288				
	3'-5'	5,4	540	621	410	+691	-221				
	5'-7'	4,8	437	395	547	221	+590				
	7'-9'	6,8	490	598	340	790	95				
	9'-11'	7,0	483	476	476	469	-402				
	11-9	7,0	483	476	476	469	-402				
	9-7	7,1	454	348	018	135	873				
	7-5	-10,6	477	636	233	954	+138				
	5-3	-13,4	490	281	804	+107	-1273				
	3-1	5,9	106	195	+29	-372	+242				
То же, что											
для											
верхняго пояса.											
Нижній поясъ.	0'-2'	0	0	0	0	0	0				
	2'-4'	0	445	+459	-364	+434	310				
	4'-6'	2,9	342	299	424	704	-230				
	6'-8'	5,5	550	633	+377	215	+278				
	8'-10'	5,1	444	291	678	106	337				
	10-8	10,7	535	845	-43	621	-182				
	8-6	13,7	507	287	822	+1233	-2425				
	6-4	5,6	101	185	+28	-399	+73				
	4-2	9,9	89	59	317	+624	-941				
	2-0	0	0	0	0	0	0				
Раскосы.	1'-2'	+12,7	-3112	+3200	-2540	+2464	-1670				
	1'-0'	+2,9	32	-885	+882	653	615				
	3'-6'	+35,3	612	337	-685	+6650	4514				
	5'-8'	4,6	51	230	221	1035	973				
	7'-10'	39,0	936	546	+3237	+3588	6903				
	9-8	4,8	22	90	86	312	324				
	9-8'	3,6	24	115	115	312	324				
	7-10	39,0	936	546	+3237	3588	6903				
	5-8	4,6	51	230	221	584	6825				
	3-6	71,4	-1244	-1006	-5926	+6560	+12495				
	1-4	2,9	32	145	139	358	469				
	1-2	+35,5	639	391	-2201	+2450	4651				
Стойки.	0'-1'	-3,9	+86	+86	+86	+86	+86				
	1'-0'	7,3	1526	+1570	-1248	+1212	-825				
	3'-5'	1,4	10	269	+272	202	+1212				
	5'-7'	-11,3	+170	102	-172	+189	-102				
	7'-9'	1,9	3	15	0	183	-187				
	9-11	0	0	0	0	0	0				
	10-11	0	0	0	0	0	0				
	8-9	0,7	3	11	11	27	33				
	6-7	-11,3	+170	102	-172	+189	-102				
	4-5	+1,4	10	43	42	112	112				
	2-3	-20,4	306	184	-1081	+1183	-2264				
	0-1	9,0	198	198	-198	-198	-198				
1 000 000 000 φ = -11686 -2482 -20276 +20329 -7016 -10222 -3860 -18050 +18022 -7249											
10 000 000 φ = -117 -25 -203 +203 -70 -102 -38 -181 +180 -72											

правой половины фермы Р = 1 въ узлѣ 6.

Раскосы.							Стойки.				
φ 1'-2'	φ 1'-4'	φ 3'-6'	φ 5'-8'	φ 7'-10'	φ 9'-8'	φ 0'-1'	φ 2'-3'	φ 4'-5'	φ 6'-7'	φ 8'-9'	
1 000 000 000 σ. λ											
-177	-333	+42	+87	+33	+84	-348	+63	+63	+63	+63	
-270	-583	-318	+140	+238	+140	-556	-556	+183	+183	+183	
-221	-403	-450	384	187	204	-427	-427	-427	-427	-427	
-245	-544	-469	571	449	307	-517	-510	-517	-517	-517	
-238	-483	-476	470	469	0	-483	-483	-483	-483	-483	
-238	-483	-476	470	469	0	-483	-483	-483	-483	-483	
-227	-398	-483	370	504	-383	-433	-440	-433	-440	-433	
-233	-562	-435	594	413	-583	-509	-509	-519	-509	-519	
-241	-380	-549	248	590	362	-456	-456	-456	-456	-456	
-53	-153	-83	-171	-65	-105	-124	-124	-124	-124	-124	
1 000 000 000 σ. λ											
0	7	46	35	56	7	-455	0	21	25	21	
-224	322	41	84	32	110	-330	-330	330	61	61	
-275	594	528	143	242	374	-506	-506	-506	-506	-506	
-219	307	485	331	173	214	-418	-418	-444	-418	-413	
-268	660	459	332	407	449	-580	-578	-599	-580	-596	
-247	397	502	206	603	932	-466	-466	-466	-466	-466	
-50	146	78	84	62	230	-118	-112	-118	-118	-118	
-50	20	129	119	-158	20	-69	-69	-59	-69	-59	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
-1562	51	330	-38	394	-89	+165	+165	+152	+165	+152	
-17	423	3	+116	20	104	+52	+49	+55	+52	+55	
+306	188	-363	102	+1071	26	434	459	+408	434	408	
+28	143	5	630	32	166	83	78	87	83	87	
+408	195	+1305	-150	-5265	39	603	702	624	603	624	
+130	72	0	96	5	330	+38	+38	+43	+38	+43	
+108	58	4	168	22	252	32	32	39	32	39	
+408	195	+1305	-150	+1038	39	603	702	624	603	624	
+28	143	5	184	32	166	83	78	87	83	87	
-857	357	2499	286	-2999	71	-1214	-1285	-1142	-1214	-1142	
+17	99	3	110	20	104	52	49	55	52	55	
-320	-142	-923	+107	-1101	+249	-462	-462	-426	-462	-426	
+43	+86	+86	+86	+86	+86	+86	+86	+86	+86	+86	
+58	+22	+161	+22	+197	7	+80	+80	+73	+80	+73	
+6	+27	1	35	6	32	17	15	17	15	17	
+90	34	249	34	+305	11	124	124	+113	124	+113	
+2	9	0	13	1	68	0	0	5	0	6	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	7	0	8	3	32	4	4	4	4	4	
+90	34	249	34	+305	11	124	124	+113	124	+113	
+6	+27	1	35	6	32	17	15	17	15	17	
+103	61	449	61	551	20	224	224	204	224	204	
-99	-198	-198	-198	-198	-198	-198	-198	-198	-198	-198	
-4802	-6720	-4902	-3488	-9493	-1491	-6723	-6292	-5128	-4050	-2358	
-48	-67	-49	-35	-95	-15	-67	-63	-51	-41	-24	

Таблица XXXIV углов $\varphi = \Sigma \alpha_i$
при положении груза

№ элемента	λ см.	Верхний пояс.					Нижний пояс.				
		φ 1-3	φ 3-5	φ 5-7	φ 7-9	φ 9-11	φ 0-2	φ 2-4	φ 4-6	φ 6-8	φ 8-10
		1 000 000 000 ст. л.					1 000 000 000 ст. л.				
Верхний пояс.	1-3	-10,7	+1203	+1102	-1412	+792	-1027				
	3-5	7,5	+3500	+862	-578	-960	+308				
	5-7	-12,3	+1119	+925	-1402	+566	-1513				
	7-9	-11,1	+810	+977	-555	+1182	+155				
	9-11	9,2	+935	+626	-626	+616	+607				
	11-9'	-9,2	+635	+626	-626	+616	+607				
Нижний пояс.	0-2	0	0	0	0	0	0				
	2-4	2,2	+279	+288	-229	+273	-200				
	4-6	-10,2	+1204	+1034	-1326	+973	-312				
	6-8	-7,6	+760	+874	-585	+755	-979				
	8-10	-10,6	+922	+604	-644	+1410	+21	-200			
	10-8'	7,4	+370	+595	-30	+429	+126	-230			
Ракосы.	1-2	-0,1	+25	+25	-20	+19	-13				
	1-4	+47,5	+523	+1488	-1440	+1068	-10070				
	3-6	-0,3	+7	+4	-81	+78	-53				
	5-8	+74,8	+823	+3740	-3594	+16780	-15858				
	7-10	0,4	+10	+6	-33	+37	-71				
	9-8'	-45,5	+228	+1092	-1092	+2938	-3337				
Стойки.	0-1	-7,7	-169	-169	-169	-169	-169				
	2-3	+0,1	21	+32	-4297	+3182	-2984				
	4-5	+0,2	+3	-2	-34	+33	-23				
	6-7	+9,4	+27	+137	-137	-1665	+1656				
	8-9	0	0	0	0	0	0				
	10-11	-9,0	+36	+14	-135	+351	-423				
1 000 000 000 $\varphi =$		+16204	+39224	-18078	+51214	-48205	+16565	+34403	-13083	+53207	-50239
10 000 000 $\varphi =$		+162	+392	-181	+512	-482	+166	+344	-131	+532	-502

То же, что

для
верхнего пояса.

львой половины фермы
P=1 вь узль 8.

№ элемента	λ см.	Верхний пояс.					Нижний пояс.				
		φ 1-3	φ 3-5	φ 5-7	φ 7-9	φ 9-11	φ 0-2	φ 2-4	φ 4-6	φ 6-8	φ 8-10
		1 000 000 000 ст. л.					1 000 000 000 ст. л.				
Верхний пояс.	1-3	-10,7	+1203	+1102	-1412	+792	-1027				
	3-5	7,5	+3500	+862	-578	-960	+308				
	5-7	-12,3	+1119	+925	-1402	+566	-1513				
	7-9	-11,1	+810	+977	-555	+1182	+155				
	9-11	9,2	+935	+626	-626	+616	+607				
	11-9'	-9,2	+635	+626	-626	+616	+607				
Нижний пояс.	0-2	0	0	0	0	0	0				
	2-4	2,2	+279	+288	-229	+273	-200				
	4-6	-10,2	+1204	+1034	-1326	+973	-312				
	6-8	-7,6	+760	+874	-585	+755	-979				
	8-10	-10,6	+922	+604	-644	+1410	+21	-200			
	10-8'	7,4	+370	+595	-30	+429	+126	-230			
Ракосы.	1-2	-0,1	+25	+25	-20	+19	-13				
	1-4	+47,5	+523	+1488	-1440	+1068	-10070				
	3-6	-0,3	+7	+4	-81	+78	-53				
	5-8	+74,8	+823	+3740	-3594	+16780	-15858				
	7-10	0,4	+10	+6	-33	+37	-71				
	9-8'	-45,5	+228	+1092	-1092	+2938	-3337				
Стойки.	0-1	-7,7	-169	-169	-169	-169	-169				
	2-3	+0,1	21	+32	-4297	+3182	-2984				
	4-5	+0,2	+3	-2	-34	+33	-23				
	6-7	+9,4	+27	+137	-137	-1665	+1656				
	8-9	0	0	0	0	0	0				
	10-11	-9,0	+36	+14	-135	+351	-423				
1 000 000 000 $\varphi =$		+16204	+39224	-18078	+51214	-48205	+16565	+34403	-13083	+53207	-50239
10 000 000 $\varphi =$		+162	+392	-181	+512	-482	+166	+344	-131	+532	-502

		Ракосы.					Стойки.				
φ 1-2	φ 1-4	φ 3-6	φ 5-8	φ 7-10	φ 9-8'	φ 0-1	φ 2-3	φ 4-5	φ 6-7	φ 8-9	φ 10-11
1 000 000 000 ст. л.					1 000 000 000 ст. л.						
+ 631	+1188	-150	-310	-118	-300	+1241	-225	-225	-225	-225	-225
+ 375	+ 810	+ 720	-195	-330	-203	+ 773	+ 773	-255	-255	-255	-255
+ 566	+1033	+1169	+ 984	-180	-677	+1095	-1095	+1082	-590	-603	-590
+ 400	+ 888	+ 766	+ 932	+ 733	-599	+ 844	+ 833	+ 844	+ 844	+ 844	+ 844
+ 313	+ 635	+ 626	+ 626	+ 616	0	+ 935	+ 935	+ 935	+ 935	+ 935	+ 935
+ 313	+ 635	+ 626	+ 626	+ 616	0	+ 935	+ 935	+ 935	+ 935	+ 935	+ 935
+ 237	+ 414	+ 503	+ 392	+ 525	+ 400	+ 451	+ 459	+ 451	+ 459	+ 451	+ 451
+ 180	+ 435	+ 330	+ 459	+ 320	+ 451	+ 394	+ 394	+ 402	+ 394	+ 402	+ 394
+ 90	+ 145	+ 205	+ 130	+ 220	+ 135	+ 170	+ 170	+ 170	+ 170	+ 170	+ 170
+ 64	+ 185	+ 99	+ 206	+ 78	+ 199	+ 149	+ 149	+ 149	+ 149	+ 149	+ 149
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-141	4	29	22	35	4	-286	-286	13	15	13	15
+662	+132	-143	-296	-112	-418	+1183	-1193	+185	-214	-214	-214
+380	+821	+730	-198	-334	-517	+783	+783	+783	+783	+783	+783
+450	+763	+1007	+689	-360	-445	+809	+809	+859	+860	+859	+859
+185	+481	+303	+229	+281	+311	+407	+400	+414	+407	+414	+407
23	38	53	20	57	38	44	44	44	44	44	44
+46	+133	71	77	56	209	+107	+102	+107	+107	+107	+107
-13	5	34	31	42	5	-18	-18	16	18	16	18
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-12	0	3	0	3	-1	+1	+1	1	1	1	1
-285	+6925	-48	-1900	+333	-1719	-855	-808	903	-855	-903	-855
+4	2	-43	-1	13	0	+5	+5	+5	+5	+5	+5
-449	-2319	-75	+10248	+544	-2693	-1340	-1272	-1421	-1340	-1421	-1340
+5	2	14	2	54	0	+7	+7	+7	+7	+7	+7
+1229	+683	0	+910	-46	-3185	+410	+394	+410	+410	+410	+410
+1353	+722	+45	+857	-271	-3157	+606	+606	+451	+606	+451	+606
+5	2	14	2	17	0	+7	+7	+7	+7	+7	+7
+296	+1528	+49	+1972	-345	+1775	+887	+838	+937	+887	+937	+887
+4	2	-11	-1	13	0	+5	+5	+5	+5	+5	+5
+188	+970	31	+1252	-219	+1127	+593	+532	+593	+593	+593	+593
+1	0	3	0	3	-1	+1	+1	1	1	1	1
-85	-169	-169	-169	-169	-169	-169	-169	-169	-169	-169	-169
+1	0	+2	0	+3	0	+1	+1	+1	+1	+1	+1
+388	-420	-22	-553	88	-508	-205	-243	-205	-243	-205	-243
+2	1	4	1	5	0	+2	+2	+2	+2	+2	+2
+18	82	0	+118	-9	+619	+55	+40	+55	+55	+55	+55
0	0	0	0	108	-36	+405	+54	+54	+54	+54	+54
+18	90	0	+108	-36	+405	+54	+54	+54	+54	+54	+54
+2	1	4	1	5	0	+2	+2	+2	+2	+2	+2
+58	+276	+15	+303	-58	+334	+174	+166	+174	+166	+174	+166
+1	0	+2	0	+3	0	+1	+1	+1	+1	+1	+1
+57	+114	+114	+114	+114	+114	+114	+114	+114	+114	+114	+114
+7090	+18237	+6848	+17606	+1678	-9227	+9536	-8059	+7337	+4277	+1693	-1015
+70	+182	+68	+177	+17	-92	+95	+81	+72	+43	+17	-10

Таблица XXXV углов $\varphi = \Sigma \sigma, \lambda$
при положении груза

№ элемента	λ ×10000 см.	Верхний пояс.					Нижний пояс.					
		φ 1'-3'	φ 3'-5'	φ 5'-7'	φ 7'-9'	φ 9'-11'	φ 0'-2'	φ 2'-4'	φ 4'-6'	φ 6'-8'	φ 8'-10'	
		1 000 000 000 σ, λ					1 000 000 000 σ, λ					
Верхний пояс.												
1'-3'	-7,1	-838	731	+ 937	- 535	+ 682						
3'-5'	-5,0	-590	- 575	- 385	+ 640	- 205						
5'-7'	-8,2	-749	- 623	- 935	- 377	- 1009						
7'-9'	-7,4	-549	- 651	- 370	- 866	- 1034						
9'-11'	-9,2	- 635	- 626	- 626	- 616	- 607						
11-9	-9,2	- 635	- 626	- 626	- 616	- 607						
9-7	-11,1	- 710	- 544	- 966	- 211	- 1365						
7-5	-12,3	- 554	- 738	- 271	- 1107	+ 161						
5-3	-7,5	- 278	- 158	- 450	+ 60	+ 713						
3-1	-10,7	- 193	- 353	+ 54	- 674	+ 439						
Нижний пояс.												
0'-2'	0	+ 330	0	+ 270	- 322	0						
2'-4'	+ 2,6	+ 602	- 525	+ 663	- 372	+ 490						
4'-6'	+ 5,1	- 130	- 156	- 166	+ 166	- 53						
6'-8'	+ 7,4	- 844	- 422	- 984	- 15	+ 488						
8'-10'	+ 10,6	- 530	- 837	- 42	- 615	- 186						
10-8	+ 7,6	- 281	- 160	+ 450	+ 984	- 1345						
8-6	+ 10,3	- 185	- 240	+ 52	- 361	+ 133						
6-4	+ 2,2	+ 20	- 13	+ 70	- 139	+ 209						
4-2	0	0	0	0	0	0						
2-0	0	0	0	0	0	0						
Р а с к о с ы.												
1'-2'	+ 0,1	- 25	+ 25	- 20	+ 19	- 13						
1'-4'	+ 31,3	- 344	- 9547	+ 0515	- 7043	+ 6636						
3'-6'	+ 0,3	- 7	- 81	+ 81	- 78	- 53						
5'-8'	+ 40,3	- 542	- 2465	- 2366	- 11093	+ 10501						
7'-10'	+ 0,4	- 10	- 6	- 33	- 37	- 21						
9'-8'	+ 45,1	- 226	- 1082	- 1082	- 2032	- 3022						
9'-8'	+ 45,1	- 226	- 1082	- 1082	- 2032	- 3022						
7'-10'	+ 0,4	- 10	- 6	- 33	- 37	- 21						
5'-8'	+ 74,8	- 823	- 3740	- 3590	- 9500	+ 10472						
3'-6'	+ 0,3	- 7	- 81	+ 81	- 78	- 53						
1-4	+ 17,5	- 523	- 2375	- 2286	- 6033	+ 6650						
1-2	+ 0,1	- 2	- 1	- 6	- 7	- 13						
С т о я к и.												
0'-1'	-5,2	+ 114	+ 114	+ 114	+ 114	+ 114						
1'-3'	-0,1	- 21	- 22	- 17	- 17	- 11						
4'-5'	+ 10,5	+ 102	- 2784	- 2813	- 2088	+ 1958						
6'-7'	-0,2	- 3	- 2	- 34	+ 33	- 23						
8'-9'	-0,0	+ 27	+ 135	- 135	- 1047	+ 1638						
10-11	0	0	0	0	0	0						
8-9	+ 0,1	+ 30	+ 146	- 137	+ 355	- 428						
6-7	+ 0,2	- 3	- 2	- 11	- 12	- 22						
4-5	-25,1	- 155	- 685	- 663	- 1768	- 1097						
2-3	+ 0,1	- 2	- 1	- 5	- 6	- 11						
0-1	-7,7	- 169	- 169	- 169	- 169	- 169						
1 000 000 000 φ		-7059	-27542	+0790	-38266	+31510						
10 000 000 φ		-77	-275	+98	-383	+315						
							-7864	-24331	+6587	-36295	+29494	
							-79	-243	+66	-363	+295	

То же, что
для
верхнего пояса.

правой половины фермы
R=1 вь узлѣ 8.

Р а с к о с ы.								С т о я к и.				
φ 1'-2'	φ 1'-4'	φ 3'-6'	φ 5'-8'	φ 7'-10'	φ 9'-8'	φ 0'-1'	φ 2'-3'	φ 4'-5'	φ 6'-7'	φ 8'-9'		
1 000 000 000 σ, λ					1 000 000 000 σ, λ							
-419	-788	+ 99	+ 206	+ 78	+ 199	-824	+ 149	+ 149	+ 149	+ 149		
-250	-540	-480	+ 130	+ 220	+ 135	-515	-515	+ 170	+ 170	+ 170		
-377	-689	-511	-650	+ 320	+ 451	-730	-730	-732	-732	-732		
-266	-592	-511	-622	-488	+ 400	-662	-555	-502	-502	-451		
-313	-635	-626	-626	-616	0	-635	-635	-635	-635	-635		
-313	-635	-626	-626	-616	0	-635	-635	-635	-635	-635		
-255	-622	-755	-588	-788	-599	-677	-688	-677	-688	-677		
-283	-652	-504	-689	-480	-677	-500	-500	-603	-500	-603		
-135	-218	-307	-195	-330	-203	-255	-255	-255	-255	-255		
-96	-278	-150	-310	-118	-300	-225	-225	-225	-225	-225		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
+166	-5	-34	-26	-42	-5	+338	+338	-16	-18	-16		
-301	-566	+ 71	+ 148	+ 56	+ 209	-592	-597	-592	+ 107	+ 107		
-65	-140	-125	+ 34	+ 57	+ 88	-134	-134	-134	+ 134	+ 44		
-318	-533	-703	-481	-252	+ 311	-607	-607	-644	-607	-599		
-205	-689	-435	-329	-403	-445	-583	-572	-594	-583	-594		
-139	-220	-312	+ 114	-334	-517	-238	-238	-238	-238	-238		
-93	-268	-144	-155	-112	-418	-216	-200	-216	-216	-216		
+11	+ 4	+ 29	-20	+ 35	+ 0	+ 15	+ 15	+ 13	+ 15	+ 13		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
-12	-4570	+ 3	+ 1252	+ 217	-1	+1	+532	+595	+593	+593		
+188	-4	+ 31	+1252	+ 217	+1127	+5	+5	+5	+5	+5		
+ 4	+ 2	- 43	- 1	- 13	0	+ 887	+ 838	+ 937	+ 887	+ 937		
+ 296	-1528	+ 49	-6754	-345	+1775	+ 7	+ 7	+ 6	+ 7	+ 6		
+ 5	+ 2	+ 14	- 2	- 54	0	+ 7	+ 7	+ 6	+ 7	+ 6		
+1218	-677	0	+ 902	- 45	-3157	+ 406	+ 361	+ 406	+ 406	+ 406		
+1305	-728	+ 46	+ 865	- 273	-3185	+ 410	+ 410	+ 455	+ 410	+ 455		
+ 5	+ 2	+ 14	- 2	- 17	0	+ 7	+ 7	+ 6	+ 7	+ 6		
+ 449	-2319	- 75	-2092	- 524	-2093	-1346	-1272	-1421	-1346	-1421		
+ 4	+ 2	- 11	- 1	- 13	0	+ 5	+ 5	+ 5	+ 5	+ 5		
+ 285	-1473	- 48	-1900	- 333	-1710	+ 855	+ 808	- 903	+ 855	- 903		
+ 1	0	+ 3	0	+ 3	- 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1		
+ 57	+ 114	+ 114	+ 114	+ 114	+ 114	+ 114	+ 114	+ 114	+ 114	+ 114		
+ 58	+ 270	+ 15	+ 363	- 58	+ 334	+ 174	+ 160	+ 174	+ 160	+ 174		
+ 2	+ 1	+ 4	+ 1	+ 5	0	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2		
+ 18	+ 81	0	+ 117	- 9	+ 612	+ 54	+ 45	+ 54	+ 45	+ 54		
+ 18	+ 91	0	+ 109	- 30	- 410	+ 55	+ 55	+ 55	+ 55	+ 55		
+ 88	- 420	- 22	- 553	+ 88	- 508	+ 205	+ 243	+ 205	+ 243	+ 205		
+ 1	0	+ 2	0	+ 3	0	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1		
- 85	- 169	- 169	- 169	- 169	- 169	- 169	- 169	- 169	- 169	- 169		
-1487	-13512	-6350	-13351	-3391	-9239	-7625	-6645	-6374	-4512	-3315		
- 15	- 135	- 64	- 134	- 34	- 92	- 26	- 66	- 64	- 45	- 33		

Таблица XXXVI углов $\psi = \Sigma \delta$
при положении груза

№ элемента	λ ×10 000 см.	Верхний пояс.					Нижний пояс.				
		ψ 1-3	ψ 3-5	ψ 5-7	ψ 7-9	ψ 9-11	ψ 0-2	ψ 2-4	ψ 4-6	ψ 6-8	ψ 8-10
		1 000 000 000 ст. λ					1 000 000 000 ст. λ				
Верхний пояс.	1-3 -4,5 3-5 -9,4 5-7 -7,7 7-9 -11,0 0-11 -11,5 11-9' -11,6 9'-7' -7,7 5'-3' -9,4 3'-1' -4,5	+531 +940 +701 +847 +794 +742 +347 +348 +81	+464 -1081 +585 -1021 +282 -1099 +504 +107	+592 +724 +580 +782 +1090 +169 +220 +402 +23	+333 -1203 +354 -1357 +771 +771 +220 +693 +284	-432 +385 -947 +162 +259 +756 +1427 +100 +893 -183	То же, что				
Нижний пояс.	0-2 +0,7 2-4 +6,7 4-6 +4,3 6-8 +8,1 8-10 +8,1 10-8' +9,6 8'-6' +4,3 4'-8' +6,7 2'-0'	0 +851 +507 +966 +705 +405 +355 +77 +60	0 -878 +443 -1104 +462 -1104 +202 +142 +40	0 +697 +559 +739 +1077 +32 +576 +22 +214	0 -831 +318 -1224 -16 +470 -864 +151 +424	0 +910 -413 +394 -535 +138 -1700 +56 +637 0	Для				
Р а с к о с ы.	1-2 +24,1 1-4 +48,4 3-6 +0 5-8 +74,0 7-10 +2,5 9-8' -2,5 7'-10' +74,0 5'-8' +0 3'-6' +48,4 1'-4' +24,1 1'-2'	+5905 -1162 +678 -1776 +13 -15 +1776 -1036 +0 +1162 +434	-6073 +13068 -1032 -6142 +681 0 -678 +0 -678 -205	+4820 -13068 -1032 -6142 +681 +12956 0 +4017 -1663	-4975 +318 -1224 -16 +470 -864 +151 +424 +3157	+3181 +8507 0 +13008 +168 +185 +12956 -8470 0 +3157	Верхнего пояса.				
С т о й к и.	0-1 -6,5 2-3 -13,0 4-5 +0 6-7 -21,5 8-9 +0,5 10-11 +0 6'-9' +0,5 4'-5' -21,5 2'-3' -13,0 0'-1'	-143 +2995 -323 +194 +2 -323 +194 +2 +209 +143	-143 -2089 +104 +8 +8 +1140 +1140 +737 +143	-143 +2377 -3560 -92 +20 -1247 +2387 +209 +143	-143 +1571 +2436 +91 +2 +8 +1140 +1140 +866 +143	+143 -2307 +1247 +2430 +21 +24 +2387 -26807 +4560	То же, что				
1 000 000 000 $\psi =$	+19491	-1201	+38925	-31736	+45742	+16663	+1823	+34138	-26807	+4560	
10 000 000 $\psi =$	+195	+13	-390	+317	-457	-167	-18	-341	+268	-456	

всѣхъ элементовъ фермы

P=1 въ узлѣ 10.

ψ 1-2	Р а с к о с ы.					С т о й к и.					
	ψ 1-4	ψ 3-6	ψ 5-8	ψ 7-10	ψ 9-8'	ψ 0-1	ψ 2-3	ψ 4-5	ψ 6-7	ψ 8-9	ψ 10-11
	1 000 000 000 ст. λ					1 000 000 000 ст. λ					
+296	+500	-69	-131	-50	-139	+522	-95	-95	-95	-95	-95
+470	+1015	+902	-244	414	254	+968	+908	-320	-320	-320	-320
+354	+647	+732	+616	300	424	+685	+685	+678	-370	-377	-370
+418	+928	+800	+974	+799	-620	+882	+870	+882	+882	-708	-708
+391	794	-284	-282	771	0	+794	+794	+794	+794	+794	+794
+301	794	-284	-282	771	0	+794	+794	+794	+794	+794	+794
+371	650	780	615	824	+620	+708	+719	+708	+719	+708	+708
+177	+408	+316	-431	+309	+434	+370	+370	+377	+370	+377	+370
+169	273	+385	-244	+414	+254	+340	+340	+320	+320	+320	+320
+41	+117	+63	+131	+50	+126	+95	+95	+95	+95	+95	+95
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+429	-13	-87	-67	-107	-13	+871	+871	-40	-47	-40	-47
+234	+477	-60	-125	-47	-170	+499	+593	+499	-90	-90	-90
+486	+1037	+922	-250	422	653	+989	+989	+989	+989	-320	-320
+348	+583	+770	+527	275	340	+664	+664	+656	+664	+656	+664
+203	+527	+332	+251	+308	+340	+446	+437	+454	+440	+454	+440
+173	+278	+394	+144	+422	+653	+340	+340	+320	+320	+320	+340
+39	112	-66	+65	47	-170	90	-86	90	90	90	90
+34	+13	+87	-80	+107	+13	+47	+47	+40	+47	+40	+47
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+2904	-96	-627	+72	-747	+169	-313	-313	-289	-313	-289	-313
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-581	-212	+6873	+194	-2033	+48	-823	-871	-774	-823	-774	-823
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-888	-370	-2590	+296	+9990	+74	-1258	-1332	-1184	-1258	-1184	-1258
+68	+38	0	+50	3	175	+23	+20	+23	+23	+23	+23
+1	5	40	3	48	15	175	23	23	23	23	23
+888	+370	+2590	-296	-3108	-74	+1258	+1332	+1184	+1258	+1184	+1258
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+581	+242	-1694	-194	+2033	-48	+823	+871	+774	+823	+774	+823
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+217	+96	+627	-72	+747	-169	+313	+313	+289	+313	+289	+313
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-72	-143	-143	-143	-143	-143	-143	-143	-143	-143	-143	-143
-111	-42	-306	+42	-375	+14	-153	-153	-139	-153	-139	-153
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-172	65	-473	+65	581	+22	-237	-237	-215	-237	-215	-237
+1	+5	0	+7	-1	+34	+3	+3	+3	+3	+3	+3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1	-5	0	0	+2	+23	-3	-3	-3	-3	-3	-3
+172	65	-473	+65	581	+22	-237	-237	-215	-237	-215	-237
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+111	+42	+306	-42	-375	-14	+153	+153	+139	+153	+139	+153
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+72	+143	+143	+143	+143	+143	+143	+143	+143	+143	+143	+143
+8782	-0138	-13082	+13802	+16276	+57	+10070	+9440	+7245	+5614	+2660	0
+88	+91	+131	+44	+163	+65	+101	+94	+72	+56	+27	0
-88	-91	-131	-44	-163	-65	-101	-94	-72	-56	-27	0
ψ 1'-2'	ψ 1'-4'	ψ 3'-6'	ψ 5'-8'	ψ 7'-10'	ψ 9'-8'	ψ 0'-1'	ψ 2'-3'	ψ 4'-5'	ψ 6'-7'	ψ 8'-9'	ψ 10-11

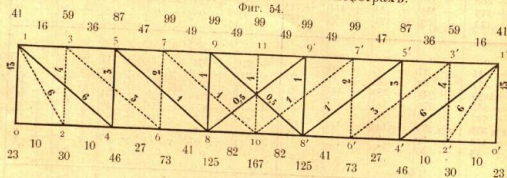
§ 23. Расчет углов φ вращения узлов.

На основании изложенного в § 8 углы φ определялись из системы уравнений связующего вида (ур. 20).

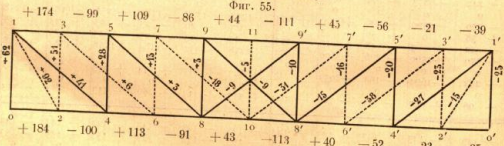
$$3 \sum \varphi_{n,x} N_{n,x} = (2 \sum N_{n,x}) \varphi_n + \sum (N_{n,x} \varphi_x)$$

где n означает номер узла для которого требуется определить φ , а x - номера тех узлов, которые непосредственно связаны с узлом n . Так как φ и $N = \frac{2EI}{l}$ - величины известные, то число неизвестных φ будет равно числу уравнений или числу узлов. Для удобства составления уравнений для каждой случая нагрузки писались три схемы по образцу фиг. 54, 55 и 56; соответствующих положению груза = 1 т. от узла 2.

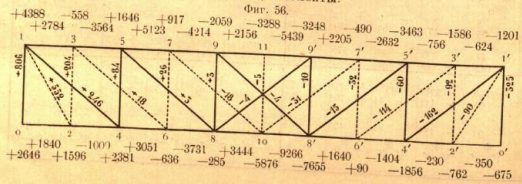
Значения N и $\sum N$.
Изгибающие моменты в 100 тоннометрах.
Фиг. 54.



Значения 10 000 000 φ .
(Отвлеченны числа).
Фиг. 55.



Значения (φN) и $\sum (\varphi N)$.
Изгибающие моменты.
Фиг. 56.



Первая схема (фиг. 54) содержит значения $N = \frac{2EI}{l}$ для всех элементов и значения $\sum N$ для всех узлов фермы. Вторая схема (фиг. 55) содержит значения φ , увеличенные в 1000000 раз и выписанные из таблиц XXVIII и XXIX. Третья схема (фиг. 56) содержит значения φN для всех элементов и значения $\sum \varphi N$ для всех узлов фермы.

Уравнения, соответствующие всем 5 случаям нагрузки, помещены в таблицу XXXVII. Правая часть уравнений, или точнее сказать, коэффициенты при неизвестных φ не зависят от нагрузки и остаются одни и те же во всех 5 случаях. Зато изменяется член $3 \sum \varphi_{n,x} N_{n,x}$, составляющий левую часть уравнений. Значения этого члена, соответствующие пяти случаям нагрузки, выписаны в 5 первых графах таблицы XXXVII.

Из таблицы XXXVII усматривается, что все коэффициенты неизвестных φ расположены симметрично относительно нисходящей диагонали, причем симметрия наблюдается не только по направлению перпендикулярному к диагонали, но также по горизонтальному и вертикальному направлениям. Указанная симметричность дает возможность быстрой проверки таблицы.

Для определения углов φ , соответствующих каждому из 5 случаев нагрузки, необходимо решить 22 уравнения с 22 неизвестными. Решение производилось по способу, изложенному в § 8 IV, и дающему достаточно точные результаты. Определив по формулам 21 первые приближенные значения углов $\varphi'_n = \frac{\sum \varphi_{n,x} N_{n,x}}{\sum N_{n,x}}$, таковыми подставлялись в правую сторону уравнений 22; отсюда получались вторые приближения углов φ''_n . Подставляя последние в правую сторону тех же уравнений 22, рассчитывались третьи приближения φ'''_n и т. д. Расчеты повторялись до тех пор, пока разность между последними и предыдущими значениями одних и тех же углов φ не получалась достаточно малою; что имело место для восьмого приближения. Значения углов φ приведены в таблицу XXXVIII.

Таблица XXXVIII углов φ

при положении груза $P=1$ тон. в узле:

	2	4	6	8	10
φ_0	+124,6	+77,0	+164,3	+108,0	+142,0
φ_1	+141,5	+67,2	+191,4	+86,5	+155,3
φ_2	+36,0	+204,5	+31,3	+259,1	+40,2
φ_3	+43,9	+305,3	+54,3	+421,4	+30,0
φ_4	+71,7	+79,4	+395,6	+129,4	+361,3
φ_5	+32,7	+33,5	+281,2	+51,4	+326,5
φ_6	+28,8	+21,2	+124,3	+467,1	+189,8
φ_7	+13,0	+84,3	+5,1	+263,5	+58,3
φ_8	+12,5	+235,9	+0,6	+261,1	+347,0
φ_9	+26,2	+200,5	+133,5	+10,7	+117,8
φ_{10}	+34,1	+142,7	+87,6	+139,8	0
φ_{11}	+32,2	+54,7	+102,4	+120,6	0
φ_{12}	+44,5	+168,1	+65,9	+36,3	0
φ_{13}	+86,6	+21,5	+25,6	+210,0	+117,8
φ_{14}	+18,0	+43,5	+29,5	+247,5	+347,0
φ_{15}	+38,8	+100,4	+90,3	+337,3	+38,3
φ_{16}	+58,9	+30,0	+184,7	+189,8	+189,8
φ_{17}	+66,2	+10,2	+200,0	+20,4	+326,5
φ_{18}	+19,3	+124,6	+12,8	+64,0	+361,3
φ_{19}	+17,5	+73,2	+39,0	+281,2	+30,0
φ_{20}	+28,7	+33,5	+91,5	+154,6	+40,2
φ_{21}	+32,0	+48,2	+89,3	+41,6	+155,3
φ_{22}				+79,6	+142,0

Углы φ увеличены в 10 000 000 раз.

§ 24. Расчет дополнительных моментов.

Подставляя рассчитанные значения углов φ и ψ в уравнение $M_{из} = N_{из} (2\varphi_1 + \varphi_2 - 3\varphi_{из})$, нетрудно определить приближенные значения моментов, действующих на оба конца каждого элемента. Вследствие допущенных неточностей при расчете углов φ сумма моментов для элементов, сходящихся в отдельных узлах, не равнялась нулю, как требуется для равновесия сил, — а имела некоторую величину ΣM . Распределяя ΣM на все моменты узла пропорционально значениям $N_{из}$ отдельных элементов, рассчитывались исправленные значения моментов, удовлетворяющие условию $\Sigma M = 0$.

В таблице XXXIX представлен полный расчет моментов для случая, когда груз $P=1$ т. находится в узле 6. Остальные 4 случая не приведены вследствие однообразности расчетов.

Таблица XXXIX для расчета моментов.

№ узла. № эле- мента.	$N_{из}$ = $\frac{P}{2EI}$	φ_1	φ_2	$M_{из} = N_{из} (2\varphi_1 + \varphi_2 - 3\varphi_{из})$.	По- правка р. $N_{из}$	Исправ- ленный момент изл. сч. 1.
0-1	13	+191,4	+108	$M_{01} = 13 (2 \cdot 191,4 + 101,4 - 3 \cdot 108) = +2548,0$	+1,70	+2550
0-2	10	+31,3	+205	$M_{02} = 10 (2 \cdot 31,3 + 205 - 3 \cdot 205) = -2551,0$	-1,30	-2550
	23			$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{-3,0}{23} = -0,130$		$\Sigma M = 0$
1-0	13	+164,3	+108	$M_{10} = 13 (2 \cdot 164,3 + 164,3 - 3 \cdot 108) = +2900,3$	+6,0	+2906
1-2	6	+31,3	+103	$M_{12} = 6 (2 \cdot 31,3 + 31,3 - 3 \cdot 103) = -630,6$	+2,7	+634
1-4	6	+395,6	+90	$M_{14} = 6 (2 \cdot 31,3 + 395,6 - 3 \cdot 90) = +3050,4$	+2,7	+3053
1-3	16	+54,3	+247	$M_{13} = 16 (2 \cdot 191,4 + 54,3 - 3 \cdot 247) = -6000,0$	-7,3	-6007
	41			$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{-18,7}{41} = -0,456$		$\Sigma M = 0$
2-0	10	+164,3	+205	$M_{20} = 10 (2 \cdot 31,3 + 164,3 - 3 \cdot 205) = -3881,0$	-4,8	-3886
2-1	6	+191,4	+103	$M_{21} = 6 (2 \cdot 31,3 + 191,4 - 3 \cdot 103) = -330,0$	-2,8	-333
2-3	4	+54,3	+100	$M_{23} = 4 (2 \cdot 31,3 + 54,3 - 3 \cdot 100) = -1166,8$	-1,8	-1168
2-4	10	+395,6	+27	$M_{24} = 10 (2 \cdot 31,3 + 395,6 + 3 \cdot 27) = +5392,0$	+4,8	+5387
	30			$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{+14,2}{30} = +0,473$		$\Sigma M = 0$
3-1	16	+191,4	+247	$M_{31} = 16 (-2 \cdot 54,3 + 191,4 + 3 \cdot 247) = -10531,2$	+0,3	-10531
3-2	4	+31,3	+100	$M_{32} = 4 (-2 \cdot 54,3 + 31,3 - 3 \cdot 100) = -1509,2$	0	-1509
3-6	3	+124,3	+187	$M_{36} = 3 (-2 \cdot 54,3 - 124,3 - 3 \cdot 187) = -2381,7$	0	-2382
3-5	30	+281,2	+76	$M_{35} = 30 (-2 \cdot 54,3 + 281,2 + 3 \cdot 76) = +14421,0$	+0,3	+14422
	59			$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{-0,5}{59} = -0,008$		$\Sigma M = 0$
4-2	10	+31,3	+27	$M_{42} = 10 (2 \cdot 395,6 + 31,3 + 3 \cdot 27) = +9035,0$	+3,7	+9039
4-1	6	+191,4	+90	$M_{41} = 6 (2 \cdot 395,6 - 191,4 - 3 \cdot 90) = +4275,0$	+2,2	+4278
4-5	3	+281,2	+68	$M_{45} = 3 (2 \cdot 395,6 + 281,2 - 3 \cdot 68) = +2665,4$	+1,1	+2666
4-6	27	+124,3	+419	$M_{46} = 27 (2 \cdot 395,6 - 124,3 - 3 \cdot 419) = -15932,7$	+0,9	-15933
	46			$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{-16,9}{46} = -0,367$		$\Sigma M = 0$
5-3	36	+54,3	+76	$M_{53} = 36 (2 \cdot 281,2 - 54,3 + 3 \cdot 76) = +26499,6$	+25,7	+26525
5-4	3	+395,6	+68	$M_{54} = 3 (2 \cdot 281,2 + 395,6 - 3 \cdot 68) = +2262,0$	+2,1	+2264
5-8	1	+0,6	+27	$M_{58} = 1 (2 \cdot 281,2 - 0,6 + 3 \cdot 27) = +480,8$	+0,7	+482
5-7	47	+3,1	+397	$M_{57} = 47 (2 \cdot 281,2 + 3,1 - 3 \cdot 397) = -20304,5$	+33,6	-20271
	87			$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{-62,1}{87} = -0,714$		$\Sigma M = 0$
6-4	27	+395,6	+419	$M_{64} = 27 (-2 \cdot 124,3 + 395,6 - 3 \cdot 419) = -29970,0$	0	-29970
6-3	3	+54,3	+187	$M_{63} = 3 (-2 \cdot 124,3 - 54,3 - 3 \cdot 187) = -2591,7$	0	-2592
6-7	2	+5,1	+46	$M_{67} = 2 (-2 \cdot 124,3 + 5,1 - 3 \cdot 46) = -703,0$	0	-703
6-8	41	+0,6	+354	$M_{68} = 41 (-2 \cdot 124,3 - 0,6 + 3 \cdot 354) = +33324,8$	0	+33325
	73			$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{+0,1}{73} = 0,001$		$\Sigma M = 0$
7-5	47	+281,2	+397	$M_{75} = 47 (2 \cdot 5,1 + 281,2 - 3 \cdot 397) = -42281,3$	+22,9	-42304
7-6	2	+124,3	+46	$M_{76} = 2 (2 \cdot 5,1 - 124,3 - 3 \cdot 46) = -504,8$	+1,0	-503
7-10	1	+87,6	+57	$M_{710} = 1 (2 \cdot 5,1 + 87,6 + 3 \cdot 57) = +268,8$	+0,5	+269
7-9	49	+133,5	+330	$M_{79} = 49 (2 \cdot 5,1 - 133,5 + 3 \cdot 330) = +42408,3$	+23,0	+42431
	99			$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{-48,3}{99} = -0,488$		$\Sigma M = 0$
8-6	41	+124,3	+354	$M_{86} = 41 (-2 \cdot 0,6 - 124,3 - 3 \cdot 354) = +38396,5$	+11,0	+38384
8-5	1	+281,2	+27	$M_{85} = 1 (-2 \cdot 0,6 + 281,2 - 3 \cdot 27) = +199,0$	+0,3	+199
8-9	1	+132,5	+18	$M_{89} = 1 (-2 \cdot 0,6 - 132,5 - 3 \cdot 18) = -188,2$	-0,3	-189
8-10	0,5	+65,9	+15	$M_{810} = 0,5 (-2 \cdot 0,6 + 65,9 - 3 \cdot 15) = +34,0$	+0,1	+35
	82	+87,6	+185	$M_{810} = 82 (-2 \cdot 0,6 + 87,6 - 3 \cdot 185) = -38425,2$	-23,9	-38449
	125,5			$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{+36,5}{125,5} = +0,291$		$\Sigma M = 0$

№ узла	№ стержня	$N_{ax} = \frac{2EI}{l}$	φ_a	φ_{ax}	$M_{ax} = N_{ax}(2\varphi_a + \varphi_{ax} - 3\varphi_{ax})$	Поперечная сила P, N_{ax}	Исправленный момент M_{ax}	Исправленный момент M_{ax}
9	9-7	49	+ 5,1	-330	$M_{97} = 49(-2.133,5 + 5,1 + 3.330) = +3576,0$	+86,6	+3576,0	
	9-8	1	+ 0,6	+18	$M_{98} = 1(-2.133,5 - 0,6 - 3.18) = -321,6$	+1,8	-321,6	
	9-8'	0,5	+25,0	-15	$M_{98'} = 0,5(-2.133,5 - 25,0 + 3.15) = -123,8$	+0,9	-123,8	
	9-11	49	+102,4	+186	$M_{911} = 49(-2.133,5 + 102,4 + 3.186) = +35407,4$	+86,0	+35407,4	
		99,5		$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{-175,9}{99,5} = -1,768$			$\Sigma M = 0$	
10	10-8	82	+ 0,6	+185	$M_{108} = 82(2.876,0 - 0,6 - 3.185) = -31192,8$	+30,4	-31192,8	
	10-7	1	+ 5,1	-57	$M_{107} = 1(2.876,0 + 5,1 - 3.57) = +280,6$	+0,4	+280,6	
	10-11	1	+102,4	-57	$M_{1011} = 1(2.876,0 + 102,4 - 3.57) = +280,6$	+0,4	+280,6	
	10-8'	82	+29,5	-95	$M_{108'} = 82(2.876,0 + 29,5 - 3.95) = +489,7$	+0,4	+489,7	
		167		$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{-74}{167} = -0,443$			$\Sigma M = 0$	
11	11-9	49	-133,5	+186	$M_{119} = 49(2.102,4 - 133,5 + 3.186) = -23848,3$	-9,6	-23848,3	
	11-10	1	+ 87,6	-7	$M_{1110} = 1(2.102,4 + 87,6 - 3.7) = +313,4$	+0,2	+313,4	
	11-9'	49	+ 65,9	-70	$M_{119'} = 49(2.102,4 + 65,9 - 3.70) = +23554,3$	-9,6	+23554,3	
	11-9''	99			$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{-19,4}{99} = -0,196$			$\Sigma M = 0$
9'	9'-11	49	+102,4	-70	$M_{9'11} = 49(2.059,0 + 102,4 - 3.70) = +21765,8$	-46,7	+21719	
	9'-8	0,5	+ 0,6	-15	$M_{9'8} = 0,5(2.059,0 - 0,6 - 3.15) = -88,1$	+0,9	-87	
	9'-8'	1	+25,0	-24	$M_{9'8'} = 1(2.059,0 - 25,0 - 3.24) = -178,2$	+0,5	-178	
	9'-7	49	+29,5	+203	$M_{9'7} = 49(2.059,0 + 29,5 + 3.203) = -21937,3$	-46,7	-21984	
		99,5		$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{+94,8}{99,5} = +0,953$			$\Sigma M = 0$	
8'	8'-10	82	+ 87,6	-72	$M_{8'10} = 82(-2.256,0 + 87,6 - 3.72) = +20785,5$	-30,5	+20755	
	8'-9	0,5	-133,5	-15	$M_{8'9} = 0,5(-2.256,0 - 133,5 - 3.15) = -68,6$	+0,2	-69	
	8'-9'	1	+ 65,9	-24	$M_{8'9'} = 1(-2.256,0 + 65,9 - 3.24) = -86,7$	+0,4	-87	
	8'-5'	1	+184,7	-35	$M_{8'5'} = 1(-2.256,0 + 184,7 - 3.35) = -130,9$	+0,4	-131	
		125,5		$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{+49,8}{125,5} = +0,373$			$\Sigma M = 0$	
7'	7'-9'	49	+ 65,9	+203	$M_{7'9'} = 49(2.295,0 + 65,9 + 3.203) = -23720,9$	+14,7	-23706	
	7'-10	1	+ 87,6	-95	$M_{7'10} = 1(2.295,0 + 87,6 - 3.95) = +431,0$	+0,2	+432	
	7'-5'	47	+ 90,3	-41	$M_{7'5'} = 2(2.295,0 + 90,3 + 3.41) = +544,6$	+0,9	+545	
	7'-5''	99	+184,7	-203	$M_{7'5''} = 47(2.295,0 - 184,7 + 3.203) = +22785,1$	+14,0	+22729	
				$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{-29,6}{99} = -0,299$			$\Sigma M = 0$	
6'	6'-8'	41	- 25,6	+186	$M_{6'8'} = 41(2.903,0 - 25,6 - 3.186) = -15785,0$	+20,9	-15764	
	6'-7'	2	+ 29,5	-41	$M_{6'7'} = 2(2.903,0 + 29,5 - 3.41) = +666,2$	+1,0	+667	
	6'-3'	3	+12,8	-49	$M_{6'3'} = 3(2.903,0 + 12,8 - 3.49) = +944,4$	+1,5	+946	
	6'-4'	27	+200,0	-181	$M_{6'4'} = 27(2.903,0 - 200,0 + 3.181) = +14137,2$	+12,8	+14151	
		73		$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{-37,2}{73} = -0,510$			$\Sigma M = 0$	
5'	5'-7'	47	+ 29,5	-203	$M_{5'7'} = 47(-2.184,7 + 29,5 + 3.203) = +12047,7$	-26,6	+12021	
	5'-8'	1	+ 25,6	-35	$M_{5'8'} = 1(-2.184,7 + 25,6 - 3.35) = -290,0$	+0,6	-291	
	5'-4'	3	+200,0	-51	$M_{5'4'} = 3(-2.184,7 - 200,0 + 3.51) = +1249,2$	+1,7	+1251	
	5'-3'	30	+12,8	-25	$M_{5'3'} = 3(0 - 2.184,7 - 12,8 + 3.25) = -11059,2$	-20,4	-11079	
		87		$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{+49,3}{87} = +0,567$			$\Sigma M = 0$	
4'	4'-6'	27	+ 90,3	-181	$M_{4'6'} = 27(-2.200,0 + 90,3 + 3.181) = +6299,1$	-6,5	+6293	
	4'-5'	3	+184,7	-51	$M_{4'5'} = 3(-2.200,0 - 184,7 + 3.51) = -1295,1$	+0,7	-1296	
	4'-1'	6	+91,5	-67	$M_{4'1'} = 6(-2.200,0 + 91,5 - 3.67) = -1743,0$	+1,4	-1744	
	4'-2'	10	+39,0	-38	$M_{4'2'} = 10(-2.200,0 + 39,0 + 3.38) = -3250,0$	-2,4	-3255	
		46		$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{+11}{46} = +0,239$			$\Sigma M = 0$	

№ узла	№ стержня	$N_{ax} = \frac{2EI}{l}$	φ_a	φ_{ax}	$M_{ax} = N_{ax}(2\varphi_a + \varphi_{ax} - 3\varphi_{ax})$	Поперечная сила P, N_{ax}	Исправленный момент M_{ax}	Исправленный момент M_{ax}
3	3'-5'	30	-184,7	-25	$M_{3'5'} = 30(-2.128,0 - 184,7 + 3.25) = -4870,8$	-2,6	-4873	
	3'-6'	3	+ 90,3	-49	$M_{3'6'} = 3(-2.128,0 + 90,3 - 3.49) = +935,1$	+0,2	+935	
	3'-2'	4	+39,0	-65	$M_{3'2'} = 4(-2.128,0 - 39,0 + 3.65) = +497,6$	+0,3	+497	
	3'-1'	16	+91,5	-117	$M_{3'1'} = 16(-2.128,0 + 91,5 + 3.117) = -3742,4$	+1,2	-3741	
		59		$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{+4,3}{59} = +0,073$			$\Sigma M = 0$	
2	2'-4'	10	-200,0	-38	$M_{2'4'} = 10(-2.390,0 - 200,0 + 3.38) = -1640,0$	+4,4	-1636	
	2'-5'	4	+12,8	-63	$M_{2'5'} = 4(-2.390,0 - 12,8 - 3.63) = +392,8$	+1,8	+395	
	2'-1'	6	+91,5	-48	$M_{2'1'} = 6(-2.390,0 + 91,5 - 3.48) = -153,0$	+2,0	-150	
	2'-0'	10	+89,3	-102	$M_{2'0'} = 10(-2.390,0 + 89,3 + 3.102) = +1387,9$	+4,4	+1391	
		30		$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{-13,2}{30} = -0,440$			$\Sigma M = 0$	
1	1'-3'	16	+12,8	-117	$M_{1'3'} = 16(-2.915,0 + 12,8 - 3.117) = +2483,2$	+1,5	+2485	
	1'-4'	6	+200,0	-67	$M_{1'4'} = 6(-2.915,0 - 200,0 + 3.67) = -1092,0$	+0,5	-1091	
	1'-2'	6	+39,0	-48	$M_{1'2'} = 6(-2.915,0 - 39,0 + 3.48) = -468,0$	+0,5	-468	
	1'-0'	13	+89,3	-67	$M_{1'0'} = 13(-2.915,0 + 89,3 - 3.67) = -926,0$	+1,2	-926	
		41		$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{-3,7}{41} = -0,090$			$\Sigma M = 0$	
0'	0'-1'	13	+91,5	-67	$M_{0'1'} = 13(2.893,0 - 91,5 - 3.67) = -898,3$	+8,1	-899	
	0'-2'	10	+39,0	-102	$M_{0'2'} = 10(-2.390,0 + 39,0 + 3.102) = +884,0$	-6,2	+890	
		23		$p = \frac{\Sigma M}{\Sigma N} = \frac{-14,3}{23} = -0,622$			$\Sigma M = 0$	

Исправленные значения моментов левой половины фермы от действия груза $P=I$ т., отбояно на каждой из узлов нижнего пояса, помещены в таблицу XI. Моменты правой половины фермы могут быть непосредственно определены по следующему правилу: при положениях груза $P=I$ т. в узлах правой половины фермы моменты для элементов левой половины равны по величине, но противоположны по знаку моментам для соответственных элементов правой половины, рассчитанных при положениях груза $P=I$ т. в узлах левой половины фермы.

Таблица XL дополнительных моментов при положении груза P=1 т. в узлах:

№ элемента	2	4	6	8	10	8'	6'	4'	2'	
Верхний пояс.	1-3	-4527	+3003	-6503	+1734	-4866	+2130	-2485	+573	-636
	3-1	-7491	+6832	-10531	+7092	-7842	+5974	-3741	+2026	-810
	3-5	+8713	-10631	+14422	-13846	+10981	-10175	+4873	-3452	+1210
	5-3	+11462	-23049	+20525	-30849	+23809	-21047	+11079	-6807	+2676
	5-7	-11690	+23789	-29271	+33066	-27069	+23591	-13621	+7041	-3202
	7-5	-12603	+21059	-42358	+47886	-45113	+34118	-22729	+7592	-6759
	7-9	+12604	-21079	-42492	-49953	-46668	-35917	+23760	-7661	+7095
	9-7	+10717	-2873	+35764	-63378	+55239	-48692	+21984	-1628	+10148
	9-11	-10667	+1733	-35321	+62478	-55683	+49117	-21719	+1351	-10320
	11-9	-10903	-9701	-23858	+57912	-61497	+57243	-23545	-9429	-10980
Нижний пояс.	0-2	-2665	+590	-2550	-228	-1770	+588	-800	+140	-233
	2-0	-3557	+1861	-7886	+1281	-2784	+1430	-1391	+396	-345
	2-4	+4434	-5794	+5387	-6434	+3879	-4836	+1636	-1784	+257
	4-2	+4798	-8617	+9039	-10322	+7092	-7025	+3253	-2426	+869
	4-6	-6048	+13922	-15923	+16223	-13224	+10995	-6293	+3582	-1684
	6-4	-8789	+15492	-29970	+32306	-28076	+12811	-14151	+6066	-4507
	6-8	+9318	-15455	+33325	-37893	+31688	-35033	+15764	-6808	+5309
	8-6	+11117	-4965	+38384	-67603	+53546	-47959	+20552	-10416	+10400
	8-10	-11105	+3510	-38449	+69091	-55449	+49715	-20755	+10265	-10859
	10-8	-15103	-4031	-31156	+79142	-83722	+78200	-20015	+3153	-15146
Равновес.	1-2	+257	+1079	+624	+1333	+523	+1155	+468	+573	+183
	2-1	-377	+1904	+333	+2307	-169	+1836	+150	+816	+133
	1-4	+1390	-3360	+3053	-3015	+2395	-2317	+1091	-813	+259
	4-1	-973	-4230	+4278	-4312	+3032	-2949	+1244	-956	+481
	3-6	-403	+1374	-2382	+3318	-1930	+2124	-638	+653	-345
	6-3	-391	+391	-2592	+3451	-2403	+2289	-946	+578	-516
	5-8	+69	+226	+482	-895	+867	-653	+291	-97	+160
	8-5	+51	+493	+199	-1102	+886	-844	+131	-167	+186
	7-10	+46	-26	+260	+336	-665	+490	-432	-131	-93
	10-7	+1	+201	+352	-67	-547	+405	-490	-316	-43
9-8'	+61	+347	-123	+233	-57	-44	+87	-19	+25	
8'-9	-86	+193	-69	+242	+288	+104	-55	-220	-5	
Средний пояс.	0-1	+2665	-590	+2550	+228	+1770	-588	+800	-140	+233
	1-0	+2880	-722	+2906	-52	+1948	-968	+926	-333	+194
	2-3	-500	+2029	-1168	+2786	-926	+1570	-395	+572	-45
	3-2	-819	+2435	-1509	+3436	-1209	+2077	-497	+773	-55
	4-5	+277	-1076	+2666	-1589	+2500	-1021	+1296	-200	+394
	5-4	+159	-960	+2264	-1352	+2393	-891	+1251	-137	+372
	6-7	-168	-428	-763	+2135	-1209	+1533	-667	+314	-286
	7-6	-83	-554	-503	+1731	-948	+1309	-545	+200	-243
	8-9	-8	+740	-189	-582	+729	-553	-87	+151	+187
	9-8	-49	+793	-320	-333	+503	-381	-178	+296	+147
10-11	-85	+361	+299	-380	0	+380	-299	-361	+85	
11-10	-83	+272	+313	-369	0	+369	-313	-272	+83	

Моменты даны в килограмм-сантиметрах.

§ 25. Расчет дополнительных напряжений.

Дополнительные напряжения r от изгибающих моментов M рассчитываются по формуле $r = \frac{M}{I} \cdot e$; где e расстояние крайнего волокна от нейтральной оси, а I момент инерции сечения. Для каждого конца всех элементов получается по два дополнительных напряжения.

Согласно изложенному на стр. 18 *знак* ¹⁾ этих напряжений скорее всего определяется по знаку момента, причем можно руководствоваться следующим упрощенным правилом:

Для поясов и раскосов:

Моменты и дополнительные напряжения имеют:

- одинаковые знаки для нижних волокон } левых концов.
- обратные знаки для верхних волокон } правых концов.
- одинаковые знаки для верхних волокон }
- обратные знаки для нижних волокон }

Для стоек:

Моменты и дополнительные напряжения имеют:

- одинаковые знаки для левых волокон } верхних концов.
- обратные знаки для правых волокон } нижних концов.
- одинаковые знаки для правых волокон }
- обратные знаки для левых волокон }

В таблицах XII помещены дополнительные напряжения всех элементов от груза $P=1$ т., приложенного поочередно во всех узлах нижнего пояса.

§ 26. Инфлюэнтные линии дополнительных и полных напряжений.

См. стр. 32.

а) Пояса.

Значения дополнительных напряжений, приведенные в таблицах XII, представляют ординаты инфлюэнтных линий дополнительных напряжений. Как видно из той же таблицы для каждого элемента имеется 4 разных напряжения или по два напряжения для каждого конца элемента. Поэтому для каждого элемента можно построить 4 инфлюэнтных линий дополнительных напряжений как показано в фиг. 58 и 59.

¹⁾ Сжимающие напряжения обозначаются знаком -, а растягивающие знаком +.

Таблица XII дополнительных напряжений в ст. при действии грузов $P=1 T$.

№ элементов.	ВЕРХНЯЯ ВОЛОКНА.				НИЖНЯЯ ВОЛОКНА.				
	Д л в ы е к о н ц ы э л е м е н т о в ь.								
	Положение груза $P=1 T$ в ст. узла:								
	2	4	6	8	10	8	6	4	2
1-5	+1,87	+1,44	+2,73	0,72	0,95	0,68	1,03	0,24	+0,26
2-5	+1,80	+2,31	+3,13	+3,60	+2,98	+2,21	+1,93	+0,24	+0,26
3-5	+4,75	+5,60	+6,22	+5,17	+4,73	+2,41	+1,52	+0,26	+0,26
4-5	+3,58	+4,25	+5,00	+5,47	+4,33	+3,16	+1,99	+1,84	+1,58
0-11	+2,75	+0,45	+0,17	+0,48	+1,44	+2,73	5,04	+0,38	+2,68
0-4	+3,65	+1,76	+2,79	+0,69	+5,55	+1,78	+2,69	+0,42	0,70
1-4	+8,87	+6,84	+8,01	+7,29	+6,09	+4,61	+3,39	+2,71	+2,08
4-0	+10,63	+8,61	+9,78	+9,06	+7,85	+6,53	+5,21	+4,53	+3,80
8-10	+1,99	+1,65	+1,35	+1,05	+0,75	+0,45	+0,15	+0,15	+0,15
1-7	+0,43	+0,86	+1,29	+1,66	+2,02	+2,37	+2,71	+3,05	+3,39
3-0	+0,85	+1,70	+2,55	+3,40	+4,25	+5,10	+5,95	+6,80	+7,65
5-0	+0,29	+0,57	+0,86	+1,14	+1,43	+1,71	+2,00	+2,28	+2,57
8-8'	+0,95	+1,90	+2,85	+3,80	+4,75	+5,70	+6,65	+7,60	+8,55

П р а в ы е к о н ц ы э л е м е н т о в ь.								
Напряжения нижних волокон по величине рамы, а по знаку обратны напряжениям верхних волокон.								
2	4	6	8	10	8	6	4	2
2-1	-3,10	+2,82	-4,35	+2,93	-3,24	+2,47	-1,55	+0,86
3-1	+2,49	+5,00	+3,76	+6,99	+3,17	+4,57	+2,40	+1,48
7-0	+2,78	+0,75	+0,29	+0,67	+1,50	+2,33	+3,16	+4,00
11-9	-2,83	+2,51	+6,20	+14,06	+18,95	+14,86	+9,71	+4,45
4-0	+0,82	+1,64	+2,46	+3,28	+4,10	+4,92	+5,74	+6,56
5-0	+1,24	+2,48	+3,72	+4,96	+6,20	+7,44	+8,68	+9,92
6-0	+1,66	+3,32	+4,98	+6,64	+8,30	+9,96	+11,62	+13,28
7-0	+2,08	+4,16	+6,24	+8,32	+10,40	+12,48	+14,56	+16,64
8-0	+2,50	+5,00	+7,50	+10,00	+12,50	+15,00	+17,50	+20,00
9-8'	+0,95	+1,90	+2,85	+3,80	+4,75	+5,70	+6,65	+7,60

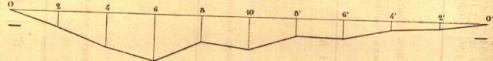
№ элементов.	ПРАВЫЕ ВОЛОКНА.				ЛЕВЫЕ ВОЛОКНА.				
	Н и ж н и е к о н ц ы с т о е к ь.								
	Напряжения нижних волокон по величине рамы, а по знаку обратны напряжениям верхних волокон.								
	2	4	6	8	10	8	6	4	2
1-0	+0,52	+0,66	+1,12	+1,37	+1,81	+2,25	+2,70	+3,14	+3,58
2-0	+1,45	+2,03	+2,71	+3,39	+4,07	+4,75	+5,43	+6,11	+6,79
3-0	+2,38	+3,26	+4,14	+5,02	+5,90	+6,78	+7,66	+8,54	+9,42
4-0	+3,31	+4,39	+5,47	+6,55	+7,63	+8,71	+9,79	+10,87	+11,95
5-0	+4,24	+5,52	+6,80	+8,08	+9,36	+10,64	+11,92	+13,20	+14,48
6-0	+5,17	+6,65	+8,13	+9,61	+11,09	+12,57	+14,05	+15,53	+17,01
7-0	+6,10	+7,78	+9,46	+11,14	+12,82	+14,50	+16,18	+17,86	+19,54
8-0	+7,03	+8,91	+10,79	+12,67	+14,55	+16,43	+18,31	+20,19	+22,07
9-9	+0,95	+1,90	+2,85	+3,80	+4,75	+5,70	+6,65	+7,60	+8,55

В е р х н и е к о н ц ы с т о е к ь.								
Напряжения левых волокон по величине рамы, а по знаку обратны напряжениям правых волокон.								
2	4	6	8	10	8	6	4	2
1-0	+3,29	+0,83	-3,32	+0,96	-2,23	+1,11	-1,00	+0,38
3-2	+2,04	+1,285	-4,87	+1,08	-3,90	+0,79	-1,60	+0,46
5-4	+0,98	+0,50	-3,05	+0,49	-1,75	+0,30	-1,21	+0,14
0-8	+0,42	+0,72	+2,71	+2,82	+4,25	+3,23	+1,51	+1,25
11-10	+0,86	+2,83	+3,26	+3,84	+4,42	+5,00	+5,58	+6,16

Инвартичные линии напряжений для элемента (3-5) верхнего пояса.

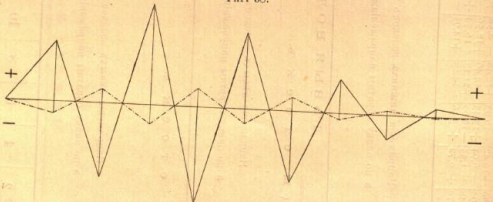
Основные напряжения n .

Фиг. 57.



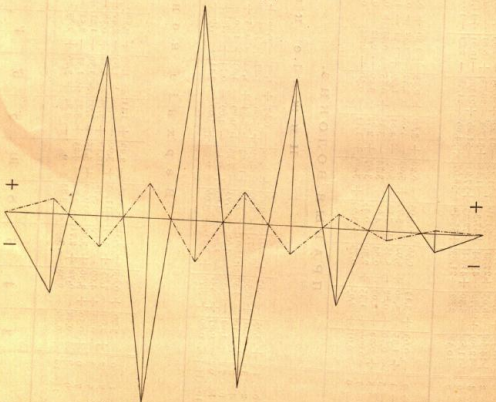
Дополнительные напряжения для левого конца 3.

Фиг. 58.



Дополнительные напряжения для правого конца 5.

Фиг. 59.



— — — — — Обозначает инв. линию нижнего волокна.
 - - - - - Обозначает инв. линию для верхнего волокна.

Вычерчивая эти линии попарно, соответственно каждому концу элемента, легко заметить, что линии пересекаются с осью в одних и тех же точках, вследствие того, что ординаты обратно пропорциональны моментам сопротивления сечения элемента. Разматривая инвартичные линии дополнительных напряжений любого элемента *поясов* для одного и того же волокна, но для разных концов, всегда замечается, что знаки соответственных ординат обеих линий противоположны. Это указывает на ∞ образный изгиб поясов.

Рядом с линиями дополнительных напряжений чертились инвартичные линии основных напряжений (фиг. 57) по данным таблицы XII.

Алгебраическим сложением ординат инвартичных линий дополнительных и основных напряжений определялись для каждого узла ординаты *полных* напряжений и по ним вычерчивались 4 новых инвартичных линии. Из этих 4 линий *полных* напряжений интересоваи для каждого элемента только одна или две линии, именно те, которым соответствовали наибольшая и наименьшая *полная* напряжения от совместного действия постоянной и временной нагрузки. На I и II листах чертежей представлены для каждого элемента *поясов* по 3 инвартичных линии, а именно: основного, дополнительного и наибольшего *полного* напряжения. Для расчетов эти линии были вычерчены в значительно большем масштабе, а именно: для даинь 1: 200, а для напряжений 1 см. = 4 $\frac{к}{см^2}$.

Сравнивая инвартичные линии *полных* напряжений с линиями основных напряжений, не замечается никакого сходства между теми и другими. Тогда как последние для всех элементов *поясов* не меняют знака на протяжении всего пролета, знаки узловых ординат инвартичных линий *полных* и дополнительных напряжений чередуются, переходя за некоторыми исключениями с + на -. Зигзагообразное очертание инвартичных линий *полных* напряжений указывает на то, что при передвижении нагрузки по мосту изменяются знаки напряжений в *поясах*; так что последние (за исключением элемента 0-2) следовало бы рассчитывать как *светло-зелеными* части. Некоторые элементы *поясов*, а именно (3-5), (5-7), (2-4), (4-6) и (6-8) находятся в особенно неблагоприятных условиях, так как наибольшая положительная и наибольшая отрицательная напряжения имеют место для одних и тех же волокон сечения. Дальнейшая особенность двухраскосных ферм заключается в том, что при тавровых сечениях *поясов* наибольшие напряжения соответствуют нижним волокнам верхнего пояса и верхним волокнам нижнего пояса.

в) Раскосы и стойки.

Вследствие симметричности сечений раскосов и стоек и равенства дополнительных напряжений для каждого раскоса и стойки лишь двух инвартичных линий дополнительных напряжений. Также как для *поясов* чертились инвартичные линии основных, дополнительных и *полных*

напряжений, причем масштаб для длин был 1:200, а для напряжений: 1 см. = 1 $\frac{\text{к.}}{\text{см.}^2}$. Из 4 изоэлюэнтных линий полных напряжений интересоваи лишь те, которым соответствовали наибольши и наименьши напряжения от совместного дйствия постоянной и временной нагрузки.

На III листе чертёж изображены для каждого раскоса и стойки по 3 изоэлюэнтных линий, а именно: основного, дополнительного и наибольшего полного напряжения. Рассматривая изоэлюэнтные линии для раскосов замечаем, что для некоторых волокон изоэлюэнтные линии полных и основных напряжений имеют большое сходство. Это явление зависит от сходства линий основных и дополнительных напряжений.

Из изоэлюэнтных линий полных напряжений следует, что все волокна первых четырех раскосов от совместного дйствия постоянной и временной нагрузки только вытянуты, между тем как некоторые волокна раскосов (7-10) и (9-8) *сжато-вытянуты*.

§ 27. Расчет действительных напряжений.

1) Постоянная нагрузка.

Ввиду равномерного распределения постоянной нагрузки, составляющей по 6,22 т. на каждый узел нижнего пояса, все напряжения, вычисленные ею, рассчитывались как произведения из алгебраических сумм Σu узловых ординат каждой изоэлюэнтной линии на узловую нагрузку = 6,22 т. В таблицах XIII приведены значения Σu для основных, дополнительных и полных напряжений от постоянной нагрузки, при загрузкей всех узлов нижнего пояса грузами $P = 1$ т.

Значения Σu для основных напряжений получены из сложения по строкам чисел таблицы XII. Значения Σu для дополнительных напряжений получены тем же путем же таблицы XII и имеют разные значения для обеих крайних волокон каждого конца элементов. Значения Σu , соответствующие полным напряжениям получены сложением значений Σu для основных и дополнительных напряжений. На 6,22 т. множились только значения Σu для полных напряжений *тех волокон* каждого элемента, для которых рассчитывались полные напряжения от временной нагрузки. Значения $6,22 \times \Sigma u$ помещены в таблицу XIII.

2) Временная нагрузка.

Пользуясь изоэлюэнтными линиями *полных* напряжений для каждого элемента находились невыгоднейшия положения пода по способу, изложенному в § 20. Поезд состоял из двух нормальных паровозов и грузных вагонов, причем, согласно циркуляру М. П. С. от 1896 г. за № 753, допускался разрыв позда лишь в одном месте. Следует заметить, что во многих случаях трех-осные паровозы оказались бы более невыгодными, так как названные ими напряжения получились бы больше, чем при дйствии четырех-осных паровозов.

Таблица XIII величин Σu для основных, дополнительных и полных напряжений от постоянной нагрузки при дйствии грузов $P = 1$ т.

№ элемента.	Основное равно- мерное напряжение во всех волокнах	Дополнительное напряжение.				Полное напряжение от постоянной нагрузки.				
		Левый конецъ.		Правый конецъ.		Левый конецъ.		Правый конецъ.		
		Верхнее волокно.	Нижнее волокно.	Верхнее волокно.	Нижнее волокно.	Верхнее волокно.	Нижнее волокно.	Верхнее волокно.	Нижнее волокно.	
Верхний пояс.	1-3	-32,71	+ 4,82	-22,05	- 3,51	+16,06	-27,89	-51,76	-36,22	-16,65
	3-5	-33,64	- 0,45	+ 2,39	- 1,34	+ 7,06	-34,99	-31,25	-34,98	-26,58
	5-7	-33,53	- 0,51	+ 3,55	- 3,50	+17,39	-34,02	-30,96	-37,01	-16,13
	7-9	-33,54	- 4,67	+19,10	+ 4,49	-18,37	-38,21	-14,44	-29,05	-51,91
	9-11	-33,54	+ 4,64	-19,09	- 0,99	+37,17	-28,90	-52,63	-42,63	+ 2,63
Нижний пояс.	0-2	0	+21,20	- 8,49	-21,13	+ 8,46	+21,20	- 8,49	-21,13	+ 8,46
	2-4	+16,26	+ 9,83	- 3,05	-10,26	+ 4,19	+26,69	+12,31	+ 6,06	+20,36
	4-6	+20,29	+ 2,26	+ 0,70	-14,46	+ 4,42	+27,03	+29,99	+14,83	+33,71
	6-8	+32,64	+19,17	+ 2,99	+ 3,57	+ 1,95	+22,47	+35,63	+36,21	+31,59
8-10	+33,04	+ 2,66	- 0,68	-17,78	+ 4,45	+35,70	+32,36	+15,26	+37,49	
Раскосы.	1-2	+32,20	-10,36	+10,36	+11,08	-11,08	+21,84	+42,56	+43,28	+21,12
	1-4	+31,46	+ 1,82	- 1,82	- 1,84	+ 1,84	+33,28	+29,64	+29,62	+33,30
	3-6	+29,12	- 3,74	+ 3,74	- 0,24	+ 0,24	+25,38	+32,86	+28,88	+29,36
	5-8	+25,37	- 1,87	+ 1,87	- 0,44	+ 0,44	+23,60	+27,24	+24,93	+25,81
	7-10	+15,41	+ 0,96	- 0,96	- 3,36	+ 3,36	+16,37	+14,45	+12,05	+18,77
9-8'	- 0,98	- 2,27	+ 2,27	+ 5,24	- 5,24	- 2,35	+ 2,19	+ 5,16	- 5,32	
Стойки.	0-1	-20,54	+ 8,03	- 8,03	- 7,74	+ 7,74	+12,51	-28,57	-28,28	+12,80
	2-5	-13,39	+12,72	-12,72	-14,93	+14,93	- 6,67	-26,11	-28,32	+ 7,54
	4-5	-11,77	+12,66	-12,66	-13,18	+13,18	+ 0,79	-24,33	-24,65	+ 4,47
	6-7	- 7,04	+ 2,75	- 2,75	+ 2,20	- 2,20	+ 4,39	- 9,89	- 4,94	+ 9,34
8-9	+ 0,04	+ 3,28	- 3,28	- 4,04	+ 4,04	+ 3,32	- 3,24	- 4,00	+ 4,08	
10-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Для каждого элемента определялись наибольшее сжимающее и наибольшее растягивающее полное напряжение от временной нагрузки. Положения позда, соответствующие этим напряжениям, показаны на I, II и III листах чертёж, а значения напряжений приведены в предпоследней графе таблицы XIII с указанием волокна к которому они относятся. Складывая их с напряжениями тех же волокон от постоянной нагрузки, получались полныя напряжения от полной нагрузки, помещенная в последней графе таблицы XIII.

Для сравнения наибольших растягивающих и сжимающих напряжений, рассчитанных из предположений шарнирных и жестких узлов, составлена таблица XIV.

Таблица XLIII наибольших полных напряжений N при жестких узлах.

№ элемента.	Max. Min.	Обозначение волокон, испытывающего наибольшее и наименьшее напряжение.		Постоянная нагрузка K=6,22 т.		Временная нагрузка		Полная нагрузка.	
		Концы.	Волокно.	Σ у	K. Σ у	к/см ²	к/см ²	к/см ²	к/см ²
Верхний пояс.	1-3 max.	лѣвый	нижнее	-54,76	- 341	- 902	-1243		
	1-3 min.	правый	нижнее	-16,05	- 104	+ 201	+ 187		
	3-5 max.	правый	нижнее	-26,38	- 165	+ 1384	-1549		
	3-5 min.	правый	нижнее	-26,38	- 165	+ 776	+ 611		
	5-7 max.	правый	нижнее	-16,12	- 100	-1695	-1795		
	5-7 min.	правый	нижнее	-16,12	- 100	+1155	+1055		
7-9	max.	правый	нижнее	-51,91	- 323	-2188	-2511		
	min.	лѣвый	нижнее	-14,44	- 90	+1322	+1232		
	max.	лѣвый	нижнее	-52,63	- 327	-2237	-2564		
	min.	правый	нижнее	+ 3,63	+ 23	+1534	+1557		
Нижний пояс.	0-2 max.	правый	верхнее	-21,13	- 131	- 518	- 649		
	0-2 min.	лѣвый	верхнее	+21,20	+ 132	+ 416	+ 548		
	2-4 max.	правый	верхнее	+ 6,00	+ 37	+1070	+1107		
	2-4 min.	правый	верхнее	+ 6,00	+ 37	-1052	-1015		
	4-6 max.	правый	верхнее	+14,83	+ 92	+1020	+1712		
	4-6 min.	правый	верхнее	+14,83	+ 92	-1174	-1082		
6-8	max.	правый	верхнее	+36,21	+ 225	+2210	+2435		
	min.	правый	верхнее	+36,21	+ 225	-1725	-1500		
	max.	лѣвый	верхнее	+35,70	+ 222	+1559	+1781		
	min.	правый	верхнее	+15,26	+ 95	-1277	-1182		
Раскосы.	1-2 max.	правый	верхнее	+43,28	+ 269	+ 632	+ 901		
	1-2 min.	правый	нижнее	+21,12	+ 131	- 58	+ 73		
	1-4 max.	правый	нижнее	+33,30	+ 207	+ 798	+1005		
	1-4 min.	правый	нижнее	+33,30	+ 207	- 32	+ 175		
	3-6 max.	лѣвый	верхнее	+25,38	+ 158	+ 693	+ 851		
	3-6 min.	лѣвый	верхнее	+25,38	+ 158	- 72	+ 86		
5-8	max.	правый	нижнее	+25,81	+ 161	+ 604	+ 825		
	min.	правый	нижнее	+25,81	+ 161	- 158	+ 3		
	max.	правый	нижнее	+8,77	+ 117	+ 683	+ 800		
	min.	лѣвый	верхнее	+16,37	+ 102	- 262	+ 160		
	7-10 max.	лѣвый	верхнее	- 2,35	- 15	+ 321	+ 306		
	7-10 min.	правый	нижнее	- 5,32	- 33	- 422	- 455		
Стойки.	0-1 max.	верхний	правое	-28,28	- 176	- 428	- 604		
	0-1 min.	нижний	правое	-12,51	- 78	0	- 78		
	2-3 max.	верхний	правое	-28,32	- 176	- 523	- 699		
	2-3 min.	верхний	лѣвое	+ 1,54	+ 10	+ 347	+ 357		
	4-5 max.	нижний	правое	+ 24,33	+ 151	+ 527	+ 678		
	4-5 min.	нижний	лѣвое	+ 0,79	+ 5	+ 389	+ 394		
6-7	max.	нижний	лѣвое	- 9,89	- 62	- 271	- 333		
	min.	нижний	правое	- 4,39	- 27	+ 214	+ 287		
	max.	верхний	правое	- 4,00	- 25	- 300	- 325		
	min.	верхний	лѣвое	+ 4,08	+ 25	+ 182	+ 207		
	max.	нижний	правое	0	0	- 143	- 143		
	10-11 min.	нижний	правое	0	0	+ 143	+ 143		

Сравнительная таблица XLIV наибольших растягивающих и сжимающих напряжений в %/см. при шарнирных и жестких узлах.

№ элемента.	Шарнирные узлы		Жесткие узлы.			N		
	max + n	max - n	Концы и волокно	max - N				
				Концы и волокно	max - N			
Верхний пояс.	1-3	-	-558	правый нижнее	+ 187	лѣвый нижнее	-1243	2,23
	3-5	-	-683	правый нижнее	+ 611	правый нижнее	-1649	2,27
	5-7	-	-654	правый нижнее	+1055	правый нижнее	-1795	2,75
	7-9	-	-658	лѣвый нижнее	+1232	правый нижнее	-2511	3,82
	9-11	-	-653	правый нижнее	+1557	лѣвый нижнее	-2564	3,93
Нижний пояс.	0-2	0	-	лѣвый верхнее	+ 548	правый верхнее	- 649	-
	2-4	+420	-	правый верхнее	+1107	правый верхнее	-1015	2,64
	4-6	+610	-	правый верхнее	+1712	правый верхнее	-1082	2,81
	6-8	+675	-	правый верхнее	+2435	правый верхнее	-1600	3,61
	8-10	+596	-	лѣвый верхнее	+1781	правый верхнее	-1182	2,99
Раскосы.	1-2	+768	-	правый верхнее	+ 901	н и т ъ	-	1,17
	1-4	+776	-	правый нижнее	+1005	н и т ъ	-	1,30
	3-6	+762	-	лѣвый верхнее	+ 851	н и т ъ	-	1,12
	5-8	+767	-	правый нижнее	+ 825	н и т ъ	-	1,08
	7-10	+630	-120	правый нижнее	+ 800	лѣвый верхнее	- 160	1,27
	9-8'	+300	-305	лѣвый верхнее	+ 306	правый нижнее	- 455	1,49
Стойки.	0-1	-	-410	н и т ъ	-	верхний правое	- 604	1,47
	2-3	-	-350	верхний лѣвое	+ 357	верхний правое	- 699	1,96
	4-5	-	-354	нижний правое	+ 394	нижний лѣвое	- 678	1,92
	6-7	+ 59	-292	нижний правое	+ 287	нижний лѣвое	- 533	1,83
	8-9	+ 92	- 95	верхний лѣвое	+ 207	верхний правое	- 225	2,37
	10-11	0	0	нижний правое	+ 143	нижний правое	- 143	-

Из нее усматривается, что в элементах (3—5) и (5—7) верхнего пояса, (2—4) (4—6) и (6—8) нижнего пояса и в стойках (10—11) наибольшие и наименьшие по величине напряжения при жестких узлах соответствуют *одному и тому же волокну сечения.*

В последней графе помещены отношения $\frac{N}{n}$ полных напряжений к основным. Эти отношения удобны тем, что вычитая из них 1,00, получается величина дополнительного напряжения от жесткости узлов, выраженная в % от основного напряжения. Например, если $\frac{N}{n} = 3,93$, то дополнительное напряжение составляет 293% от основного.

Из таблицы XLIV видно, что дополнительные напряжения в поясах весьма значительны и составляют от 123% до 293%. В более благоприятных условиях находятся раскосы, для которых дополнительные напряжения составляют от 8% до 49%. Стойки находятся в худших условиях тем, раскосы для них дополнительные напряжения колеблются в пределах от 47% до 137%.

Следует еще заметить, что элемент (0—2) нижнего пояса, совсем не работающий при шарнирных узлах, испытывает при жестких узлах напряжение $+548 \frac{\text{к.}}{\text{см.}^2}$ в верхнем волокне дельта конца и $-649 \frac{\text{к.}}{\text{см.}^2}$ в верхнем волокне правого конца.

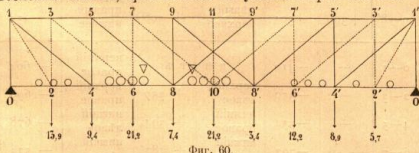
Г Л А В А III.

Расчет деформаций фермы.

Для выяснения полной деформации фермы необходимо определить: 1) линейные перемещения узлов и 2) упругие линии всех элементов.

Деформации фермы определены нами и изображены на VI листе чертежей для двух отдельных случаев нагрузки (см. стр. 27 и 28):

I случай. Совместное действие постоянной нагрузки по 6,22 т. на каждый узел нижнего пояса и временной *неравномерной* нагрузки, состоящей из 2 нормальных паровозов и одного вагона, расположенных согласно фиг. 60 так, чтобы узлы системы, обозначенной пунктиром, были нагружены возможно больше, сравнительно с узлами второй системы.



Фиг. 60.

Вес поезда, передающийся каждой ферме = 107,5 т. или на пог. м. фермы 2,41 т. При указанном положении поезда второе колесо дельта паровоза совпадает с узлом 6, а первое колесо правого тендера с узлом 6'.

II случай. Совместное действие постоянной нагрузки по 6,22 т. на каждый узел нижнего пояса и временной, равномерной нагрузки, составляющей 3,14 т. на пог. метр фермы или 14 т. на каждый узел нижнего пояса.

§ 28. Расчет линейных перемещений узлов.

Линейные перемещения узлов фермы состоят из вертикальных прогибов и горизонтальных перемещений. Для узлов нижнего пояса нетрудно определить те и другие аналитическим путем; что же касается узлов *верхнего* пояса, то их *вертикальные* прогибы рассчитываются по прогибам узлов нижнего пояса и по изменениям длин стоек, между тем как *горизонтальные* перемещения проще определять графически, по методу диаграммы Виллота.

А) Расчет вертикальных прогибов.

Исходя из теоремы о возможных перемещениях, прогиб f каждого узла фермы может быть рассчитан по формуле

$$f = \sum \lambda \cdot u,$$

где λ — изменения длин элементов от основной нагрузки и для каждого элемента равны $\frac{S \cdot l}{E \cdot \omega}$, а u — усилия элементов фермы от груза = 1, приложенного в той точке, прогиб которой требуется определить.

а) Нижний пояс. Предварительно была определена линия прогиба нижнего пояса от груза = 1 т., приложенного к среднему узлу (10) фермы. Эта линия изображена в фиг. 19 и представляет одновременно невыгоднейшее расположение поезда, показанное в фиг. 60 и соответствующее I случаю нагрузки. Расчет ординат указанной линии прогиба помещен в таблицу XLV, причем удлинения λ взяты из таблицы XXVII.

Затем в таблицу XLVI определены ординаты линии прогиба нижнего пояса от *равномерной* нагрузки, составляющей по 1 т. на каждый узел нижнего пояса. Помножив ординаты этой линии на 6,22 т. и затем на 14 т., т. е. на узловую нагрузку, соответствующую постоянной и *равномерной* временной нагрузке, получены прогибы узлов нижнего пояса от действия двух указанных нагрузок.

Расчет прогиба узлов нижнего пояса от *неравномерной* временной нагрузки произведен в таблицу XLVII по формуле

$$f = \sum u \cdot (\Sigma K \cdot \lambda).$$

где $\Sigma K \cdot \lambda$ равны удлинениям элементов от совместного действия всех узловых нагрузок K и получены сложением произведений из удлинений λ , рассчитанных в таблицу XXVII, на узловую нагрузку K , показанную в фиг. 60.

Для получения прогиба нижних узлов от *нормальных* нагрузок, соответствующих I и II случаям, складывались прогибы от постоянной нагрузки и прогибы от равномерной и неравномерной временной нагрузки. Результаты этого расчета представлены в таблицу XLVIII.

Таблица XLV для расчета ординат линий прогиба нижнего пояса при положении груза P=1 т. в узле 10.

№ элемента.	и					λ.1 в. см. в. узла в. узла 10.	λ. и					
	Увеличили в т. при положении груза P=1 т. в узлах:						Ординаты линий прогиба для узлов:					
	2	4	6	8	10		2	4	6	8	10	
Увеличили 100 раз.												
1 000 000 раз.												
Верхний пояс.	1-3	53	99	40	73	31	4,5	238,5	445,5	180,0	328,5	139,5
	3-5	45	99	130	73	91	9,4	423,0	902,4	1222,0	686,2	85,4
	5-7	41	75	126	146	91	7,7	315,7	577,5	970,2	1124,2	700,7
	7-9	32	72	94	146	152	11,5	371,2	385,4	1090,4	1403,0	1795,5
	9-11	31	61	92	122	151	11,5	356,5	701,5	1058,0	1403,0	1795,5
	11-9'	31	61	92	122	151	11,5	356,5	701,5	1058,0	1403,0	1795,5
	9'-7'	29	59	89	98	152	11,6	339,4	580,0	1032,4	1136,8	1763,2
	7'-5'	20	47	57	97	91	7,7	154,0	361,0	439,9	740,9	700,7
	5'-3'	16	36	53	49	91	9,4	150,4	244,4	498,2	490,9	855,4
	3'-1'	8	23	21	49	31	4,5	36,0	103,5	94,5	220,5	139,5
Итого для верхнего пояса:							+2738,2	+5453,4	+7644,4	+9203,3	+10340,0	
Нижний пояс.	0-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-4	57	2	45	10	31	4,3	381,9	13,4	301,5	67,0	207,7
	4-6	53	99	40	73	31	4,3	227,9	425,7	172,0	313,9	133,3
	6-8	45	99	130	73	91	9,9	432,0	914,6	1248,0	706,8	873,0
	8-10	39	60	123	122	93	8,1	315,9	518,4	996,3	688,5	753,3
	10-8'	22	57	59	85	93	8,1	178,2	401,7	477,9	688,5	753,3
	8'-6'	16	26	53	12	91	9,6	153,6	249,0	308,8	115,2	873,0
	6'-4'	8	23	21	12	91	9,6	153,6	249,0	308,8	115,2	873,0
	4'-2'	4	2	16	12	31	4,3	34,4	98,0	90,3	154,8	133,3
	2'-0'	0	0	0	0	0	0	26,8	13,4	107,2	80,4	207,7
Итого для нижнего пояса:							+1750,7	+2075,9	+3902,0	+2814,0	+3935,8	
Раскосы.	1-2	+109	-3	86	0	+59	+24,1	+2626,9	-74,3	+2072,6	0	+1421,9
	1-4	5	+130	6	+95	0	0	0	0	0	0	+3823,5
	3-6	11	4	+116	0	+79	+48,4	532,4	0	193,6	0	5014,4
	5-8	5	27	6	+95	0	0	0	0	0	0	3034,0
	7-10	11	4	41	0	+79	-74,0	814,0	296,0	3034,0	0	5846,6
	9-8'	2	13	3	31	2	-25	50	+325,0	7,5	77,5	50
	7'-10	3	14	3	31	2	-25	75	35,0	7,5	77,5	50
	5'-8'	11	4	41	0	+79	-74,0	814,0	296,0	3034,0	0	5846,6
	3'-6'	5	27	6	+95	0	0	0	0	0	0	3034,0
	1'-4'	11	4	41	0	+79	-74,0	814,0	296,0	3034,0	0	5846,6
	1'-2'	8	27	6	+63	0	0	532,4	193,6	0	1984,4	0
Итого для раскосов:							+2812,2	+296,0	+10418,5	0	+22193,0	
Стойки.	0-1	90	80	70	60	50	6,5	585,0	520,0	455,0	390,0	325,0
	1-3	7	3	74	0	59	-13,9	97,3	41,7	1028,6	0	695,9
	3-5	17	4	60	0	50	0	0	0	0	0	1075,0
	5-7	3	3	20	0	50	-21,5	150,5	64,5	559,0	0	1075,0
	7-9	0	0	0	0	0	0	1,0	4,0	1,0	10,0	0,5
	9-11	0	0	0	0	0	0	1,0	4,5	1,0	10,0	0,5
	11-9'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9'-7'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7'-5'	3	17	4	40	0	0	150,5	64,5	559,0	0	1075,0
	5'-3'	7	3	26	0	50	-13,9	97,3	41,7	1028,6	0	695,9
	3'-1'	10	20	30	40	50	6,5	65,0	130,0	195,0	260,0	325,0
Итого для стоек:							+650,0	+649,8	+2040,0	+650,0	+4191,0	
Прогнбы, увеличенные в 1 000 000 раз и в см.							+7956,1	+9068,8	+24094,9	+12667,3	+40710,4	
Прогнбы в мм. (без увеличения)							0,080	0,091	0,240	0,127	0,407	

Таблица XLVI для расчета ординат прогиба нижнего пояса при равно-мёрной нагрузке.

№ элемента.	λ.2 в. см. отъ грузовой =1 т.	и. Σ р. λ					
		Ординаты прогиба при нагрузке каждого узла нижнего пояса грузом = 1 т. для узлов:					
		2	4	6	8	10	
Увеличили в 1 000 000 раз.							
Верхний пояс.	1-3	-57,9	+3069	+5732	+2316	+4227	+1795
	3-5	-59,6	+2082	+5722	+7748	+4351	+5424
	5-7	-59,0	+2419	+4425	+7434	+8014	+5399
	7-9	-57,9	+1853	+4169	+5443	+8453	+8861
	9-11	-57,7	+1789	+3520	+5308	+7039	+8713
	11-9'	-57,7	+1789	+3520	+5308	+7039	+8713
	9'-7'	-57,9	+1679	+2895	+5153	+5974	+8861
	7'-5'	-59,0	+1180	+3773	+3993	+5723	+5369
	5'-3'	-59,6	+954	+1550	+3159	+2920	+5424
	3'-1'	-57,9	+493	+1332	+1216	+2837	+1795
Итого для верхнего пояса:		+17877	+35938	+40448	+45687	+56877	+66204
Нижний пояс.	0-2	0	0	0	0	0	0
	2-4	+28,7	+1636	-57	+1292	-287	+890
	4-6	+53,8	+2851	+5396	+2152	+3927	+1668
	6-8	+59,0	+2501	+5462	+7397	+4154	+5178
	8-10	+57,8	+2254	+3999	+7109	+7052	+5375
	10-8'	+57,8	+1272	+3295	+3410	+4913	+5375
	8'-6'	+59,9	+910	+1479	+3016	+683	+5178
	6'-4'	+53,8	+430	+1237	+1130	+1937	+1668
	4'-2'	+28,7	+115	+57	+459	-344	+890
	2'-0'	0	0	0	0	0	0
Итого для нижнего пояса:		+12029	+20498	+25995	+22035	+26222	
Раскосы.	1-2	+120,5	+13135	-362	+10393	0	+7110
	1-4	+152,6	-788	+20488	-946	+14972	0
	3-6	+145,3	-1598	-581	+10855	0	+11470
	5-8	+124,1	-621	-3351	-745	+11290	0
	7-10	+74,0	-814	-296	-3034	0	+5846
	9-8'	-65	+1	+7	+2	+16	+1
	7'-10	-65	-1	-7	-2	-16	+1
	5'-8'	+74,0	+814	+296	+3034	0	+5846
	3'-6'	+124,1	+621	+3351	+745	+7818	0
	1'-4'	+152,6	-788	-20488	+946	+14972	0
	1'-2'	+120,5	+964	+362	+3736	0	+7110
Итого для раскосов:		+14699	+24743	+39911	+44599	+48872	
Стойки.	0-1	-58,1	+5229	+4648	+4067	+3486	+2995
	2-3	-41,6	-291	-125	+3078	0	+2080
	4-5	-39,6	-110	-622	-146	+2196	0
	6-7	-21,5	-151	-65	-559	0	+1075
	8-9	+0,1	0	+1	0	0	0
	10-11	0	0	0	0	0	0
	8'-9'	+0,1	0	+1	0	0	0
	6'-7'	-21,5	+151	+65	+559	0	+1075
	4'-5'	-39,6	+110	+622	+146	+1494	0
	2'-3'	-41,6	+291	+125	+1082	0	+2080
	0'-1'	-58,1	+581	+1162	+1743	+2324	+2995
Итого для стоек:		+5810	+5810	+9970	+9470	+12120	
Прогнбы в мм.							
Отъ постоянной нагрузки = 1 т.							
0,22 т. на узел.....							
Отъ равномерной временной нагрузки по 14 т. на узел.....							
		+0,49815	+0,86689	+1,19294	+1,32891	+1,47418	
		+3,098	+5,393	+7,420	+8,266	+9,168	
		+6,975	+12,137	+16,701	+18,609	+20,639	

Таблица XLVII для расчета ординат прогиба узлов

$k, \lambda = k, \frac{S, I}{E, \omega}$

от временной нагрузки k в узлах:

№ элемента	Увеличены в 10 000 раз.							Σ k λ в см от нижней временной нагрузки			
	2	4	6	8	8'	6'	2'				
	10000 раз										
Верхний пояс:	1-3	-107,0	-136,3	-125,1	-79,2	-95,4	-24,1	-36,0	-29,4	-6,8	-639,9
	3-5	63,9	93,1	284,1	-55,5	-199,3	-17,0	56,9	24,0	9,7	-812,3
	5-7	47,3	59,2	224,7	-91,0	-163,2	-27,9	-58,6	35,6	9,7	-717,4
	7-9	34,8	50,8	-158,5	-82,1	-245,9	-25,2	-83,0	33,8	-12,5	-718,6
	9-11	32,0	43,2	-148,9	-68,1	-243,8	-31,1	-85,4	40,9	-13,1	-709,0
	11-9'	32,0	43,2	-148,4	-68,1	-243,8	-31,1	-85,4	40,9	-13,1	-709,0
	9'-7'	39,0	35,7	-144,2	-54,8	-245,9	-37,7	-86,6	48,1	-14,3	-767,0
	7'-5'	23,6	37,6	-194,8	-69,7	-163,2	-41,8	-139,3	56,1	-19,4	-633,5
	5'-3'	22,0	28,4	-144,3	-37,6	-199,3	-25,5	-163,5	88,1	-29,2	-703,1
	3'-1'	16,7	31,0	-63,6	52,5	-95,4	-39,4	-72,0	-129,1	-43,9	-549,8
Итого для верхнего пояса:											
Нижний пояс:	0-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-4	+173,8	3,8	+209,9	16,3	+142,0	0	8,8	+42,7	3,6	+548,2
	4-6	+102,9	+130,7	-118,7	76,2	+91,2	+17,3	35,4	28,5	6,3	-646,2
	6-8	+62,3	+94,9	-299,4	+56,2	+203,5	+4,4	-67,1	24,9	9,7	-815,5
	8-10	+47,3	52,6	-276,8	78,4	-171,7	+36,0	-139,5	49,8	19,4	-643,7
	10-8'	+26,4	+47,0	-108,1	+54,8	-171,7	+25,2	-62,2	+44,5	+10,8	-719,5
	8'-6'	+23,0	+25,4	-116,6	+60,0	+203,5	+25,8	-167,1	80,9	26,8	-688,3
	6'-4'	+15,3	30,1	+61,5	+37,7	+91,2	+35,0	-68,3	+137,7	+42,0	-884,8
	4'-2'	+12,5	+3,8	+74,2	+19,4	+142,0	-7,5	+120,8	-3,6	0	-394,3
	2'-0'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Итого для нижнего пояса:											
Раскосы:	1-2	+624,1	-12,2	+752,6	-9,7	+510,9	+0,3	+154,9	+11,6	+18,8	+2096,3
	1-4	-36,1	+0,2	61,5	+35,5	0	+106,4	-35,4	+121,0	+14,8	+1144,4
	3-6	-99,4	-25,4	+151,7	-2,2	+102,0	+1,0	+31,1	+24,0	37,1	+2795,9
	3-8	-55,6	-202,1	92,5	+55,5	0	+167,0	+56,1	+191,4	+22,8	636,2
	7-10	-139,0	-38,5	-826,8	-3,0	+1568,8	+1,4	-475,8	36,5	57,0	+1132,2
	9-8'	-48,7	-181,4	76,3	-330,7	53,0	+153,3	+58,6	-171,8	20,0	+335,2
	9'-8'	+54,2	-138,0	-101,8	+333,7	53,0	-154,7	-43,9	-178,9	+22,2	-830,1
	7'-10'	-139,0	-38,4	-826,8	-3,0	+1568,8	-1,4	-475,8	36,5	57,0	+2095,4
	5'-8'	+55,6	-202,1	92,5	+55,5	0	+167,0	+56,1	+191,4	+22,8	704,0
	3'-6'	-99,4	-25,4	+151,7	-2,2	+102,0	+1,0	+31,1	+24,0	37,1	+2493,7
	1'-4'	-36,1	+0,2	61,5	+35,5	0	+106,4	-35,4	+121,0	+14,8	+1149,5
	1'-2'	+45,9	+12,2	+269,2	+9,7	+510,9	+0,3	+154,9	+11,6	+18,8	+1516,0
Итого для раскосов:											
Ступицы:	0-1	-161,2	-95,8	-199,8	-57,0	-137,8	-17,7	-47,9	-23,1	-7,4	-739,4
	2-3	+26,4	+7,5	-432,5	0	-294,7	-9,3	-86,1	-71,0	-10,8	-799,9
	4-5	+16,7	59,2	+29,7	+165,5	0	-49,3	-17,1	-56,1	-6,8	-182,4
	6-7	+40,3	+11,3	+239,6	+1,5	455,8	-0,7	-137,9	-10,7	-16,5	-328,9
	8-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8'-0'	-11,1	-37,6	-21,2	-66,6	+10,6	+30,9	+8,5	+34,7	+4,0	-47,8
	6'-7'	-49,2	-11,5	-239,6	-1,5	-455,8	-0,7	+137,9	+10,7	+16,5	-827,7
	4'-5'	-19,7	59,2	+29,7	+162,3	0	-75,1	+17,1	-56,1	-6,8	-208,6
	2'-3'	-26,4	-7,5	-154,8	-9,7	-294,7	+0,3	-248,9	+7,1	-10,8	-714,8
	0'-1'	-18,1	-24,1	-84,7	-38,5	-137,8	-26,2	-109,8	-91,2	-66,1	-595,3
Итого для стоек:											

Прогибы узлов, увеличенные в 1 000 000 раз, в см.

нижнего пояса от неравномерной временной нагрузки.

и. Σ k λ

Ординаты прогиба в см. для узлов:

№ элемента	Увеличены в 1 000 000 раз.							№ элемента			
	2	4	6	8	10	8'	6'				
	1000000 раз										
	+339147	+633501	+255050	+671217	+198369	+313551	+134370	+147177	+51102	1-3	
	+265625	+280000	+105050	-591245	739375	308125	459025	221200	130000	3-5	
	+294952	+537960	063072	-1057112	652625	605084	418804	337084	143440	5-7	
	+229952	+517392	085484	-1049156	1092272	704248	639354	359300	208394	7-9	
	+218860	+436600	049520	-801320	1066060	801320	649520	436600	218860	9-11	
	+218860	+436600	049520	-801320	1066060	801320	649520	436600	218860	11-9'	
	+202391	+348950	031131	-683942	1066868	1018034	656020	502488	223238	9'-7'	
	+1207960	292745	361095	-624955	576485	-924949	798210	-475125	253735	7'-5'	
	+112496	182860	372943	344519	639821	499201	914930	674976	319095	5'-3'	
	+432448	124238	113520	264894	167580	394938	216240	535194	289518	3'-1'	
	+2051334	+428399,6	+567886,1	+680791,0	+725048,8	+667191,1	+550690,8	+411392,4	+205672,2		
	+312474	0	0	0	5482,0	10994,2	6578,4	8771,2	1099,4	2192,8	0-2
	32181,6	-1096,4	24669,0	0	44335,6	18823,2	21850,0	6671,2	6973,6	2425,0	2-4
	36997,5	60112,8	24388,0	0	59531,5	74210,5	9786,8	44221,5	21203,0	13048,6	4-6
	38666,5	7828,8	166615,0	0	88495,5	87277,0	66913,5	61135,2	42450,5	41011,5	6-8
	41611,4	46648,0	88495,5	0	109414,5	59841,1	78531,4	29175,1	41106,8	50370,0	8-10
	11012,8	36669,0	37978,3	54714,5	62935,3	50245,9	80479,0	66078,8	30972,5	22434,8	10-8'
	7078,1	17895,8	36479,0	8259,0	21238,8	64559,4	35392,0	8759,2	46944,4	8759,2	8'-6'
	1577,2	788,6	6308,8	4731,6	13223,3	3943,0	17743,5	788,6	22475,1	4731,6	4'-2'
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2'-0'
	+162016,8	+347558,1	+342818,3	+276249,4	+340092,9	+275648,8	+324004,0	+264394,7	+190976,9		
	+224573	-6181	+177186	0	+121558	0	+63869	+6181	+16482	1-2	
	-5722	+148772	-6866	+108718	0	+72097	-6866	+30899	-5722	1-4	
	-30745	-11180	+321220	0	+220805	0	+114595	-11180	+30745	3-6	
	3181	-17177	3818	+66439	0	+40081	3818	-17177	3181	5-8	
	12454	4529	46420	0	80444	0	46420	4529	12454	7-10	
	566	3680	849	8726	366	8726	849	3680	566	9-8'	
	796	3293	796	7291	479	7291	796	3293	479	9'-8'	
	22059	8022	83221	0	+158427	0	83221	8022	22059	7'-10'	
	3520	19008	4224	44352	0	+66886	4224	19008	3520	5'-8'	
	27431	9975	103242	0	+197002	0	+289269	9975	27431	3'-6'	
	5748	31937	6897	72419	0	+109203	6897	31937	5748	1'-4'	
	12128	4548	46999	0	80444	0	+130370	4548	+165249	1'-2'	
	+242629	+180268	+688437	+301995	+876776	+272194	+569316	+176827	+173756		
	+66546	+59152	+51758	+44364	+30970	+29576	+22182	+14288	+7394	0-1	
	5599	2400	59193	0	+39995	0	+20797	2400	5599	2-3	
	562	3182	749	+11232	0	+7488	749	3182	562	4-5	
	2302	687	8551	0	+16445	0	851	687	2302	6-7	
	112	449	112	+1122	56	+1122	112	505	112	8-10	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10-11	
	96	430	96	956	-48	956	96	430	96	8'-0'	
	4079	1248	15159	0	20135	0	15159	1248	4079	6'-7'	
	624	3536	832	8320	0	+12480	832	3536	624	4'-5'	
	5004	2144	18585	0	35740	0	53898	2144	5004	2'-3'	
	5953	41066	12859	+23819	29795	+35718	41071	47724	53577	0'-1'	
	+73951	+72796	+154285	+89813	+188658	+83184	+122935	+60766	+59510		
	+685730	+1038022	+1753420	+1348758	+2130876	+1208218	+1557966	+967350	+629023		

Таблица XLVIII вертикальных и горизонтальных перемещений узлов нижнего пояса в мил.

Название переувелич.	№ узла.	Н А Г Р У З А:					
		постоянная по 6,22 т. на узел.	временная		полная неравнобр.	полная равномерная.	полная равномерная.
			неравнобр.	равнобр.			
		согласно случаю					
		I	II				
Вертикальный прогиб.	0	0	0	0	0	0	0
	2	+ 3,098	+ 6,857	+ 6,975	+ 9,955	+ 10,073	
	4	+ 5,393	+ 10,380	+ 12,137	+ 15,773	+ 17,530	
	6	+ 7,420	+ 17,534	+ 16,701	+ 24,954	+ 24,121	
	8	+ 8,266	+ 13,488	+ 18,609	+ 21,754	+ 26,875	
	10	+ 9,168	+ 13,309	+ 20,630	+ 30,477	+ 29,807	
	8'	+ 8,266	+ 12,982	+ 18,609	+ 21,248	+ 26,875	
	6'	+ 7,420	+ 15,580	+ 16,701	+ 23,000	+ 24,121	
	4'	+ 5,393	+ 9,074	+ 12,137	+ 14,467	+ 17,530	
	2'	+ 3,098	+ 6,290	+ 6,975	+ 9,388	+ 10,073	
Горизонтальное перемещение в сторону опор, считая от срединной прямой.	0	+ 1,228	+ 2,691	+ 2,761	+ 3,919	+ 3,989	
	2	+ 1,228	+ 2,691	+ 2,761	+ 3,919	+ 3,989	
	4	+ 1,049	+ 2,143	+ 2,359	+ 3,192	+ 3,408	
	6	+ 0,714	+ 1,536	+ 1,606	+ 2,250	+ 2,320	
	8	+ 0,360	+ 0,720	+ 0,809	+ 1,080	+ 1,160	
	10	0	0	0	0	0	
	8'	+ 0,360	+ 0,644	+ 0,809	+ 1,004	+ 1,169	
	6'	+ 0,714	+ 1,332	+ 1,606	+ 2,046	+ 2,320	
	4'	+ 1,049	+ 2,217	+ 2,359	+ 3,266	+ 3,408	
	2'	+ 1,228	+ 2,611	+ 2,761	+ 3,839	+ 3,989	
0'	+ 1,228	+ 2,611	+ 2,761	+ 3,839	+ 3,989		

Таблица XLIX вертикальных прогибов узлов верхнего пояса в мил.

№ узла.	$\lambda = \frac{S I}{E a}$		Прогибы узлов.									
	Укорочения стоек в м.м. от нагрузки		нижнего пояса					верхнего пояса				
	постоян.	временной	полной		от нагрузки:							
пос-тоян.			полной	пос-тоян.	полной	пос-тоян.	полной					
1	+0,301	+0,739	+0,813	+1,100	+1,174	0	0	0	8,361	1,100	1,174	
3	+0,258	+0,800	+0,581	+1,058	+0,839	3,098	9,955	10,073	3,356	1,613	10,912	
5	+0,228	+0,187	+0,512	+0,415	+0,740	5,393	15,773	17,530	5,621	16,188	18,270	
7	+0,134	+0,329	+0,301	+0,463	+0,435	7,420	24,954	24,121	7,554	25,417	24,550	
9	+0,001	+0,056	+0,001	+0,057	+0,002	8,266	21,754	20,875	8,267	21,697	20,873	
11	0	0	0	0	0	9,168	30,477	29,807	9,168	30,477	29,807	
9'	+0,001	+0,048	+0,001	+0,041	+0,000	8,266	21,248	20,875	8,267	21,205	20,873	
7'	+0,134	+0,583	+0,301	+0,717	+0,435	7,420	23,000	24,121	7,554	23,717	24,550	
5'	+0,228	+0,208	+0,512	+0,436	+0,740	5,393	14,467	17,530	5,621	14,903	18,270	
3'	+0,258	+0,715	+0,581	+0,973	+0,839	3,098	9,388	10,073	3,356	16,361	16,913	
1'	+0,301	+0,595	+0,813	+0,956	+1,174	0	0	0	6,261	9,956	1,174	

в) Верхний пояс. Вертикальные прогибы узлов верхнего пояса помещены в таблицу XLIX и рассчитаны как алгебраическая сумма изъятых дуг стоек и прогиба соответствующих узлов нижнего пояса.

В) Расчет горизонтальных перемещений узлов.

а) Нижний пояс. Приняв один из узлов нижнего пояса за неподвижный, можно определить горизонтальное перемещение каждого узла того же пояса как сумму удлинений всех элементов нижнего пояса, расположенных между рассматриваемым и неподвижным узлом. В данном случае за неподвижную точку принять средний узел 10. Горизонтальные перемещения узлов нижнего пояса в обе стороны от узла 10 помещены в таблицу XLVIII.

в) Верхний пояс. Горизонтальные перемещения узлов верхнего пояса определены посредством диаграмм Виллота, построенных как для I так и для II случая нагрузки.

§ 29. Определение деформации элементов.

Согласно изложенному в V главе § 8 для определения деформации каждого элемента должны быть известны: 1) координаты касательных к упругой линии, положение которых обуславливаются величиной и знаком углов τ , заключенных между касательной и хордой; 2) величины и знаки изгибающих моментов для концов элемента.

А) Расчет углов τ отклонения касательных.

Как известно из § 8 величина угла τ определяется по формуле $\tau_{n,x} = (\varphi_n - \varphi_{n,x})$, где φ_n — угол вращения узла n , а $\varphi_{n,x}$ — угол вращения элемента $(n-x)$.

Углы τ можно рассчитать для любого случая нагрузки, исходя из таблиц XXVIII до XXXVI и таблицы XXXVIII, содержащих все значения углов φ и φ . В этих таблицах значения углов φ и φ даны для положения груза = 1 т. в отдельных узлах нижнего пояса. Поэтому, чтобы получить значения углов φ и φ для рассматриваемых двух случаев нагрузки, необходимо каждое значение, приведенное в таблицах, умножить на соответствующую узловую нагрузку и сложить результаты, относящиеся к одному и тому же элементу. Для постоянной и всякой равномерной нагрузки это упрощается, если определить сперва значения φ и φ , соответствующие одновременно нагружению всех узлов нижнего пояса грузами = 1 т. и затем умножить эти значения на 6,22 т. или 14 т. Результаты вышеуказанных расчетов, представляющих мало интереса, приведены в таблицах I и Ia. Для пояснения способа расчета рассмотрим два примера:

1) Расчет угла τ правой касательной элемента 7-5 при двойной ординарной, неравномерной нагрузке. Определим сначала угол $\varphi_{7,5}$; для этого

Таблица L углов τ отклонения касательных к поясам от неравномерной и равномерной нагрузок.

Углы τ увеличены в 500 раз.

№ элемента.	Постоянная нагрузка по 6,22 Т. на узель.	Временная нагрузка		Полная нагрузка			
		неравномерная	равномерная	неравномерная	равномерная	неравномерная	
						линейная величина	углы в градусах.
		согласно случаю					
		I	II				
Верхний пояс.							
1-3	-0,10	-0,19	-0,23	-0,29	-0,33	-17,0	-10,0
3-1	-0,04	-0,40	-0,09	-0,44	-0,13	-25,5	+7,5
3-5	+0,03	+0,06	+0,07	+0,09	+0,10	+5,0	+5,5
5-3	-0,04	+0,53	-0,09	+0,49	-0,13	+28,0	-7,5
5-7	+0,06	-0,08	+0,14	-0,02	+0,20	-1,0	+11,5
7-5	-0,09	-0,82	-0,20	-0,91	-0,29	-52,0	-17,0
7-9	+0,04	+0,53	+0,09	+0,57	+0,13	+33,0	+7,5
9-7	+0,04	+0,02	+0,09	+0,66	+0,13	+38,0	+7,5
9-11	0	-0,55	0	-0,55	0	-31,5	0
11-9	-0,11	-0,08	-0,25	-0,29	-0,26	-45,5	-20,5
11-9'	+0,11	+0,71	+0,25	+0,82	+0,26	+47,0	+20,5
9'-11	0	+0,50	0	+0,50	0	+28,5	0
9'-7'	-0,04	-0,62	-0,09	-0,66	-0,13	-38,0	-7,5
7'-9'	-0,04	-0,45	-0,09	-0,49	-0,13	-28,0	-7,5
7'-5'	+0,09	+0,77	+0,20	+0,86	+0,29	+49,5	+17,0
5'-7'	-0,06	+0,02	-0,14	-0,04	-0,20	-2,0	-11,5
5'-3'	+0,04	-0,45	+0,09	-0,41	+0,13	-23,5	+7,5
3'-5'	-0,03	-0,01	-0,07	-0,04	-0,10	-2,5	-5,5
3'-1'	+0,04	+0,37	+0,09	+0,41	+0,13	+23,5	+7,5
1'-3'	+0,10	+0,14	+0,23	+0,24	+0,33	+14,0	+10,0
Нижний пояс.							
0-2	-0,08	-0,16	-0,18	-0,24	-0,26	-14,0	-15,0
2-0	-0,08	-0,37	-0,18	-0,45	-0,26	-20,0	-15,0
2-4	-0,04	+0,07	-0,09	+0,03	-0,13	+2,0	-7,5
4-2	-0,04	+0,01	-0,09	+0,57	-0,13	+32,5	-7,5
4-6	+0,05	+0,07	+0,11	+0,12	+0,16	+7,0	+9,0
6-4	-0,09	-1,01	-0,20	-1,10	-0,29	-63,0	-16,5
6-8	+0,04	+0,29	+0,09	+0,33	+0,13	+19,0	+7,5
8-6	-0,01	+0,84	-0,01	+0,83	-0,02	+47,5	-1,0
8-10	+0,02	-0,20	+0,05	-0,18	+0,07	-10,5	+4,0
10-8	-0,06	-0,00	-0,14	-0,06	-0,20	-38,0	-11,5
10-8'	+0,06	+0,62	+0,14	+0,68	+0,20	+39,0	+11,5
8'-10	-0,02	+0,17	-0,05	+0,15	-0,07	+8,5	-4,0
8'-6'	+0,07	-0,82	+0,16	-0,75	+0,23	-43,0	+13,0
6'-8'	-0,04	-0,21	-0,09	-0,25	-0,13	-14,5	-7,5
6'-4'	+0,09	+0,92	+0,20	+1,01	+0,29	+58,0	+16,5
4'-6'	-0,05	-0,13	-0,11	-0,17	-0,16	-9,5	-9,0
4'-2'	+0,04	-0,47	+0,09	-0,43	+0,13	-24,5	+7,5
2'-4'	+0,04	+0,02	+0,09	+0,06	+0,13	+3,5	+7,5
2'-0'	+0,08	+0,25	+0,18	+0,33	+0,26	+10,0	+15,0
0'-2'	+0,08	+0,14	+0,18	+0,22	+0,26	+12,5	+15,0

Таблица La углов τ отклонения касательных к раскосам и стойкам от неравномерной и равномерной нагрузок.

Углы τ увеличены в 500 раз.

№ элемента.	Постоянная нагрузка по 6,22 Т. на узель.	Временная нагрузка		Полная нагрузка			
		неравномерная	равномерная	неравномерная		равномерная	
				линейная величина	углы в градусах.		
		согласно случаю					
		I	II				
Верхний пояс.							
1-2	+0,11	+0,27	+0,25	+0,38	+0,36	+22,0	+20,5
2-1	+0,12	+0,02	+0,27	+0,14	+0,39	+8,0	+23,5
1-4	-0,03	+0,13	-0,07	+0,10	-0,10	+6,0	-6,0
4-1	-0,03	+0,45	-0,07	+0,42	-0,10	+24,0	-6,0
3-6	+0,12	-0,16	+0,27	-0,04	+0,29	-2,5	+22,5
6-3	-0,07	-0,58	-0,16	-0,05	-0,23	-32,0	-13,0
5-8	+0,07	+0,38	+0,16	+0,45	+0,23	+26,0	+13,0
8-5	-0,05	+0,13	-0,11	+0,08	-0,16	+4,5	-9,0
7-10	+0,03	-0,19	+0,07	-0,16	+0,10	-9,0	+6,0
10-7	-0,12	-0,25	-0,27	-0,37	-0,39	-21,0	-22,5
9-8'	-0,02	-0,26	-0,05	-0,28	-0,07	-16,0	-4,0
8'-9	+0,18	+0,42	+0,41	+0,60	+0,59	+34,5	+34,0
8'-9'	-0,02	-0,39	-0,41	-0,57	-0,59	-32,5	-34,0
9'-8	+0,02	+0,25	+0,05	+0,27	+0,07	+15,5	+4,0
10-7'	+0,12	+0,38	+0,27	+0,50	+0,39	+28,5	+22,5
7'-10	-0,03	+0,35	-0,07	+0,32	-0,10	+18,5	-6,0
8'-5'	+0,05	-0,16	+0,11	-0,11	+0,16	-6,5	+9,0
5'-8'	-0,07	-0,37	-0,16	-0,44	-0,23	-25,5	-13,0
6'-3'	+0,07	+0,54	+0,16	+0,61	+0,23	+35,0	+13,0
3'-6'	-0,12	+0,09	-0,27	-0,03	-0,39	-1,5	-22,5
4'-1'	+0,03	-0,39	+0,07	-0,36	+0,10	-20,5	+6,0
1'-4'	+0,03	-0,06	+0,07	-0,03	+0,10	-1,5	+6,0
2'-1'	-0,12	-0,06	-0,27	-0,18	-0,39	-16,5	-22,5
1'-2'	-0,11	-0,24	-0,25	-0,35	-0,36	-20,0	-20,5
Стойки.							
0-1	+0,06	+0,17	+0,14	+0,23	+0,20	+13,0	+11,5
1-0	+0,06	+0,20	+0,14	+0,26	+0,20	+15,0	+11,5
2-3	+0,09	0	+0,20	+0,09	+0,29	+5,0	+16,5
3-2	+0,15	-0,09	+0,34	+0,06	+0,49	+3,5	+28,0
4-5	+0,12	+0,64	+0,27	+0,76	+0,39	+43,5	+22,5
5-4	+0,11	+0,50	+0,25	+0,61	+0,30	+35,0	+20,5
6-7	+0,04	-0,42	-0,09	-0,38	-0,13	-22,0	+7,5
7-6	+0,02	-0,18	+0,05	-0,16	+0,07	-9,0	+4,0
8-9	+0,04	+0,34	+0,09	+0,38	+0,13	+22,0	+7,5
9-8	+0,07	+0,06	+0,16	+0,13	+0,23	+7,5	+13,0
10-11	0	+0,02	0	+0,02	0	+1,0	0
11-10	0	-0,02	0	-0,02	0	+1,0	0
8'-0'	-0,04	0,40	-0,09	-0,44	-0,13	-25,5	-7,5
0'-8'	-0,07	-0,07	-0,16	-0,14	-0,23	-8,0	-13,0
6'-7'	-0,04	+0,45	-0,09	+0,41	-0,07	+23,5	-7,5
7'-6'	-0,02	+0,20	-0,05	+0,18	-0,09	+10,5	-4,0
4'-5'	-0,12	-0,57	-0,27	-0,60	-0,39	-39,5	-22,5
5'-4'	-0,11	-0,51	-0,25	-0,62	-0,36	-35,5	-20,5
2'-3'	-0,09	0	-0,20	-0,09	-0,29	-5,0	-16,5
3'-2'	-0,15	+0,03	-0,34	-0,12	-0,49	-7,0	-28,5
0'-1'	-0,06	-0,12	-0,14	-0,18	-0,20	-10,5	-11,5
1'-0'	-0,06	-0,13	-0,14	-0,19	-0,20	-11,0	-11,5

выпишем: 1) значения ($\varphi_{7,2}$), соответствующие положениям груза - 1 т. в каждом из узлов нижнего пояса, и 2) действительные узловые нагрузки (согл. фиг. 60).

№№ узлов . . .	2	4	6	8	10	8'	6'	4'	2'
1000000 ($\varphi_{7,2}$) . . .	+ 109	- 221	+ 397	- 181	+ 390	- 98	+ 203	- 15	+ 56
Узлов. нагрузка . . .	13,9	9,4	21,2	7,4	21,2	3,4	12,2	8,9	5,7 т.
1000000 $\varphi_{7,2}$. . .	+1515,1	-2077,4	+8416,4	-1339,4	+8268,0	-333,2	+2476,6	-133,5	+319,2

Последний ряд представляет значения φ при отдельном действии нагрузки каждого узла. Для получения углов $\varphi_{7,2}$ от всей временной нагрузки необходимо сложить числа этого горизонтального ряда. Разделив сумму на 20000 получим:

$$500 \varphi_{7,2} = +0,866.$$

Для определения угла φ_7 вращения узла 7 поступаем точно также и составляем следующую таблицу:

№№ узлов . . .	2	4	6	8	10	8'	6'	4'	2'
1000000 (φ_7) . . .	+13,0	-84,3	+5,1	+263,5	-53,3	+227,5	-29,5	+43,5	-18,0
Узлов. нагрузка . . .	13,9	9,4	21,2	7,4	21,2	3,4	12,2	8,9	5,7 т.
1000000 φ_7 . . .	+180,7	-792,4	+108,1	+1949,9	-1236,0	+773,5	-339,9	+387,2	-102,6

Сложив последний ряд и разделив на 20000, получим:

$$500 \varphi_7 = +0,045.$$

$$\text{Потому } 500 \tau_{7,2} = +0,045 - 0,866 = -0,82.$$

То же значение для $\tau_{7,3}$ находим в таблиць L (графа 7-5 верхнего пояса).

2) Расчет того же угла $\tau_{7,3}$ при действии постоянной нагрузки. Складывая в последних двух таблицах ряды, заключающие 1000000 ($\varphi_{7,2}$) и 1000000 (φ_7) и умножая на одинаковую для всех узлов нагрузку 6,22 т., получим:

$$500 \tau_{7,3} = +0,032 \times 6,22 = +0,199.$$

$$500 \varphi_7 = +0,016 \times 6,22 = +0,111.$$

Так что

$$500 \tau_{7,3} = +0,111 - 0,199 = -0,09$$

То же значение находится в таблиць L.

Расчитанные таким образом углы τ послужили для построения концевых касательных каждого элемента причем положительные углы τ откладывались в сторону движения часовой стрелки, а отрицательные углы τ - в обратную сторону.

В) Расчет изгибающих моментов.

Пользуясь значениями углов τ отклонения концевых касательных, изгибающие моменты, приложенные к концам элементов, рассчитывались по формул

$$M = \frac{2.E.I}{l} (2\tau_1 + \tau_2).$$

Результаты расчета приведены в таблиць LI.

Таблица LI дополнительных моментов в мет. нил.

№ элемента.	Постоянная нагрузка по 6,22 т. на узел.		Временная нагрузка, неравномерная, согласно I случаю.		
	К о н е ц ь		К о н е ц ь		
	л ь в ы й.	п р а в ы й.	л ь в ы й.	п р а в ы й.	
Верхний пояс.	1-3	- 726	- 529	- 2864	- 3889
	3-5	+ 130	- 386	+ 4583	+ 7997
	5-7	+ 100	- 1133	- 9211	- 16018
	7-9	+ 1119	+ 1075	+ 16375	+ 17282
	9-11	- 1118	- 2175	- 17345	- 18032
	11-9'	+ 1118	+ 2175	+ 18830	+ 16716
	9'-7'	+ 1119	+ 1075	+ 16561	+ 14833
	7'-5'	- 166	+ 1133	+ 14420	+ 7516
	5'-3'	- 130	- 386	+ 6405	+ 3271
	3'-1'	+ 726	+ 529	+ 2870	+ 2139
	Нижний пояс.	0-2	- 437	- 435	- 1337
2-4		+ 202	- 211	+ 1451	+ 2501
4-6		+ 96	- 614	- 4672	- 10388
6-8		+ 593	+ 207	+ 11656	+ 16134
8-10		- 236	- 1548	- 16541	- 23120
10-8'		+ 236	+ 1548	+ 23011	+ 15657
8'-6'		+ 593	+ 207	+ 15308	+ 10133
6'-4'		+ 96	- 614	+ 9173	+ 3668
4'-2'		+ 202	+ 211	+ 1787	+ 830
2'-0'		+ 437	+ 435	+ 1236	+ 1032
Раскосы.		1-2	+ 386	+ 394	+ 649
	1-4	- 82	- 83	+ 806	+ 1175
	3-6	+ 110	- 7	- 562	- 833
	5-8	+ 28	- 6	+ 264	+ 190
	7-10	+ 9	- 31	- 95	- 104
	9-8'	+ 13	+ 31	- 9	+ 55
	8'-6'	- 13	- 31	- 50	+ 11
	10-7'	+ 9	+ 31	+ 167	+ 163
	8'-5'	- 28	- 6	- 206	- 266
	6'-3'	+ 110	- 7	+ 739	+ 450
	4'-1'	+ 82	- 83	+ 965	+ 590
2'-0'	+ 386	- 394	- 409	- 616	
Остойки.	0-1	+ 437	+ 422	+ 1337	+ 1419
	2-3	+ 244	+ 288	- 63	- 131
	4-5	+ 198	+ 193	+ 1030	+ 951
	6-7	+ 29	+ 23	+ 341	+ 261
	8-9	+ 24	+ 30	+ 133	+ 82
	10-11	0	0	+ 8	+ 8
	8'-9'	- 24	- 30	- 159	- 99
	6'-7'	- 29	- 23	+ 370	+ 287
	4'-5'	+ 198	+ 193	+ 950	+ 917
	2'-3'	+ 244	+ 288	+ 18	+ 43
	0'-1'	+ 437	+ 422	+ 961	+ 988

С) Построение деформаций.

Руководствуясь знаками моментов и углов τ и пользуясь правилом, изложенным в § 8 главы 8, строились (по транспорту) концевые касательные и по ним вычерчивались упругие линии каждого элемента. Для элементов, подверженных полному или неполному с-образному изгибу, кроме касательных определялись нулевые точки упругих линий.

Полные деформации фермы для I и II случая нагрузки представлены в искаженном виде на VI листе чертежей. Углы отклонения касательных увеличены в 250 раз против их натуральной величины, а линейная перемещение узлов отложены в 100 раз большим масштабом, чем остальные данные.

Из сопоставления деформаций двухраскосной фермы, соответствующих равномерному и неравномерному распределению временной нагрузки, ясно усматриваются недостатки двухраскосной системы.

Как указано в таблицах на стр. 31, пояса испытывают при равномерной нагрузке значительные дополнительные напряжения, превосходящие в несколько раз дополнительные напряжения от равномерной нагрузки.

§ 30. Заключение.

При расчете дополнительных напряжений от жесткости узлов по способам, изложенным в I отделе, следует иметь в виду, что формулы применимы лишь в тех случаях, когда напряжения не превосходят предельную упругость материала, и что не приняты во внимание следующие обстоятельства: 1) изменчивость коэффициента E упругости материала, 2) местные усадки стальных от устройств узловых и стыковых накладок, 3) выпучивания элементов из плоскости фермы, влияющие на изменение $\Delta\alpha$ углов, 4) влияние поперечной силы (нормальной составляющей продольной силы S , см. § 2), 5) возможная подвижность заклепочных соединений, связанная с незначительными изменениями углов между элементами.

Как усматривается из II отдела, величина дополнительных напряжений, вызванных жесткостью узлов, сильно колеблется в зависимости от системы фермы; а так как при расчете сквозных ферм обыкновенно пренебрегается влиянием жесткости узлов, то следует заключить, что фермы, рассчитанные (при одинаковых условиях) в предположении шарнирных узлов, в действительности обладают *неодинаковым* запасом прочности, зависящем отчасти от системы фермы. Кроме того следует указать на то, что те же фермы, рассчитанные в предположении жестких узлов, всегда имеют *меньший* запас прочности, чем в первом случае.

Насколько запас прочности различных ферм уменьшается от влияния жесткости узлов, можно судить по отношениям $\frac{N}{n}$, рассчитанным

во II отделе для разных ферм с параллельными поясами и выражающим во сколько раз запас прочности при жестких узлах *меньше*, чем при шарнирных узлах. Нетрудно убедиться, что фермы простой раскосной системы меньше всех страдают от жесткости узлов; второе место занимают фермы с простой треугольной решеткой без стоек, затем следуют фермы с такой же решеткой, но со стойками и т. д. В худших условиях находится ферма двухраскосной и двухрешетчатой системы, так как их запас прочности, рассчитанный при шарнирных узлах, уменьшается до 3,93 раз при устройстве жестких узлов; причем полные напряжения некоторых элементов поясов даже превышают предельную упругость материала.

Ввиду сложности расчета дополнительных напряжений от жестких узлов трудно рассчитывать на их применение на практике. Во многих случаях подобные расчеты представляли бы даже излишними, так как, основываясь на опыте с существующими фермами, можно было бы повысить допускаемые напряжения в случае подбора стальных поясов напряжением N , рассчитанным при жестких узлах, а в таком случае стальные пояса мало отличались бы от стальных, соответствующих иным принятому способу расчета.

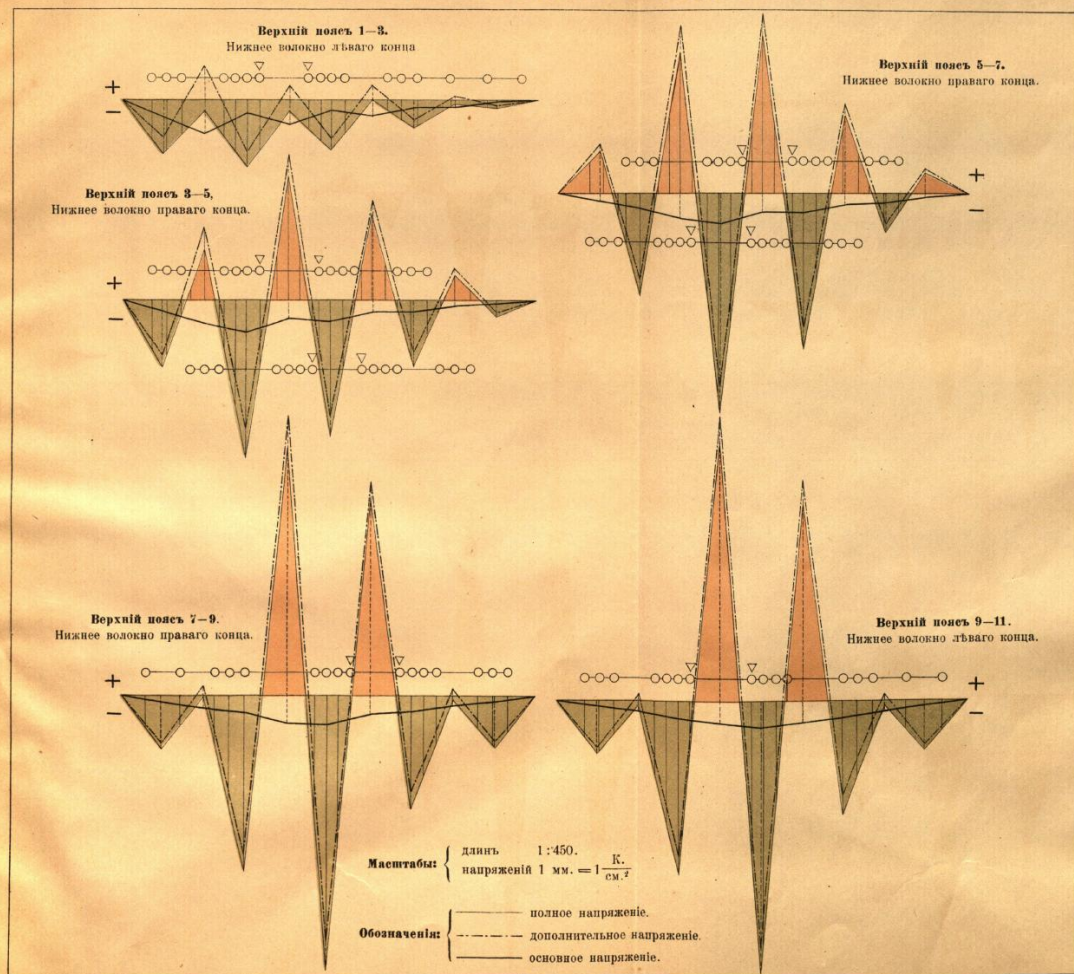
При проектировании сквозных ферм с жесткими узлами влияние поперечных может быть принято во внимание другим, более простым способом, при котором условия рассчитываются в предположении шарнирных узлов, между тем как допускаемые напряжения определяются для каждого элемента отдельно, в зависимости от его расположения в пролете и от чувствительности фермы к влиянию жестких узлов. При данных значениях $\frac{l}{e}$ и $\frac{l}{b}$, зависящих от размеров стальных стальных элементов, допускаемая напряженность могут быть определены по отношениям $\frac{N}{n}$, приведенным в таблицах II отдела.

Пользуясь указанным приемом, можно было бы допускать наибольшие напряжения для ферм простой раскосной системы и соответственно уменьшать их для ферм с простой треугольной решеткой без стоек, для ферм с такой же решеткой, но со стойками, для ферм сложной раскосной системы и т. д. Что же касается ферм двухраскосной и двухрешетчатой системы, то они потребовали бы весьма значительного уменьшения допускаемых напряжений.

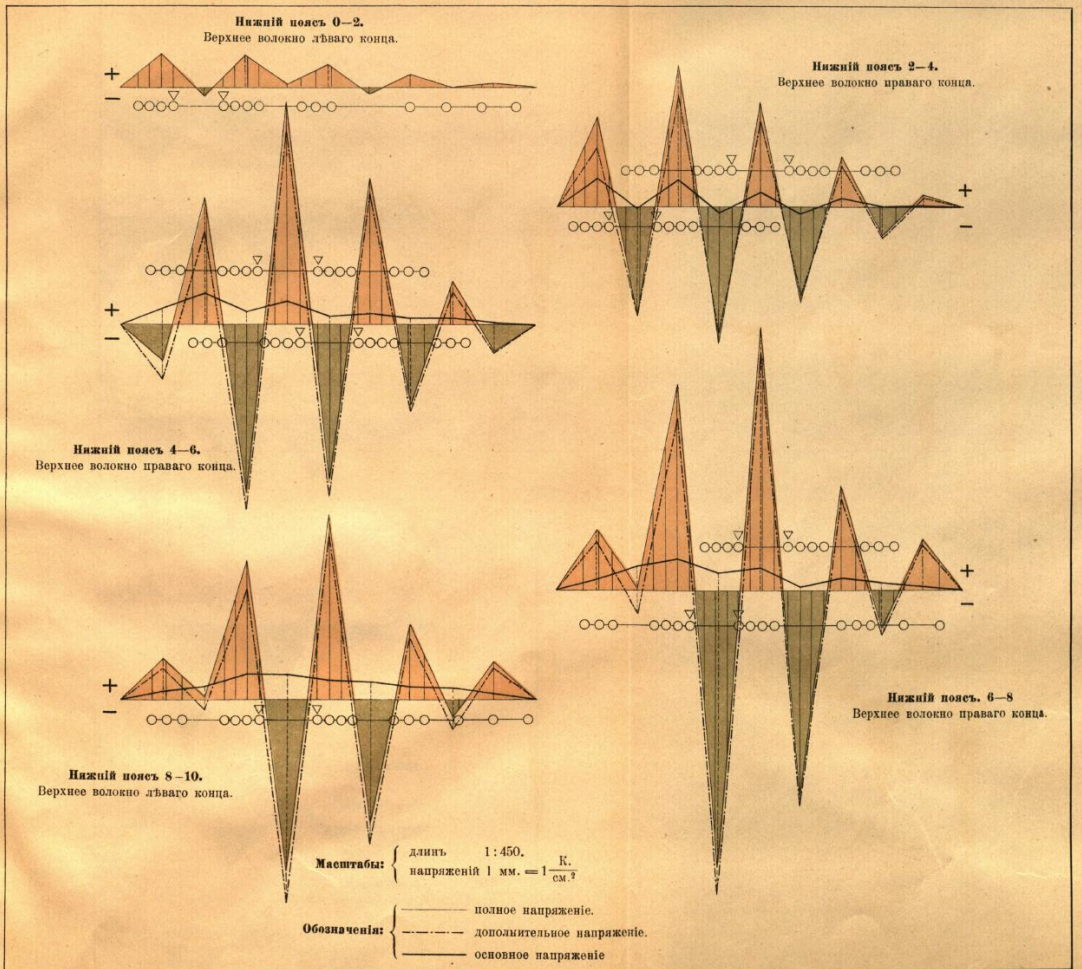
к о н е ц ь .

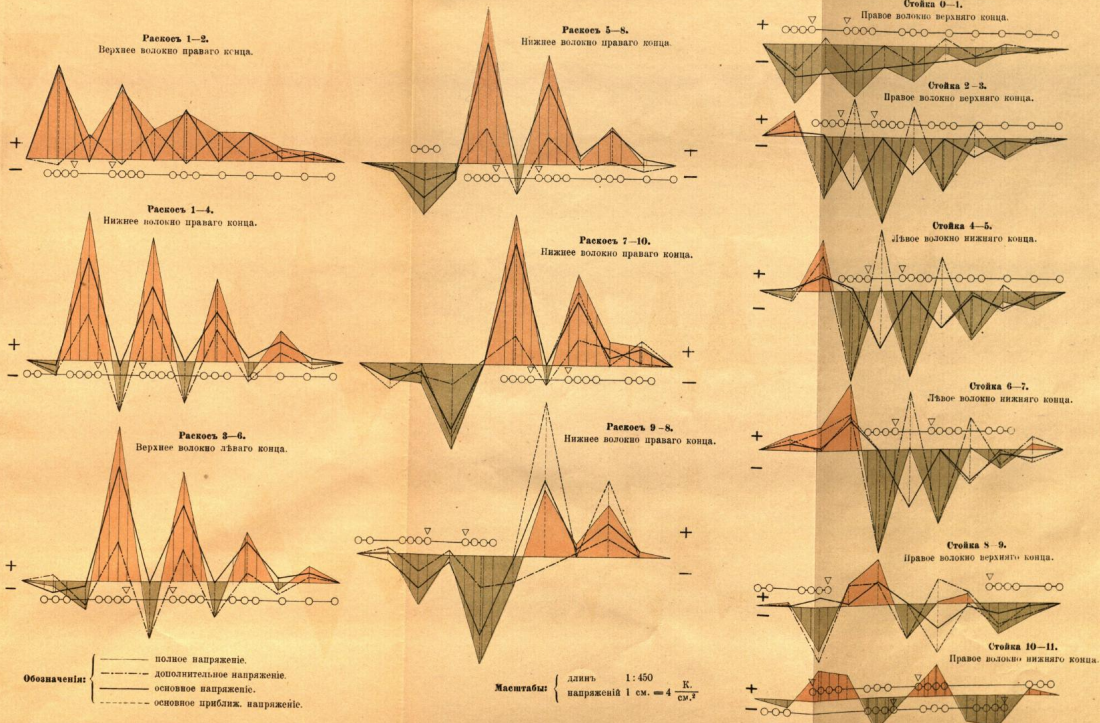
Инфлюэнтная линии напряжений в верхнем поясе двухраскосной фермы.

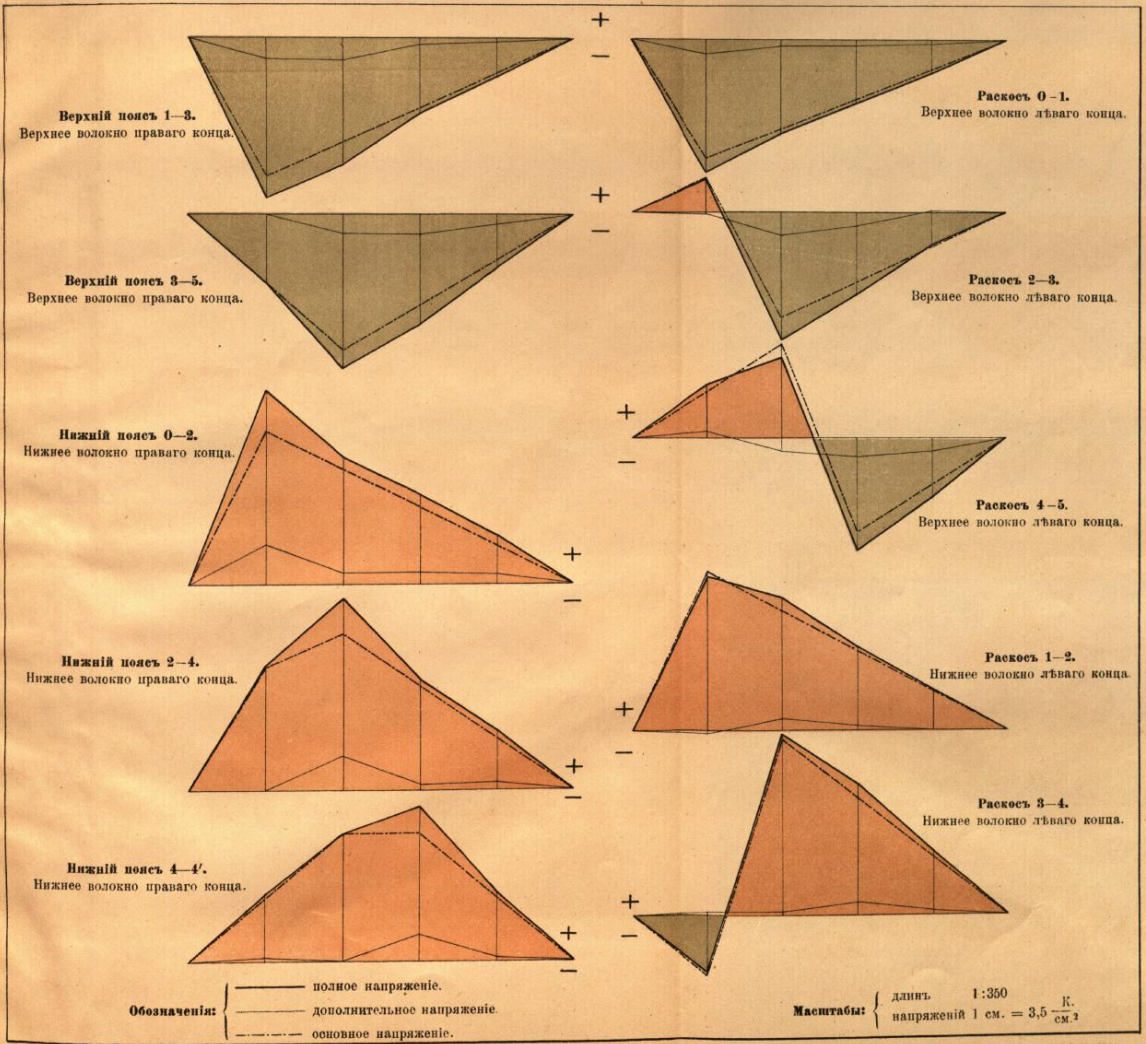
Лист 1.



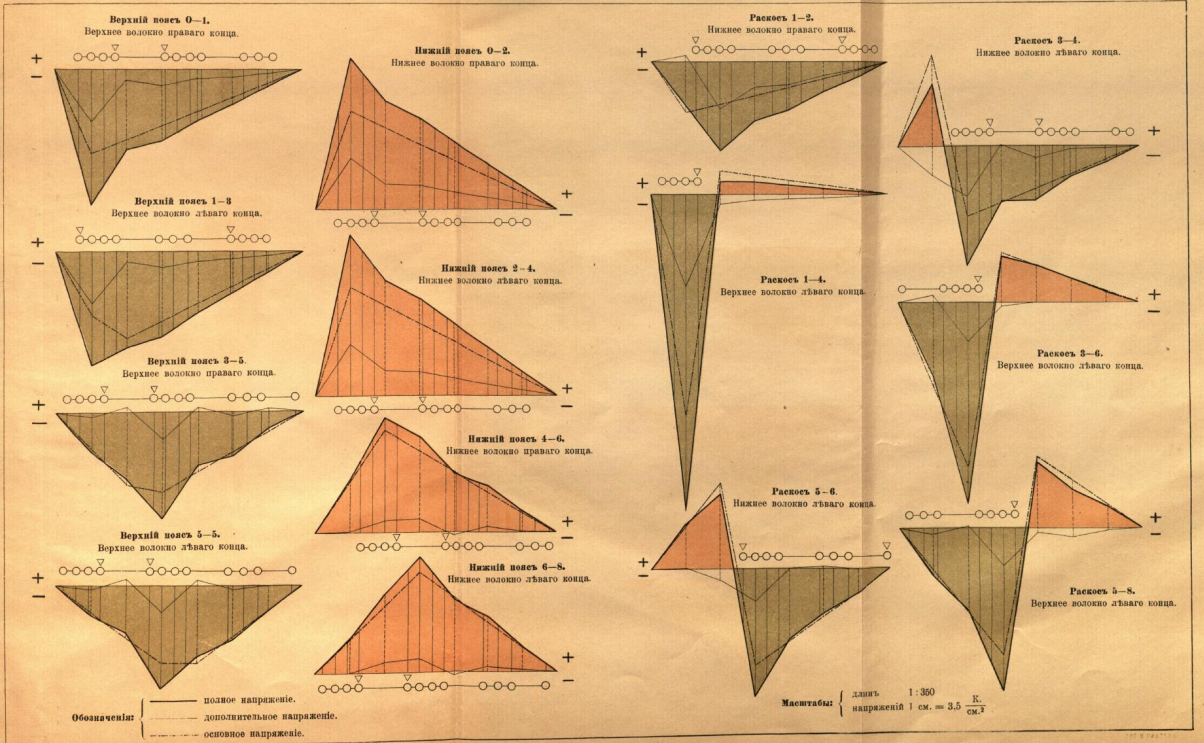
Инфлюэнтные линии напряжений въ нижнемъ поясѣ двухраскосной фермы.







Интенсивность линий напряжений в элементах параболической 12 саж. фермы.



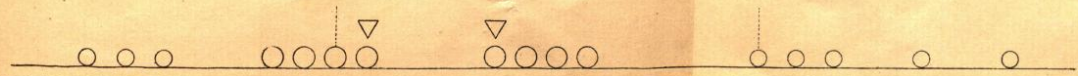
А. Двухраскосная 20 саж. ферма.

Углы τ увеличены въ 250 разъ.

Равнобѣрная временная нагрузка.

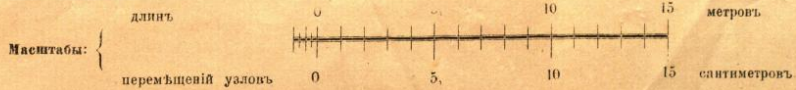
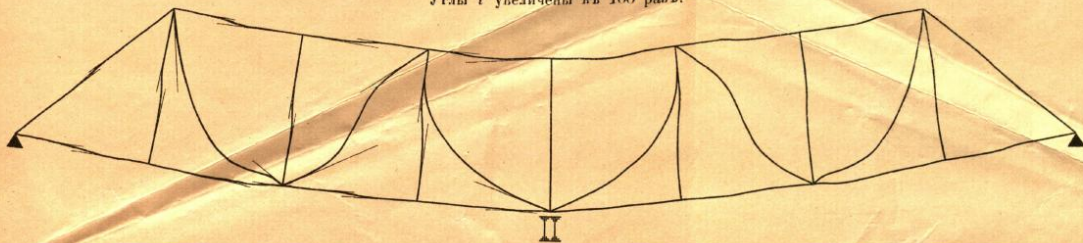


Неравнобѣрная временная нагрузка.



В. 20 саж. ферма приѣтра № 9.

Углы τ увеличены въ 100 разъ.



1787