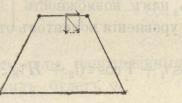
Пирамидальные копры.

Основной плоской фермой пирамидальных копровь является трапеція, которая, если предположить всѣ соединенія шарнирными, представляетъ изъ себя геометрически измѣняемую фигуру. Отъ воздѣйствія активниыхъ силъ Т фигура эта будетъ перекашиваться до тѣхъ поръ, пока не приметъ формы, устойчивой для активныхъ силъ даннаго направленія (черт. 54).

Въ строительномъ дъль такія конструкціи примѣняются рѣдко, (висячіе мосты), и не примѣнимы къ надшахтнымъ копрамъ, подверженнымъ дѣйствію





Черт. 54.

силъ, перемѣнныхъ, какъ по направленію, такъ и по величинъ. Если концы ногъ AB и CD задъланы неподвижно въ прочные фундаменты, то перекашивание устранено, но тогда ноги подвергаются боковому изгибу, что не желательно. Въ виду этаго примъняются жесткія соединенія и, кром'в того, вводится по крайней мірь еще одинь стержень, благодаря которому ферма становится геометрически неизмѣняемой при шарнирныхъ соединеніяхъ. Эту цѣль можно достигнуть при помощи одной діагональной связи, но на практикъ къ этому способу прибъгаютъ ръдко въ виду того, что при сколько нибудь солидномъ сооруженіи такая связка получилась бы слишкомъ длинной. Самый простой способъ приданія жесткости фермѣ-это соединеніе ногъ при помощи горизонтальной тяги; при этомъ ноги остаются неразръзными. Тяга соединяется съ ними вполнѣ жестко, или такимъ образомъ, что можетъ передвигаться на малые углы. Опредълимъ напряженія, дъйствующія въ частяхъ такой идеальной фермы. (Черт. 55). Пусть l_1 и l_2 будутъ разстоянія точки приложенія силы Т, измѣряемыя по верхней балкъ, до вершинъ ногъ, о-напряжение въ горизонтальной связкъ, σ --въ верхней панели, σ_3 --въ нижней тягѣ-лежнѣ, σ_1 и σ_2 -напряженіе въ верхнихъ (до связки) частяхъ ногъ, и σ_1 , σ_2 — въ нижнихъ. Остальныя обозначенія прежнія и понятны изъ чертежа.

Уравненія моментовъ силь относительно полюсовъ A и B, при наличности сѣченіи a b и a' b', будугъ

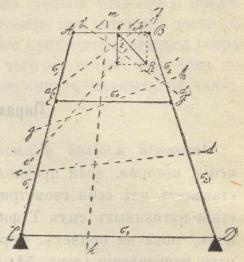
1)
$$\sigma_1' l \cos \eta + T \cos \varepsilon l_2 = 0$$
,

2)
$$\sigma_2' l \cos \xi + T \cos \varepsilon l_1 = 0$$
;

отсюда имфемъ

$$\sigma_{1}' = -T \frac{l_2 \cos \varepsilon}{l \cos \eta},$$

$$\sigma_{2}' = -T \frac{l_1 \cos \varepsilon}{l \cos \xi}.$$
(47)



Черт. 55.

Сѣченіе $c\,d$ даетъ намъ возможность составить слъдующія уравненія моментовъ относительно полюсовъ C и D:

3)
$$\sigma_1 L \cos \eta + T \cos \varepsilon (l_2 + H \operatorname{tg} \xi) - T \sin \varepsilon H = 0$$
,

4)
$$\sigma_2 L \cos \xi + T \cos \varepsilon (l_1 + H \operatorname{tg} \eta) + T \sin \varepsilon H = 0$$
,

откуда

$$\sigma_{1} = -T \frac{(l_{2} + H \operatorname{tg} \xi) \cos \varepsilon - H \sin \varepsilon}{L \cos \eta},$$

$$\sigma_{2} = -T \frac{(l_{1} + H \operatorname{tg} \eta) \cos \varepsilon - H \sin \varepsilon}{L \cos \xi}.$$
(48)

Съченіе $e\!f$ относительно полюса D даетъ уравненіе—

5)
$$\sigma_1 L \cos \eta + \sigma_0 H_1 + \sigma H + T \cos \varepsilon (l_1 + H \operatorname{tg} \xi) - T \sin \varepsilon H = 0$$
,

но, въ виду наличности уравненія 3-го, уравненіе 5-ое принимаетъ видъ:

6)
$$\sigma_0 H_1 + \sigma H = 0$$
.

Съченіе gh относительно полюса C даеть уравненіе—

7)
$$\sigma_2' L \cos \xi + \sigma_0 H_1 + T \cos \varepsilon (l_1 + H \operatorname{tg} \eta) + T \sin \varepsilon H = 0$$
,

которое даетъ возможность написать:

8)
$$(\sigma_2 - \sigma_2') L \cos \xi - \sigma_0 H_1 = T \sin \varepsilon H$$
.

Окончательно уравненія 6-е и 7-е даютъ, по предварительномъ исключеніи σ_2

$$\sigma_{0} = -T \frac{H}{H_{1}} \left[\frac{l_{2} \operatorname{tg} \eta - l_{1} \operatorname{tg} \xi}{l} \cos \varepsilon + \sin \varepsilon \right], \tag{49}$$

$$\sigma_{0} = T \left[\frac{l_{2} \operatorname{tg} \eta - l_{1} \operatorname{tg} \xi}{l} \cos \varepsilon + \sin \varepsilon \right],$$

Сѣченіе $k\ m$ даетъ намъ возможность составить уравненіе статическаго равновѣсія:

9)
$$\sigma_0 + \sigma + \sigma_3 = 0$$
,

и значитъ-

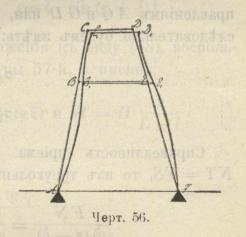
$$\sigma_3 = + T \frac{H - H_1}{H_1} \left[\frac{l_2 \operatorname{tg} \eta - l_1 \operatorname{tg} \xi}{l} \cos \varepsilon + \sin \varepsilon \right]. \tag{50}$$

Ноги передаютъ опорамъ силы, направленныя вдоль ихъ; горизонтальная слагающая этихъ силъ будетъ σ_3

10)
$$\sigma_3' + \sigma_2 \sin \xi - \sigma_1 \sin \eta = 0$$
.

Разность ($\sigma_3 - \sigma_3$) опредѣляетъ то горизонтальное давленіе, которое передается опорамъ вслѣдствіе бокового изгиба ногъ. Если первона-

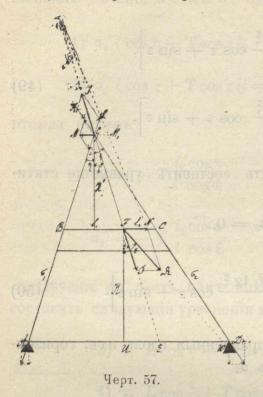
чально ферма имѣетъ видъ $A\ C\ D\ F$ (черт. 56), то отъ дѣйствія горизонтальной силы σ она деформируется и принимаетъ видъ, который мы можемъ уяснить себѣ фигурой $AB_1\ C_1\ D_1\ E_1\ F$. Собственно, для полнаго разъясненія дѣйствія силъ на ферму, разсматриваемаго типа, слѣдовало бы опредѣлить напряженіе отъ бокового изгиба ногъ, но мы не будемъ рабирать этого вопроса вслѣдствіе его сложности.



Наконецъ σ_3 легко получить при помощи уравненія 10-го и уже найденныхъ значеній σ_1 и σ_2

$$\sigma_{3}' = T \frac{(l_1 \lg \xi - l_2 \lg \eta) \cos \varepsilon + H (\lg \xi + \lg \eta) \sin \varepsilon}{L}.$$
 (51)

Для графическаго опредъленія тъхъ же силъ можно предложить слъдующій простой пріемъ:



Продолжимъ стороны AB и CD до взаимнаго пересченія въ G (черт. 57). Силу Т разложимъ по направленію GFE и панели BC. Въ точкѣ G вообразимъ силу GI, равную и противоположную по направленію FS, и горизонтальную силу MG, моментъ которой относительно одной изъ опоръбылъ бы равенъ и противоположенъ моменту силы FN, т. е. сила GM опредъляется уравненіемъ:

$$GM.(H + H') + FN.H = 0$$

Для этого откладываемъ PG=FE и соединяемъ P съ N. Горизонтальная сила GM_1 по своей величинъ отвъчаетъ этому условію, такъ какъ

$$\frac{GM_1}{FN} = \frac{GP}{PF} = \frac{EF}{EG} = \frac{H}{H+H'}$$

Если $MG = M_1G$, то намъ остается разложить GI и MG по направленіямъ AG и GD или, точнѣе говоря, по ихъ продолженіямъ, и слѣдовательно будемъ имѣть:

$$\sigma_2 = G \, K + G \, u, \text{ beginning the first state of } \sigma_1 = G \, L - G \, i.$$

Справедливость прієма доказывается слѣдующимъ: такъ какъ $N{
m T}=FS$, то изъ треугольника $FN{
m T}$ получаемъ —

$$rac{FN}{\sin{(arepsilon-\delta)}}=rac{FS}{\sin{(90-arepsilon)}}=rac{T}{\sin{(90+\delta)}},$$
откуда— $FN=T\,rac{\sin{(arepsilon-\delta)}}{\cos{\delta}},$

$$FS = T \frac{\cos \varepsilon}{\cos \delta}.$$

Для разложенія силы — $T_1 = FS$ мы можемъ воспользоваться формулами (37), перемѣнивъ въ нихъ обозначенія согласно даннному случаю; точно также по формулѣ (38) мы опредѣлимъ составляющія GM

$$GL = -\operatorname{T}_1 rac{\sin{(\xi-\delta)}}{\sin{(\eta+\xi)}},$$
 $GK = -\operatorname{T}_1 rac{\sin{(\eta+\delta)}}{\sin{(\eta+\xi)}},$
 $Gi = -GM rac{\cos{\xi}}{\sin{(\eta+\xi)}},$
 $Gn = GM rac{\cos{\eta}}{\sin{(\eta+\xi)}};$

но такъ какъ

•
$$GM = -FN\frac{H}{H+H'} = -FN\frac{L-l}{L}$$

то послѣ подстановокъ найдемъ, что

$$\sigma_{2} = -T \left[\frac{\cos \varepsilon}{\cos \delta} \frac{\sin (\eta + \delta)}{\sin (\eta + \xi)} + \frac{L - l}{L} \frac{\cos \eta}{\cos \delta} \frac{\sin (\varepsilon - \delta)}{\sin (\eta + \xi)} \right],$$

$$\sigma_{1} = -T \left[\frac{\cos \varepsilon}{\cos \delta} \frac{\sin (\xi - \delta)}{\sin (\eta + \xi)} - \frac{L - l}{L} \frac{\cos \xi}{\cos \delta} \frac{\sin (\varepsilon - \delta)}{\sin (\eta + \xi)} \right].$$
(52)

Для того, чтобы привести эти выраженія къ виду (48), воспользуемся геометрическими свойствами фигуры 57-й, а именно:

$$l_1=H'(\operatorname{tg}\eta+\operatorname{tg}\delta),\; L=l+H(\operatorname{tg}\eta+\operatorname{tg}\xi)$$
 и $H'=H\frac{l}{L-l}$,

которыя позволяють опредълить уголь д:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{l_1 \operatorname{tg} \xi - l_2 \operatorname{tg} \eta}{l}.$$

Выраженія для напряженій напишемъ теперь такъ:

$$\begin{split} \sigma_2 = - \operatorname{T} \left[\frac{\cos \varepsilon}{\operatorname{tg} \, \eta + \operatorname{tg} \, \xi} \left(\frac{\sin \eta + \cos \eta \operatorname{tg} \delta}{\cos \xi \cos \eta} \right) + \frac{H (\operatorname{tg} \, \eta + \operatorname{tg} \, \xi)}{L} \, \frac{\cos \eta}{\operatorname{tg} \, \eta + \operatorname{tg} \, \xi} \cdot \left(\frac{\sin \varepsilon - \cos \varepsilon \operatorname{tg} \, \delta}{\cos \xi \cos \eta} \right) \right]; \end{split}$$

$$\sigma_{1} = -T \left[\frac{\cos \varepsilon}{\operatorname{tg} \eta + \operatorname{tg} \xi} \left(\frac{\sin \xi - \cos \xi \operatorname{tg} \delta}{\cos \xi \cos \eta} \right) - \frac{H(\operatorname{tg} \eta + \operatorname{tg} \xi)}{L} \right. \frac{\cos \xi}{\operatorname{tg} \eta + \operatorname{tg} \xi} \cdot \left. \left(\frac{\sin \varepsilon - \cos \varepsilon \operatorname{tg} \delta}{\cos \xi \cos \eta} \right) \right];$$

послѣ сокращеній эти выраженія примутъ слѣдующій видъ:

$$\begin{split} \sigma_2 &= \frac{-\operatorname{T}}{L\cos\xi} \bigg[\frac{(\operatorname{tg}\eta + \operatorname{tg}\delta)\,L}{(\operatorname{tg}\eta + \operatorname{tg}\xi)} \cos\varepsilon - H\operatorname{tg}\delta\cos\varepsilon + H\sin\varepsilon \bigg], \\ \sigma_1 &= \frac{-\operatorname{T}}{L\cos\eta} \bigg[\frac{(\operatorname{tg}\xi - \operatorname{tg}\delta)\,L}{\operatorname{tg}\eta + \operatorname{tg}\xi} \cos\varepsilon + H\operatorname{tg}\delta\cos\varepsilon - H\sin\varepsilon \bigg]. \end{split}$$

Подставимъ въ эти выраженія найденное значеніе для tg д, написавъ ихъ предварительно слѣдующимъ образомъ:

$$\begin{split} &\sigma_2 = \frac{-\operatorname{T}}{L\cos\xi} \Big[\frac{l(\operatorname{tg}\eta + \operatorname{tg}\delta)}{\operatorname{tg}\eta + \operatorname{tg}\xi} \, \cos\varepsilon + H\operatorname{tg}\eta\cos\varepsilon + H\sin\varepsilon \Big]; \\ &\sigma_1 = \frac{-\operatorname{T}}{L\cos\eta} \Big[\frac{l(\operatorname{tg}\xi - \operatorname{tg}\delta)}{\operatorname{tg}\eta + \operatorname{tg}\xi} \, \cos\varepsilon + H\operatorname{tg}\xi\cos\varepsilon - H\sin\varepsilon \Big], \end{split}$$

и тогда они принимаютъ въ точности видъ уравненія (48). Остальныя силы σ_0 , σ , σ_3 легко получаются при помощи такихъ же общихъ способовъ геометрическаго построенія, такъ что мы этотъ вопросъ будемъ считать исчерпаннымъ.

Формулы (48) даютъ намъ возможность сдѣлать нижеслѣдующій выводъ: въ пирамидальныхъ копрахъ, разсматриваемаго типа, въ заднихъ ногахъ (обращенныхъ къ машинѣ) всегда имѣетъ мѣсто сжатіе, въ переднихъ же—только до тѣхъ поръ, пока

$$(l_2 + H \lg \xi) \cos \varepsilon - H \sin \varepsilon > 0$$

иначе, пока

$$l + H \lg \xi > H \lg \varepsilon,$$
 (53)

или, геометрически, пока равнодъйствующая всъхъ силъ не пересъкаетъ заднихъ ногъ, (см. черт. 57).

$$UD > UW$$
.

Формулы (49) показываютъ, что въ части σB верхней панели им $\dot{\tau}$ ется сжимающее усиліе, а въ связк $\dot{\tau}$ —растягивающее. Напря-

женіе въ нижней панели, лежнѣ, и сумма горизонтальныхъ реакцій опоръ не равновелики, какъ у призматическихъ копровъ, горизонтальной слагающей эктивной силѣ Т, а разнятся отъ нее на нѣкоторую величину

$$\triangle \sigma = \sigma_3 - T \sin \epsilon.$$

Опять таки, если обратимся къ способу расчета при помощи построенія, то окажется, что опорами должна восприниматься неосред ственно сила:

$$\frac{H'}{H+H'} FN = \frac{l}{L} FN.$$

Eслибы активная сила T_2 была приложена не къ верхней панели, а къ связкъ, то на основаніи аналогичнаго расчета мы получили бы:

$$\sigma_2^0 = -T_2 \frac{(l_1' + H_1 \operatorname{tg} \eta) \cos \varepsilon_2 + H_1 \operatorname{sin} \varepsilon_2}{L \cos \xi},$$

$$\sigma_1^0 = -T_2 \frac{(l_2' + H_1 \operatorname{tg} \xi) \cos \varepsilon_2 - H_1 \sin \varepsilon_2}{L \cos \eta},$$
(54)

а для горизонтальныхъ силъ-

$$\sigma^{0} = - T_{2} \frac{H_{1}}{H} \left[\frac{l_{2}' \operatorname{tg} \eta - l_{1}' \operatorname{tg} \xi}{l'} \cos \varepsilon_{2} + \sin \varepsilon_{2} \right],$$

$$\sigma^{0}_{0} = - T_{2} \left[\frac{l_{2}' \operatorname{tg} \eta - l'_{1} \operatorname{tg} \xi}{l'} \cos \varepsilon_{2} + \sin \varepsilon_{2} \right]$$
(55)

и проч. Въ случать копра съ отдъленіями, расположенными одно за другимъ, когда въ основной плоской фермт одновременно имтются силы T_1 и T_2 , наклоненныя къ вертикалямъ подъ углами ε_1 и ε_2 , для полученія полныхъ напряженій слѣдуєтъ ихъ суммировать:

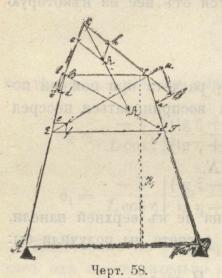
$$(\sigma_2 + \sigma_2^0)$$
, $(\sigma_1 + \sigma_1^0)$, $(\sigma + \sigma_2^0)$, $(\sigma_0 + \sigma_2^0)$,

помня, что

$$L = l + H(\lg \eta + \lg \xi) = l' + H_1(\lg \eta + \lg \xi).$$

Только что разсмотрѣннный нами типъ основной фермы является часто характернымъ для малыхъ деревянныхъ копровъ. Для болѣе крупныхъ копровъ, въ особенности для желѣзныхъ, предпочитаютъ примѣнять фермы съ діагональными перекрещивающимися связками,

при чемъ ноги остаются неразрѣзными. Часто при деревянныхъ копрахъ кромѣ горизонтальной связки примѣняются еще діагональныя тяги—въ части между верхней панелью и связкой, (черт. 58).



Случай этотъ легко сводится къ разсмотрѣнному раньше при помощи простого, указаннаго на чертежѣ, разложенія силъ. Силу Т, перенесенную въ какуюнибудь произвольую точку G, разлагаемъ по направденіямъ GB и GE, а затѣмъ силы Ch' и Be'—по направленіямъ ногъ и діагональнымъ тягамъ.

Конечно, сопротивленія ногъ будутъ равны и противоположны силамъ: (Bd-Ee) и (Ca-Fb).

Напряженія въ тягахъ: Ei = Cn и Bl = Fm. Остается сила (Ef - gF),

которая вызываетъ напряженія въ ногахъ, легко вычисляємыя по формуламъ (48—51), или при помощи фиктивной силы, моментъ которой, взятый по отношенію къ какой нибудь изъ опоръ, равенъ $(Ef-gF)\,H_1$; сила, обусловливающая этотъ моментъ, приложена въ точкѣ пересѣченія ногъ BA и CD. Эту силу мы разлагаемъ по направленіямъ ногъ.

Въ панели BC и тягѣ EF напряженія удобно вычислить при помощи простыхъ формулъ (49). Впрочемъ, этимъ путемъ мы опредѣляемъ напряженія въ BC и EF только приблизительно, такъ какъ мы не ввели напряженій въ тягахъ, которыя играютъ нѣкоторую роль въ передачѣ горизонтальной силы. Въ разсматриваемомъ отношеніи часть фермы FBCF статически неопредѣлима: или горизонтальныя или діагональныя тяги являются лишними. Если назовемъ горизонтальную силу Ef-gF черезъ ρ , при чемъ $\rho=-\sigma_0$ (формула 49), напряженія въ тягахъ—черезъ s_1 и s_2 , углы наклона ихъ къ горизонту— φ и ψ , то тогда для равновѣсія должны существовать уравненія (конечно, при отсутствіи горизонтальной связки):

$$s_1 \cos \varphi - s_2 \cos \psi + \rho = 0,$$

$$s_1 \sin \varphi + s_2 \sin \psi = 0,$$

откуда -

$$s_{1} = -\rho \frac{\sin \psi}{\sin (\psi + \varphi)},$$

$$s_{2} = -\rho \frac{\sin \varphi}{\sin (\psi - \varphi)}.$$

$$s_{3} = -\rho \frac{\sin \varphi}{\sin (\psi - \varphi)}.$$

$$s_{4} = -\rho \frac{\sin \varphi}{\sin (\psi - \varphi)}.$$

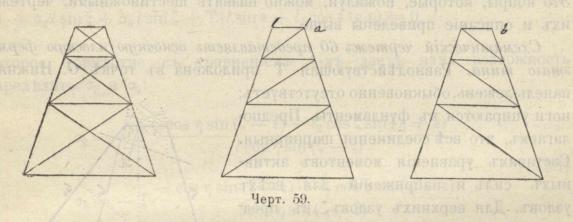
$$s_{5} = -\rho \frac{\sin \varphi}{\sin (\psi - \varphi)}.$$

Если почему-либо желательно имъть выраженія напряженій въ функціи высотъ точегъ ихъ прикръпленія къ ногамъ, то можно воспользоваться зависимостью

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{H - H_1}{l + (H - H_1)\operatorname{tg} \eta}$$
 и $\operatorname{tg} \psi = \frac{H - H_1}{l + (H - H_1)\operatorname{tg} \xi}$

Болѣе точный расчетъ получится, если мы разобъемъ ρ пополамъ, то есть—отнесемъ $\frac{1}{2}$ ρ на горизонтальныя тяги и $\frac{1}{2}$ ρ на наклонныя.

Часто примъняемыя на практикъ фермы, изображенныя на черт. 59, для приблизительнаго расчета приходится разбить на два случая: (черт. a и b).



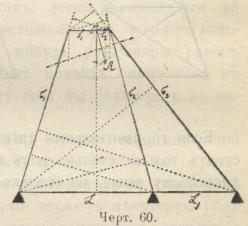
Если горизонтальныя тяги отсутствують, то расчеть очень прость: стоить только столько разъ произвести разложение силь по способу, указанному выше, на сколько поясовъ раздѣлена ферма.

Комбинированные призматически-пирамидальные нормальные копры.

Намъ остается еще разсмотрѣтъ основную плоскую ферму копровъ которые, строго говоря, не могутъ быть отнесены ни къ призматическимъ, ни къ пирамидальнымъ, а представляютъ комбинацію ихъ. Это копры, которые, пожалуй, можно назвать шестиножными; чертежи ихъ и описаніе приведены выше.

Схематическій чертежт 60 представляет основную плоскую ферму этаго типа. Равнод'єйствующая Т приложена въ точк'є О. Нижняя

панель-лежень, обыкновенно отсутствуетъ; ноги упираются въ фундаменты. Предполагаемъ, что всѣ соединентя шарнирныя. Составимъ уравнентя моментовъ активныхъ силъ и напряжентй для всѣхъ узловъ. Для верхнихъ узловъ, въ предположенти, что сила Т разложена на горизонтальную и вертикальную слагающую, уравненте моментовъ будетъ:



1)
$$\sigma_2 l \cos \xi + \sigma_3 l \cos \zeta + T l_1 \cos \varepsilon = 0$$
,

2)
$$\sigma_1 l \cos \eta + T l_2 \cos \varepsilon = 0;$$

для нижнихъ узловъ-

3)
$$\sigma_2 L \cos \xi + \sigma_3 (L + L_1) \cos \zeta + T \cos \varepsilon (l_1 + H \operatorname{tg} \eta) + T \sin \varepsilon H = 0$$
,

4)
$$\sigma_1(L+L_1)\cos\eta-\sigma_2L_1\cos\xi-T\cos\varepsilon(l_2+H\tan\zeta)+T\sin\varepsilon H=0$$
,

5)
$$\sigma_1 L \cos \eta + \sigma_3 L_1 \cos \zeta - T \cos \varepsilon (l_2 + H \operatorname{tg} \xi) + T \sin \varepsilon H = 0$$
.

Кромъ того, имъемъ уравненія статическаго равновъсія у опоръ:

6)
$$\sigma_1 \sin \eta - \sigma_2 \sin \xi - \sigma_3 \sin \zeta - T \sin \varepsilon = 0$$
,

7)
$$\sigma_1 \cos \eta + \sigma_2 \cos \xi + \sigma_3 \cos \zeta + T \cos \varepsilon = 0$$
.

Уравненій 1-го, 2-го, 6-го и 7-го вполнѣ достаточно для опредѣленія всѣхъ неизвѣстныхъ; полученные корни повѣряютъ уравненіе 3-тье, 4-ое и 5-ое; кромѣ того, уравненіе 1-е, сложенное съ уравненіемъ 2-мъ, даетъ намъ уравненіе 7-ое, такъ что на самомъ дѣлѣ у насъ только три уравненія съ тремя неизвѣстными. Изъ уравненія 2-го имѣемъ:

$$\sigma_1 = -T \frac{l_2 \cos \varepsilon}{l \cos \eta}. \tag{57}$$

Если при помощи этого выраженія исключимъ σ_1 изъ уравненія σ_2 го, то оно приметъ видъ:

8)
$$+\sigma_2 l \sin \xi + \sigma_3 l \sin \zeta + T(l \sin \varepsilon + l_2 \cos \varepsilon \operatorname{tg} \eta) = 0$$

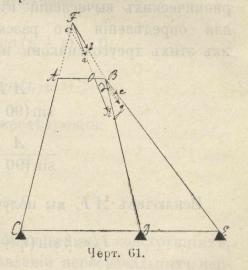
которое совивстно съ уравненіемъ 1-мъ даетъ намъ возможность опредвлить σ_2 и σ_3 :

$$\sigma_{2} = -T \frac{l_{1} \cos \eta \sin (\zeta - \varepsilon) - l_{2} \cos \zeta \sin (\eta + \varepsilon)}{l \cos \eta \sin (\zeta - \xi)}$$

$$\sigma_{3} = -T \frac{-\cos \eta \sin (\xi - \varepsilon) + l_{2} \cos \xi \sin (\eta + \varepsilon)}{l \cos \eta \sin (\zeta - \xi)}$$
(58)

Для графическаго опредѣленія напряженій можно предложить слѣдующій простой методъ. Такъ какъ равнодѣйствующая напряженій, направленныхъ по DB и EB, должна пересѣкаться въ одной точкѣ

съ напряженіемъ σ_1 , направленнымъ по AC, и равнодѣйствующей T, то для того, чтобы найти направленіе равнодѣйствующей силь σ_2 и σ_3 , соединяемъ точку пересѣченія направленія ноги AC съ направленіемъ силы T, τ . е. точку F съ B, тогда FB есть искомое направленіе. Въ точкѣ F предполагаемъ приложенной силу равную T и разлагаемъ ее по направленіямъ AF и BF; сила $\sigma_1 = Fc$; $Fb = T_0$ есть равнодѣйствующая σ_2 и σ_3 . Точку приложенія



ея переносимъ въ B и разлагаемъ по направленіямъ DE и EB; тогда

$$-\sigma_2 = Bd \text{ if } -\sigma_3 = Be.$$

Для доказательства справедливости построенія разсмотримъ соотношеніе сторонъ и синусовъ угловъ въ треугольникa F b ; такъ какъ

$$\frac{\sigma_1}{\sin{(\beta-\epsilon)}} = \frac{T_0}{\sin{(\gamma+\epsilon)}} = \frac{T}{\sin{(\beta+\gamma)}},$$

$$\tau_0$$

$$\sigma_1 = -T\frac{\sin{(\beta-\epsilon)}}{\sin{(\beta+\gamma)}}$$

$$T_0 = -T\frac{\sin{(\gamma+\epsilon)}}{\sin{(\beta+\gamma)}},$$
(59-a)

изъ треугольника дВе получимъ:

$$\frac{T_0}{\sin(\zeta - \xi)} = \frac{\sigma_2}{\sin(\zeta - \beta)} = \frac{\sigma_3}{\sin(\beta - \xi)},$$

а слѣдовательно, подставляя вышеприведенное выраженіе для T_0 , имѣемъ возможность написать:

$$\sigma_{2} = -T \frac{\sin(\eta + \epsilon)}{\sin(\eta + \beta)} \cdot \frac{\sin(\zeta - \beta)}{\sin(\zeta - \xi)},$$

$$\sigma_{3} = -T \frac{\sin(\eta + \epsilon)}{\sin(\eta + \beta)} \cdot \frac{\sin(\beta - \xi)}{\sin(\zeta - \xi)}.$$
(59-6)

Только что выведенныя выраженія напряженій удобны для логариемическихъ вычисленій; въ нихъ уголъ β пока еще неизвъстенъ, и для опредъленія его разсмотримъ треугольники AFO и AFB; изъ этихъ треугольниковъ имъемъ:

$$\frac{A F}{\sin(90 - \epsilon)} = \frac{l_1}{\sin(\eta + \epsilon)},$$

$$\frac{A F}{\sin(90 - \beta)} = \frac{l}{\sin(\eta + \beta)}.$$

Исключивъ AF, мы получимъ уравненіе:

$$l\cos\beta\sin(\gamma+\epsilon)-l_1\cos\epsilon\sin(\gamma+\beta)=0$$
,

изъ котораго находимъ:

$$tg\beta = \frac{l_2}{l_1}tg\eta + \frac{l}{l_1}tg\varepsilon.$$

Если въ выраженіяхъ (59b) развернемъ синусы суммъ и разностей угловъ съ β и напишемъ такъ:

$$\sigma_2 = -T \frac{\sin(\eta + \epsilon)}{\sin(\zeta - \xi)} \cdot \frac{\sin\zeta - \cos\zeta \lg \beta}{\sin\eta + \cos\eta \lg \beta},$$

$$\sigma_3 = -T \frac{\sin{(\eta - \epsilon)}}{\sin{(\zeta - \xi)}} \cdot \frac{\sin{\xi} + \cos{\xi} \operatorname{tg}{\beta}}{\sin{\eta} + \cos{\eta} \operatorname{tg}{\beta}},$$

то, замѣнивъ $\lg \beta$ приведеннымъ выше выраженіемъ, мы прійдемъ къ формулѣ (58); то же самое относится, конечно, и къ σ_1 .

Копры этого типа строятся обыкновенно такъ, что $\eta=\xi$; чаще всего углы эти равны нулю, то есть ноги, поддерживающія шкивныя балки, вертикальны. Въ этомъ случать выраженія для напряженій упрощаются:

(vept. 62) Paschorphine store chyan. Hyert unthoten chuenia do n chi
$$\sigma_1 = -\frac{l_2}{l} \cos \varepsilon$$
 on samular repaired with $\sigma_1 = -\frac{l_2}{l} \cos \varepsilon$

$$\sigma_2 = -T \frac{l_1 \sin(\zeta - \varepsilon) - l_2 \cos\zeta \sin\varepsilon}{l \sin(\zeta - \xi)} = -T \frac{l_1 \sin\zeta \cos\varepsilon - l \cos\zeta \sin\varepsilon}{l \sin(\zeta - \xi)}$$
(60)

$$\sigma_3 = -T \frac{l_1 \sin(-\varepsilon) + l_2 \sin \varepsilon}{l \sin(\zeta - \xi)} = -T \frac{\sin \varepsilon}{\sin(\zeta - \xi)}.$$

Всѣ усилія—сжимающія; σ_1 —всегда сжимающее, какъ это видно изъ формулы (59a), а σ_2 и σ_3 до тѣхъ поръ, пока

$$l_1\cos\eta\sin(\zeta-\varepsilon)-l_2\cos\zeta\sin(\eta+\varepsilon)>0,$$
 $-l_1\cos\eta\sin(\xi-\varepsilon)+l_2\cos\varepsilon\sin(\eta+\varepsilon)>0.$

Преобразуемъ эти неравенства въ нижеслъдующія:

$$l_1 \lg \zeta - l_2 \lg \eta - l \lg \varepsilon > 0$$
 $-l_1 \lg \xi + l_2 \lg \eta + l \lg \varepsilon > 0$

Второе неравенство соблюдено всегда при обыкновенных конструкціях , первое же надо им ть въ виду при составленіи первоначальных тертежей. Графически оно выражает условіе при котором направленіе усилія T_0 (на нашемъ чертеж FB) не выходять изъ угла DBE.

Для опредѣленія напряженій, дѣйствующихъ въ верхней панели, приходится вертикальную слагающую силы Т раздѣлить по узламъ, тогда ясно, что въ лѣвой части будетъ слѣдующее усиліе:

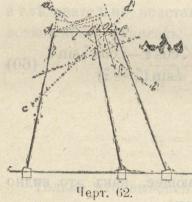
$$\sigma' = T \frac{l_2}{l} \operatorname{tg} \eta \cos \varepsilon \tag{61a}$$

для правой же (по отношенію къ точкѣ приложенія равнодъйствующей)

The meaning of
$$\sigma'' = T\left(\frac{l_2}{l} \operatorname{tg} \eta \cos \varepsilon + \sin \varepsilon\right)$$
 and $\sigma'' = T\left(\frac{l_2}{l} \operatorname{tg} \eta \cos \varepsilon + \sin \varepsilon\right)$ and $\sigma'' = \sigma'' = \sigma''$ and $\sigma'' = \sigma'' = \sigma''$

которая, равно какъ и лъвая часть вертикальной силы, воспринимается узломъ и передается ногами опорамъ.

Иногда совътуютъ отодвигать подпорныя ноги, и въ этомъ случать— точка приложенія активной силы T находится между B и C въ O. (черт. 62) Разсмотримъ этотъ случай. Пусть имъются съченія ab и cd.



Для верхнихъ крайнихъ полюсовъ уравненія моментовъ будутъ:

- 1) $\sigma_2 l \cos \xi + \sigma_3 (l+l_0) \cos \zeta + T (l+l) \cos \varepsilon = 0$,
- 2) $\sigma_1(l+l_0)\cos\eta + \sigma_2 l_0\cos\xi + T l_2\cos\varepsilon = 0;$

для нижнихъ крайнихъ-

- 3) $\sigma_2 L \cos \xi + \sigma_3 (L + L_1) \cos \zeta + T \cos \varepsilon (l + l_1 + H \operatorname{tg} \eta) + T \sin \varepsilon H = 0$,
- 4) $\sigma_1(L+L_1)\cos\eta + \sigma_2 L_1\cos\xi + T\cos\varepsilon(l_2+H \lg\zeta) T\sin\varepsilon H = 0.$

Кром'в того, можно было бы составить и уравненія моментовъ для среднихъ узловъ, но это безц'вльно, такъ какъ они будутъ тождественны съ получаемыми отъ исключенія σ_2 изъ 1-го со 2-мъ, или 3-го съ 4-мъ. Уравненія статическаго равнов'всія опорныхъ моментовъ будутъ—

- 5) $-\sigma_1 \sin \eta + \sigma_2 \sin \xi + \sigma_3 \sin \zeta + T \sin \varepsilon = 0$,
- 6) $\sigma_1 \cos \eta + \sigma_2 \cos \xi + \sigma_3 \cos \zeta + T \cos \varepsilon = 0$;

эти уравненія даютъ намъ возможность при опредъленіи силъ избъжать болъе сложныхъ уравненій 3-го и 4-го и пользоваться только

1, 2 и 5, а 6-мъ—какъ вспомогательнымъ, тождественнымъ съ 1 и 2-мъ, или съ 3 и 4-мъ, разсматриваемыми совмъстно. Итакъ, если исключимъ изъ уравненія 5-го и 6-го силу σ_1 , то получимъ уравненіе—

7)
$$\sigma_2 \sin(\xi + \eta) + \sigma_3 \sin(\zeta + \eta) + T \sin(\varepsilon + \eta) = 0$$
,

$$\sigma_{3} = -T \frac{-(l+l_{1})\sin(\varepsilon-\xi)\cos\eta + l_{1}\sin(\varepsilon+\eta)\cos\xi}{l\sin(\xi-\zeta)\cos\eta + l_{0}\sin(\eta+\xi)\cos\zeta},$$

$$\sigma_{2} = -T \frac{(l+l_{1})\sin(\varepsilon-\zeta)\cos\eta + l_{2}\sin(\varepsilon+\eta)\cos\zeta}{l\sin(\xi-\zeta)\cos\eta + l_{0}\sin(\eta+\xi)\cos\zeta};$$
(62)

опредъляемъ подстановкой найденныхъ выраженій въ уравненіе 6-е:

$$\sigma_1 = T \frac{l_1 \sin{(\varepsilon - \zeta)} \cos{\xi} + l_2 \sin{(\varepsilon - \xi)} \cos{\zeta}}{l \sin{(\xi - \zeta)} \cos{\eta} + l_0 \sin{(\eta + \xi)} \cos{\zeta}}.$$
 (62a)

Такъ какъ всѣ эти напряженія должны быть вызваны сжимающими силами, то необходимо, чтобы имѣли мѣсто нижеуказанныя неравенства:

$$-(l+l_1)(\varepsilon-\xi)\cos\eta+l_1\sin(\varepsilon+\eta)\cos\xi>0$$

$$(l+l)\sin(\varepsilon-\zeta)\cos\eta+l_2\sin(\varepsilon+\eta)\cos\zeta\geq0,$$

$$l_1\sin(\varepsilon-\zeta)\cos\xi+l_2(\varepsilon-\xi)\cos\zeta\geq0.$$
(62b)

Легко однако доказать, что существованіе перваго неравенства часто исключаетъ возможность послѣдняго. Напишемъ ихъ такъ

$$(l+l_1)\cos\eta + l_2\frac{\sin(\varepsilon+\eta)}{\sin(\varepsilon-\zeta)}\cos\zeta \geqslant 0,$$

$$-(l+l_1)\cos\eta + l_1\frac{\sin(\varepsilon+\eta)}{\sin(\varepsilon-\xi)}\cos\xi \geqslant 0;$$

послѣ сложенія и сокращенія на $\sin{(\epsilon + \eta)}$, которое, какъ положительная величина, не мѣняетъ знака неравенства, получимъ

$$\frac{l_1\cos\xi}{\sin(\varepsilon-\xi)} + \frac{l_2\cos\zeta}{\sin(\varepsilon-\zeta)} \ge 0;$$

если

$$\sin(\varepsilon - \xi) > 0$$
 if $\sin(\varepsilon - \zeta) > 0$,

то при наличности условія —

$$l\sin(\xi-\zeta)\cos\eta+l_0\sin(\eta+l_0)\sin(\epsilon-\xi)\cos\zeta>0$$
,

имжемъ изъ предыдущаго — предыдущаго на предыдущато на предыдущато

$$l_1 \sin(\xi - \zeta) \cos \xi + l_2 \sin(\varepsilon - \xi) \cos \zeta \ge 0$$

а значитъ въ заднихъ ногахъ будетъ имѣть мѣсто растяженіе.

Если переднія и среднія ноги поставлены вертикально, то выраженія для напряженій въ такихъ случаяхъ сильно упрощаются. Въ виду частаго примѣненія такой конструкціи, разсмотримъ этотъ случай отдѣльно. Положивъ—

$$\eta = \xi = 0$$

найдемъ

$$\sigma_3 = -T \frac{\sin \epsilon}{\sin \zeta},$$

$$\sigma_2 = T \frac{(l+l_1)\sin(\varepsilon-\zeta) + l_2\sin\varepsilon\cos\zeta}{l\sin\zeta}, \tag{63}$$

$$\sigma_1 = - T \frac{l_1 \sin{(\epsilon - \zeta)} + l_2 \cos{\zeta} \sin{\epsilon}}{l \sin{\zeta}}$$

Для того, чтобы вст усилія были сжимающія, необходимо, чтобы

$$(l+l_1)\sin(\varepsilon-\zeta)l_2\sin\varepsilon\cos\zeta<0$$
,

$$l_1 \sin(\varepsilon - \xi) + l_2 \cos \zeta \sin \varepsilon > 0;$$

это возможно, однако, только тогда, когда-

$$\varepsilon - \zeta < 0.$$

Строители стараются иногда подобрать ζ такъ, чтобы при Мах Т

оно было

Тогда:

$$\sigma_2 = T \frac{l_2}{l} \cos \zeta$$
 и $\sigma_1 = -T \frac{l_2}{l} \cos \zeta$,

а слѣдовательно въ среднихъ ногахъ появится растяженіе. Конечно, незачѣмъ упоминать, что если балка ABC сплошная и всѣ вообще соединенія жесткія, то приведенныя нами разсужденія имѣютъ только приближенное значеніе. Впрочемъ это замѣчаніе относится ко всѣмъ вообще нашимъ разсужденіямъ.

Условныя неравенства (62b) посл $^{\pm}$ преобразованія могутъ быть написаны такъ:

$$(l+l_0)\lg\xi+l_0\lg\eta-l\lg\zeta\geq 0,$$

а такъ какъ вообще чаще всего $\eta = \xi$, то—

$$\left(1+2\frac{l_0}{l}\right)$$
 tg $\xi \gtrsim \text{tg}\,\zeta$.

Такъ какъ, однако-

что соблюдается во всѣхъ существующихъ конструкціяхъ, то первое неравенство нѣсколько ограничиваетъ возможность уменьшенія угла ξ. Вообще разсмотрѣніе выраженій напряженій даетъ намъ указаніе на то обстоятельство, что при подборѣ главныхъ размѣровъ проектируемаго копра этого типа надо поступать очень осмотрительно. Графически расчетъ можетъ быть произвенъ при помощи пріема, похожаго на приведенные выше. Мы продолжаемъ направленія силы Т и ноги

BC до встрѣчи ихъ въ F и затѣмъ точку F соединяемъ съ точкой G—пересѣченіемъ продолженій ногъ AE съ ID. Точку приложенія силы T переносимъ въ F и разлагаемъ по направленіямъ FC и FG. Отрѣзокъ Fa даетъ намъ силу, направленную по ногѣ BC, такъ что

$$\sigma_3 = -Fa$$

Отрѣзокъ $Fb = \rho$ даетъ намъ силу, воспринимаемую ногами EA и ID. Точку приложенія ея переносимъ въ G и разлагаемъ по направленіямъ EG и GD; отрѣзки Gc и Gd даютъ намъ силы, направленныя по этимъ ногамъ, такъ что:

 $\sigma_2 = -Gc$ и $\sigma_1 = -Gd$.

Для доказательства сказаннаго назовемъ уголъ наклона FG къ вертикальной линіи черезъ δ и составимъ отношенія:

$$\frac{\sigma_3}{\sin\left(\varepsilon-\delta\right)} = \frac{\rho}{\sin\left(\zeta-\delta\right)} = \frac{T}{\sin\left[180 - (\zeta-\delta)\right]},$$

$$\frac{\sigma_1}{\sin(\xi-\delta)} = \frac{\sigma_2}{\sin(\eta+\delta)} = \frac{\rho}{\sin[180-(\eta+\xi)]};$$

отсюда легко получить, перемънивъ знакъ у Т:

$$\sigma_{3} = -T \frac{\sin (\varepsilon - \delta)}{\sin (\zeta - \delta)},$$

$$\sigma_{2} = -T \frac{\sin (\zeta - \varepsilon)}{\sin (\eta + \xi)} \cdot \frac{\sin (\eta + \delta)}{\sin (\zeta - \delta)},$$

$$\sigma_{1} = -T \frac{\sin (\zeta - \varepsilon)}{\sin (\eta + \xi)} \cdot \frac{\sin (\xi - \delta)}{\sin (\zeta - \delta)}.$$
(64)

Согласно чертежа

$$\operatorname{tg}\delta=rac{G\,M}{F\,M};$$

а такъ какъ $GM = NB - I_0B - OI$, а

The H
$$T$$
 with $MF = FN - GO$, which our is a sum of the sum of t

то следуетъ определить эти длины въ функціи известныхъ.

И такъ $AF=BF\cos\zeta$, $NB=BF\sin\zeta$; для опредѣленія BF имѣемъ равенство:

$$\frac{BE}{\sin(90+\epsilon)} = \frac{l_2}{\sin(\zeta-\epsilon)};$$

въ виду этого --

$$AF = l_2 \frac{\cos \zeta \cos \varepsilon}{\sin (\zeta - \varepsilon)}, \ NB = l_2 \frac{\sin \eta \cos \varepsilon}{\sin (\zeta - \varepsilon)};$$

дал te: $GO = IG\cos \xi$, $OD = IG\sin \xi$, при этом —

$$\frac{IG}{\sin{(90-\eta)}} = \frac{l}{\sin{(\eta+\xi)}}$$
, такъ что

$$GO = l \frac{\cos \eta \cos \xi}{\sin (\eta + \xi)}$$
 и $OI = l \frac{\cos \eta \sin \xi}{\sin (\eta + \xi)}$

Окончательно имѣемъ:

$$\operatorname{tg} \delta = \left[l_2 \frac{\sin \zeta \cos \varepsilon}{\sin (\zeta - \varepsilon)} - l_0 - l \frac{\sin \xi \cos \eta}{\sin (\eta + \xi)} \right] \cdot \left[l_2 \frac{\cos \zeta \cos \varepsilon}{\sin (\zeta - \varepsilon)} - l \frac{\cos \xi \cos \eta}{\sin (\eta + \xi)} \right].$$

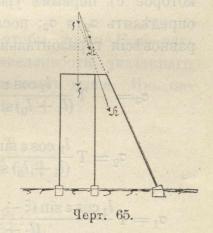
Стоитъ преобразовать выраженіе для σ_1 , σ_2 и σ_3 , такъ чтобы въ нихъ входилъ tg δ вмѣсто $\cos \delta$ и $\sin \delta$, что очень легко сдѣлать, и подставить найденное выше выраженіе, то мы получимъ формулы, тождественныя съ (62).

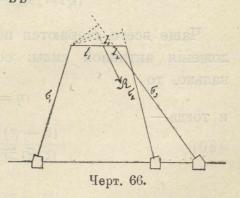
Приведенный графическій способъ даетъ намъ возможность подобрать размѣры копра такъ, чтобы всѣ напряженія въ ногахъ были вызваны сжимающими усиліями, а именно: точка пересѣченія направленія силы T съ ногой BC (собственно съ ея продолженіемъ) должна лежать между F и e, ибо только въ этомъ случаѣ направленіе G F будетъ внутри угла E G D. При всякомъ другомъ положеніи точки F оно выйдетъ наружу, и тогда среднія или переднія ноги будутъ подтвержены растяженію.

Если переднія и среднія ноги поставлены вертикально, то общій ходъ построенія остается тотъ же. Силу T въ точк \sharp F (черт. 65) мы

разлагаемъ по направлевію наклонной ноги и вертикальному, которое, въ свою очередь, разлагаемъ на параллельныя ему направленія по ногамъ. Условіемъ сжатія надо считать то обстоятельство, чтобы F не выходила изъ пространства, ограниченнаго продолженіями вертикальныхъ ногъ.

Иногда встръчаются конструкціи, въ которыхъ наклонная нога подпираетъ шкивныя балки въ пространствъ между средними ногами (черт. 66). Конечно, приведенная въ разсматриваемомъ чертежъ схема разнится отъ дъйствительныхъ сооруженій тъмъ, что среднія и заднія ноги не лежатъ въ одной плоскости. Предположимъ, что въ точкъ ихъ пересъченія на чертежъ нътъ никакого соединенія, такъ что ноги могутъ свободно скользить одна по другой. Для опредъленія напряженій въ ногахъ составимъ уравненія





моментовъ по отношенію къ верхнимъ крайнимъ узламъ. Согласно

обозначеніямъ, показаннымъ на чертежѣ, будемъ имѣть:

$$egin{aligned} \sigma_2 \, l \cos \eta + \sigma_3 \, (l_1 + l_0) \cos \zeta + \mathrm{T} \, l_1 \cos \varepsilon &= 0, \ \\ \sigma_1 \, l \cos \xi + \sigma_3 \, (l_2 - l_0) \cos \zeta + \mathrm{T} \, l_2 \cos \varepsilon &= 0. \end{aligned}$$

Уравненія статическаго равнов всія опорных в сопротивленій будуть:

$$\sigma_1 \cos \eta + \sigma_2 \cos \xi + \sigma_3 \cos \zeta + T \cos \varepsilon = 0,$$

$$-\sigma_1 \sin \eta + \sigma_2 \sin \xi + \sigma_3 \sin \zeta + T \sin \varepsilon = 0.$$

Первое изъ этихъ уравненій непосредственно слѣдуетъ изъ уравненія моментовъ силъ, такъ что у насъ имѣются только три уравненія. Для среднихъ узловъ, а также по отношенію къ опорамъ, мы уравненій моментовъ не составляемъ, такъ какъ онѣ не могутъ разниться отъ предыдущихъ. Уравненія статическаго равновѣсія послѣ исключенія σ_1 даютъ равенство—

$$\sigma_2 \sin(\xi + \eta) + \sigma_3 \sin(\zeta + \eta) + T \sin(\varepsilon + \eta) = 0,$$

которое съ первымъ уравненіемъ моментовъ даетъ намъ возможность опредѣлить σ_2 и σ_3 ; послѣ же подстановки въ уравненія статическаго равновѣсія горизонтальныхъ силъ находимъ и σ_1 . И такъ у насъ:

$$\sigma_{3} = -\operatorname{T} \frac{l_{1}\cos\varepsilon\sin(\xi+\eta) - l\cos\eta\sin(\varepsilon+\eta)}{(l_{1}+l_{0})\sin(\xi-\eta)\cos\zeta - l\cos\eta\sin(\zeta+\eta)},$$

$$\sigma_{2} = \operatorname{T} \frac{l_{1}\cos\varepsilon\sin(\zeta+\eta) - (l_{1}+l_{0})\cos\zeta\sin(\varepsilon+\eta)}{(l_{1}+l_{0})\sin(\xi+\eta)\cos\zeta - l\cos\eta\sin(\zeta+\eta)};$$
(66)

$$\sigma_1 = T \frac{l_1 \cos \epsilon \sin (\xi - \zeta) + (l_1 + l_0) \cos \zeta \sin (\epsilon - \xi) + l \cos \eta \sin (\zeta - \epsilon)}{(l_1 + l_0) \sin (\xi + \eta) \cos \zeta - l \cos \eta \sin (\zeta + \eta)}.$$

Чаще всего стараются подводить подпорныя ноги подъ точку приложенія активной силы; если къ тому же ноги поставлены вертикально, то

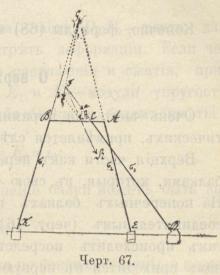
$$\eta=\xi=0$$
 и $l_0=0,$ и тогда—
$$\sigma_1=-\,\mathrm{T}\,\frac{l_2\sin{(\zeta-\epsilon)}}{\sin{\zeta}},$$

$$\sigma_2=-\,\mathrm{T}\,\frac{l_1\sin{(\zeta-\epsilon)}}{l\sin{\zeta}},$$

$$\sigma_3 = - \operatorname{T} rac{\sin arepsilon}{\sin \zeta} \cdot$$

Графическій способъ опредѣленія силъ, дѣйствующихъ вдоль ногъ, можно предложить слѣдующій.

Направленіе силы Т продолжаемъ до пересѣченія съ продолженіемъ подпорной ноги CD въ F; точку приложенія ея переносимъ въ F и разлагаемъ Т на силы, направленныя по FD и FG, то есть—по направленію ноги и прямой, соединяющей F съ точкой пересѣченія продолженій передней и средней ноги. Точку приложенія силы $Fb = \rho$ переносимъ въ G и разлагаемъ ее на двѣ силы, направленныя по KG и EG. Силы, сжимающія ноги, будутъ даны отрѣзками Fa, Gc, Gd, а именно:



$$\sigma_3 = -Fa$$
, $\sigma_2 = -Gc$ и $\sigma_1 = -Gd$.

Условіе для сжатія во всѣхъ ногахъ то, чтобы точка F не очутилась внѣ угла A G B. Доказательство справедливости указаннаго построенія ничѣмъ не отличается отъ приведенныхъ выше. Изъ параллелограммовъ силъ получаются равенства:

$$\frac{\rho}{\sin(\xi-\epsilon)} = \frac{\sigma_3}{\sin(\epsilon+\beta)} = \frac{T}{\sin(\zeta+\beta)},$$

$$\frac{\sigma_2}{\sin(\eta-\beta)} = \frac{\rho}{\sin(\eta+\xi)} = \frac{\sigma_1}{\sin(\xi+\beta)},$$

откуда:

$$\sigma_{3} = -T \frac{\sin(\zeta - \varepsilon)}{\sin(\zeta + \beta)},$$

$$\sigma_{2} = -T \frac{\sin(\zeta - \varepsilon)}{\sin(\eta + \xi)} \cdot \frac{\sin(\eta - \beta)}{\sin(\zeta + \beta)},$$

$$\sigma_{1} = -T \frac{\sin(\zeta - \varepsilon)}{\sin(\eta + \xi)} \cdot \frac{\sin(\xi - \beta)}{\sin(\zeta + \beta)}.$$
(68)

Формулы эти удобны для логариемированія; величина угла β можеть быть опредѣлена изъ формулы:

$$\operatorname{tg}\beta = \left[\frac{l_0\cos\zeta\sin\varepsilon}{\sin(\zeta-\varepsilon)} + l_2 - l\frac{\cos\eta\sin\xi}{\sin(\eta+\xi)}\right] \cdot \left[\frac{l\cos\eta\cos\xi}{\sin(\eta+\xi)} - l_0\frac{\cos\zeta\cos\varepsilon}{\sin(\zeta-\varepsilon)}\right].$$

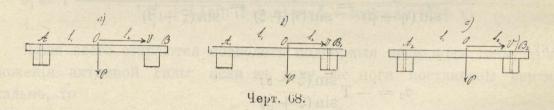
Конечно, формулы (68) можно привести къ виду уравненій (66).

0 верхней части копровъ.

Очень часто для пирамидальныхъ копровъ, а также и для призматическихъ, примъняется слъдующая конструкція верхней части.

Верхнія части какъ переднихъ, такъ и заднихъ ногъ покрываются балками, которыя, въ свою очередь, соединены продольными балками. На поперечныхъ бэлкахъ помѣщаются шкивныя балки, параллельно соединительнымъ (черт. 16). Передача силъ отъ осей шкивовъ ногамъ происходитъ посредствомъ поперечныхъ балокъ, въ виду чего намъ приходится въ первую очередь разсмотрѣть распредѣленіе силъ. Вопросъ о передачѣ вертикальныхъ давленій поперечнымъ балкамъ былъ разсмотрѣнъ нами раньпе, а именно—при разсмотрѣніи балочнаго станка башенныхъ сооруженій; настоящій случай ничѣмъ отъ того не отличается, и поэтому мы можемъ пользоваться формулами (29).

Что же касается горизонтальныхъ силъ, то здѣсь мы можемъ отличить слѣдующіе два случая: 1) если оба конца шкивной балки неподвижно прикрѣцлены къ поперечнымъ и 2) если одинъ изъ концовъ можетъ скользить по нимъ. Въ эгомъ второмъ случаѣ все горизонтальное усиліе передается закрѣпленному концу, или, точнѣе,—все горизонтальное усиліе минусъ сила, возбуждаемая треніемъ отъ вертикальнаго давленія на свободномъ концѣ.



На черт. 68 (a) конецъ A закр \pm пленъ, часть балки AO вытянута и воспринимаетъ горизонтальное натяженіе U', а конецъ B—силу U'

$$U'=U-Pf\frac{l_1}{l}$$
 is $U''=Pf\frac{l_1}{l}$

Въ случат b, закръпленный конецъ B подвергается давленію $U^{\prime\prime}$, а конецъ $A-U^{\prime}$:

$$U^{\prime\prime}=U-Pfrac{l_2}{l}$$
 и $U^{\prime}=Pfrac{l_2}{l};$ часть O_1B_1 сжата.

Въ случав c, часть балки $A_2\,O_2$ вытянута, часть $O_2\,B_2$ —сжата; для опредвленія U' и U'' необходимо разсмотрвть деформаціи. Если черезъ i_1 и i_2 обозначимъ соотввтственныя растяженія и сжатія, приходящіяся на единицу площади, черезъ E_1 и E_2 —модули упругости и, наконецъ, черезъ ω —поперечное свченіе балки, то будемъ имвть:

$$U' = E_1 \omega i_1$$
 и $U'' = E_2 \omega i_2$.

Общее же сокращение длины или удлинение балки можетъ быть выражено черезъ—

$$\Delta l = l_2 i_2 - l_1 i_1.$$

Но такъ какъ наши поперечныя балки по бокамъ связаны, а кромъ того имъется еще и сопротивленіе ногъ, то въ дъйствительности Δl мало.

Предположимъ, что
$$\Delta l = 0;$$

это мы вправѣ сдѣлать—въ виду основного положенія о геометрической неизмѣняемости формы копра. Кромѣ того, такъ какъ

$$U = U' + U'',$$

то легко найти, что

$$U' = \frac{E_1 l_2}{E_1 l_2 + E_2 l_1} U,$$

$$U'' - \frac{E_2 l_1}{E_2 l_1 + E_1 l_2} U.$$
(69)

Горизонтальныя силы, воспринимаемыя узлами, вычислить послѣ сказаннаго очень легко. Обозначимъ разстояніе осей шкивовъ отъ крайнихъ связывающихъ балокъ черезъ λ , а разстояніе между шкивами черезъ λ_1 , (черт. 16). Если соотвѣтственныя горизонтальныя силы будутъ $U_1^{\prime\prime}$ и $U_2^{\prime\prime}$, то, обозначивъ черезъ U_B и U_C противодѣйствующія силы въ узлахъ, будемъ имѣть моменты:

$$U_1^{\prime\prime}(\lambda + \lambda_1) + U_2^{\prime\prime}\lambda - U_R(2\lambda + \lambda_1) = 0,$$

$$U_{\mathbf{2}}^{"}(\lambda + \lambda_{\mathbf{1}}) + U_{\mathbf{1}}^{"}\lambda - U_{\sigma}(2\lambda + \lambda_{\mathbf{1}}) = 0,$$

откуда:

$$U_{B} = \frac{U_{1}^{"}(\lambda + \lambda_{1}) + U_{2}^{"}\lambda}{2\lambda + \lambda_{1}},$$

$$U_{C} = \frac{U_{2}^{"}(\lambda + \lambda_{1}) + U_{1}^{"}\lambda}{2\lambda + \lambda_{1}}.$$
(70)

Мы взяли самый простой примѣръ; но ясно, что и для болѣе сложнаго соотношенія между разстояніями способъ расчета будетъ тотъ же.

Расчетъ надшахтныхъ копровъ

Намъ остается теперь примѣнить свѣдѣнія, собранныя въ предыдущихъ главахъ, къ расчету типическихъ конструкцій. Мы ограничимся всего нѣсколькими примѣрами деревянныхъ и желѣзныхъ копровъ.

Расчетъ производится первоначально по схематическому упрощенному чертежу, причемъ вѣсъ частей сооруженія принимается приблизительно, сообразуясь съ существующими устройствами. Если впослѣдствіи оказывается, что проектируемыя летали получили размѣры, отличающіеся значительно отъ первоначально принятыхъ, то приходится вводить поправки. Въ случаѣ отсутствія подходящихъ практическихъ данныхъ, первоначаліный расчетъ можно произвести, не принимая во вниманіе вѣса сооруженія и вьести его во вторичный окончательный расчетъ на основаніи размѣровъ, полученныхъ первоначальнымъ расчетомъ. Графическіе методы можно рекомендовать какъ для первоначальной распланировки сооруженія, такъ и для повѣрки числовыхъ результатовъ расчета. Отдѣльныя фермы можно, конечно, разсчитывать по общепринятымъ графическимъ способамъ.

Расчетт желёзныхъ и деревянныхъ копровъ вообще мало отличается другъ отъ друга. Разница заключается лишь въ томъ, что при небольшихъ дерявянныхъ сооруженіяхъ возможны нѣкоторыя упрощенія: очень часто, напримѣръ, не принимаютъ во вниманіе давленія вѣтра и боковыхъ опрокидывающихъ усилій, чего нельзя допускать при солидныхъ желѣзныхъ копрахъ. Кромѣ того желѣзныя конструкціи гораздо сложнѣе, и передача давленій ногамъ и опорамъ не такъ проста, какъ при деревянныхъ копрахъ; наконецъ—здѣсь незачѣмъ избѣгать частей, подверженныхъ растяженію.

Въ настоящее время строятъ въ большивствъ случаевъ желъзные копры, принадлежащіе къ типу призматическихъ, съ задними—наклонными и передними—вертикальными ногами, такъ называемые двуножные копры, и комбиниров нные, призматическо пирамидальные—съ вертикальными ногами. Для полноты изложенія мы разсмотримъ и болѣе старые типы копровъ.

Для перехода отъ выраженій, выведенных въ главъ "Теорія надшахтныхъ копровъ", къ примъняемымъ для вычисленій, примемъ:

$$\Pi = T\cos\varepsilon = R\cos\frac{\alpha}{2} + G_0 + p_0 = P + G_0 + p_0,$$

$$\Omega = T\sin\varepsilon = R\sin\frac{\alpha}{2} + v_0 = U + v_0.$$
(71)

Въ этихъ формулахъ T обозначаетъ равнодъйствующую всъхъ силъ, приложенныхъ къ копру, послѣ перенесенія точки приложенія ихъ на ось шкива, какъ это мы видѣли выше; уголъ ε —наклонъ ея къ вертикали, какъ въ главѣ III-й. R—равнодѣйствующая натяженій каната, $\frac{\alpha}{2}$ —ея наклонъ къ вертикали, какъ въ главѣ I-й; точно также такія же значенія имѣютъ P и U. Наконецъ G_0 —вѣсъ сооруженія, приложенный къ оси шкива, p_0 вертикальная, а v_0 —горизонтальная слагающія давленія вѣтра, отнесенныя къ той же точкѣ. Изъ формулы (71) слѣдуетъ, что

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{\Omega}{\Pi} = \frac{U + v_0}{P + G_0 + p_0}.$$
 (72)

Само собой разум \pm ется, что для Мах II и Мах Ω мы будем \pm им \pm ть выраженія:

$$\operatorname{Max} \Pi = \operatorname{Max} P + G_0 + p_0,$$

$$\max \Omega = \max U + v_0,$$

въ которыхъ Мах P и Мах U опредъляются согласно равенствамъ (25) и (26). Развернемъ выраженія (37) и (38) и подставимъ въ нихъ наши новыя обозначенія; тогда призматическіе копры, въ которыхъ сила T остается въ пространствъ между ногами, подвергаются только сжатію; силы, направленныя въ плоскостяхъ этихъ ногъ параллельно осевой плоскости копра, булутъ:

$$t_{1} = -\sigma_{1} = \frac{\Pi \sin \xi - \Omega \cos \xi}{\sin (\xi + \eta)},$$

$$t_{2} = -\sigma_{2} = \frac{\Pi \sin \eta + \Omega \cos \eta}{\sin (\xi + \eta)}.$$

$$(73)$$

Въ этомъ случаћ t_1 и t_2 обозначаютъ не напряженія, а силы, на когорыя разложена T.

Если равнодъйствующая проходить съ внѣшней стороны переднихъ ногъ, то

$$t_{1} = -\sigma_{1} = -\frac{\Pi \sin \xi + \Omega \cos \xi}{\sin (\eta - \xi)},$$

$$t_{2} = -\sigma_{2} = \frac{\Pi \sin \eta - \Omega \cos \eta}{\sin (\eta - \xi)},$$

$$(74)$$

и при томъ объ ноги лежатъ влъво отъ вертикали. Формулы (73) для случая, когда заднія ноги вертикальны, принимаютъ болѣе простой видъ, а именно, положивъ $\xi = 0$, найдемъ:

$$t_1=-rac{\Omega}{\sin\eta},$$
 (75)
$$t_2=\Pi-rac{\Omega}{ ag\eta};$$

и наоборотъ, когда переднія ноги вертикальны, то положивъ $\eta=0$, найдемт:

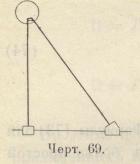
$$t_1 = \Pi - \frac{\Omega}{\lg \xi}, \tag{76}$$

$$t_2 = \frac{\Omega}{\sin \xi}$$

Этими послѣдними формулами намъ придется воспользоваться для расчета англійскаго трехножнаго копра, похожаго на коперъ, изображенный на черт. 26. Коперъ этого типа, въ которомъ шкивныя балки помѣщены горизонтально по направленію оси всего сооруженія, долженъ быть построенъ такъ, чтобы продолженія плоскостей переднихъ вертикальныхъ ногъ и заднихъ наклонныхъ пересѣкались по прямой, совпадающей съ осью шкивовъ. Если это условіе не соблюдено, и верхняя часть копра представляєть изъ себя положенныя горизонтально другъ на друга балки, какъ показано на черт. 16, то хотя такой коперъ и нельзя, строго говоря, назвать пирамидальнымъ, такъ какъ ноги его при продолженіи не пересѣкаются въ едной точкѣ, но тѣмъ не менѣе расчетъ его тождественъ съ расчетомъ пирамидальныхъ копровъ, и потому мы не будемъ разсматривать его особо. Трехножный англійскій коперъ схематически представленъ на черт. 69 и 70 (стр. 92). Согласно теоріи, вертикальныя силы воспринимаются

вертикальными ногами, горизонтальныя же разлагаются на обратныя первымъ вертикальныя и силы, дъйствующія въ плоскости наклонныхъ

ногъ. Величины тѣхъ и другихъ силъ даны формулой (76) Ясно, что

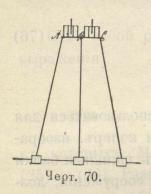


$$\operatorname{Max} t = \operatorname{Max} \Pi - \frac{\Omega}{\operatorname{tg} \xi},$$

$$\operatorname{Max} t_1 = \frac{\operatorname{Max} \Omega}{\sin \xi};$$

и такъ какъ Мах П соотвѣтствуетъ Мах P, то значитъ вертикальныя стойки надо разсчитывать на вертикальное давленіе, являющееся при разрывѣ нижняго каната, и соотвѣтствующую этому случаю горизонтальную силу U по формулѣ (26), наклонныя же стойки—на горизонтальную силу при разрывѣ верхняго каната.

Разсмотримъ теперь переднія и заднія ноги въ отдѣльности. Ферма наклонныхъ ногъ представлена схематически на черт. 70; въ плоскости ея, при нормальномъ подъемѣ, дѣйствуютъ силы t_2 и t_2 параллельныя оси этой фермы; величина ихъ постоянно мѣняется такъ, что



$$t_2 \geq t_2^{\prime\prime}$$
.

Силы эти при посредствѣ балки ABC передаются ногамъ. Расчетъ этой балки производится главнымъ образомъ на изгибъ, при томъ для простоты обыкновенно принимается, что она состоитъ изъ двухъ отдѣльныхъ частей AB и CB. Итакъ, крайнія стойки должны противодѣйствовать силамъ $\frac{1}{2}t_2'$ и $\frac{1}{2}t_2''$, средняя же—силѣ $\frac{1}{2}(t_2'+t_2'')$; такъ

какъ крайнія стойки наклонены подъ нѣкоторымъ угломъ а къ оси фермы, то сжимающія ихъ усилія равны:

$$t_2^{'} \frac{1}{2\coslpha}$$
 u $t_2^{''} \frac{1}{2\coslpha}$.

Горизонтальныя же балки AC и CB сжимаются силами-

$$t_2^{'} - rac{\operatorname{tg}}{2}$$
 и $t_2^{''} - rac{\operatorname{tg}}{2}$.

Такъ какъ Мах t_2 возникаетъ при разрывѣ верхняго каната у шкивовъ, то, слѣдовательно, стойку, соотвѣтствующую этому шкиву,

слѣдовало бы дѣлать крѣпче другой, но такого рода экономія матеріала врядъ-ли умѣстна; притомъ нельзя пріурочивать разъ на всегда данный шкивъ къ нижнему или верхнему канату, и потому сила, сжимающая крайнія стойки, находится по формулѣ:

$$s_1 = \operatorname{Max} t_2' \frac{1}{2 \cos \alpha},$$

средняя же стойка разсчитывается на силу-

$$s_2 = \frac{1}{2} \left(\text{Max } t_2' + t_2'' \right).$$

 $t_2^{\prime\prime}$ находится по формулѣ (76) для случая наибольшей нормальной нагрузки шкива нижняго каната, то есть— при положеніи груженой клѣти въ низшей точкѣ шахты. Поперечную балку ABC повѣряютъ на сжатіе отъ силы—

$$s = \operatorname{Max} t_2' \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2}$$

Такъ какъ отъ силы-

$$s_0 = (\operatorname{Max} t_2^{''} - t_2^{''}) \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2}$$

возможно перекашиваніе, то заднія ноги связывають между собою діагональными тягами. Напряженія, возникающія отъ силы s_0 во всей фермѣ, можно было бы точно разсчитать при помощи формуль (48) главы ІІІ-й, но обыкновенно, въ виду громаднаго запаса прочности, не вносять въ разсчеть соотвѣтствующихъ поправокъ: точно также не принимають во вниманіе давленіе вѣтра.

Разсчетъ фермы, составляемой вертикальными ногами, сходенъ съ только что приведеннымъ; онъ отличается только тѣмъ, что предполагается разрывъ нижняго каната у шкивовъ и полная нагрузка верхняго. Если ноги поставлены вертикально, $\frac{\alpha}{2} = 0$ и ихъ двѣ, а не три, то сжатіе каждой изъ нихъ опредѣлится силой:

$$s_1' = \operatorname{Max} t_1''.$$

Намъ остается еще опредълить Π и Ω для даннаго копра. Такъ какъ мы пренебрегаемъ при небольшихъ деревянныхъ сооруженіяхъ

давленіемъ вѣтра, то для даннаго случая остается только указать значеніе—

$$G_0 = G + \frac{1}{4} (G_1 + G_2),$$

гд $^{\pm}$ G есть в $^{\pm}$ съ шкива и половины балокъ, покрывающихъ верхнюю часть копра, G_1 —в $^{\pm}$ съ вертикальной, G_2 —наклонной фермы. Половину в $^{\pm}$ са каждой изъ нихъ мы относимъ къ верхнему узлу, а вторую половину—на опоры; итакъ—на каждую ось шкива приходится четвертая часть всего в $^{\pm}$ са. Такъ какъ нижнія части ногъ несутъ полный в $^{\pm}$ съ фермы, то, в $^{\pm}$ виду сказаннаго, сжимающія ихъ усилія н $^{\pm}$ сколько больше, ч $^{\pm}$ мъ указываемыя формулами, и потому намъ приходится ввести поправки на эту вторую половину в $^{\pm}$ са, и тогда усиліе, сжимающее наклонныя ноги в $^{\pm}$ ногу, опред $^{\pm}$ лится формулой:

$$S_1 = s_1 + \frac{1}{8} \frac{G_2}{\cos \xi},$$

усиліе же, приходящееся на среднія части ногъ будетъ-

$$S_2 = s_2 + \frac{1}{4} \frac{G_2}{\cos \xi}.$$

Собственно, уклонъ наклонныхъ крайнихъ ногъ нѣсколько разнится отъ угла \$ но, въ виду того, что мы допускаемъ цѣлый рядъ упрощеній въ приведенномъ нами расчетѣ, находимъ возможнымъ считать этотъ уголъ = \$. Вертикальныя ноги (если ихъ двѣ) будутъ сжаты внизу силой —

$$S_1' = s_1' + \frac{1}{4} G_1.$$

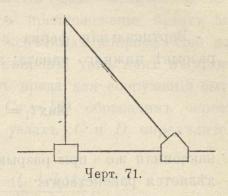
Что касается опорных сопротивленій, то ясно, что величины ихъ должны быть равны и противоположны S_1 , S_2 , S_1' , и каменные устои должны разсчитываться по нимъ. Если имѣются деревянные лежни, въ которые упираются ноги, то разсчитывать ихъ приходится согласно способу закрѣпленія; напримѣръ,—на растяженіе и скалываніе, если закрѣплена часть у вертикальной стойки; усилія, вызывающія эти напряженія, понятно, равны тогда:

$$S_1\sin\xi$$
 или $S_2\sin\xi$.

Разсмотримъ теперь англійскій деревянный двуножный коперъ, (черт. 25). Точка приложенія силъ R_1 и R_2 лежитъ нѣсколько въ

сторонъ отъ наклонныхъ ногъ; если мы перенесемъ ее перпендикулярно къ ногъ на ея ось, то тогда у насъ явится моментъ Re; здъсь e—раз-

стояніе оси шкива отъ оси ноги. Этотъ моментъ старается свернуть подшипникъ или часть ноги въ плоскости соприкосновенія ея съ подшипникомъ. Такъ какъ е мало то мы пренебрегаемъ этимъ моментомъ, хотя намъ приходится оговориться, что онъ является вообще нежелательнымъ, и потому конструктивнѣе помѣщать оси шкивовъ въ плоскости осей ногъ; конечно—



въ тъхъ случаяхъ, когда это не связано съ большими неудобствами.

Итакъ, для расчета копра мы будемъ предполагать, что точка приложенія силы находится въ осевой плоскости наклонныхъ ногъ. Для опредѣленія силъ въ плоскостяхъ переднихъ и заднихъ ногъ, на которыя разлагается эта сила, воспользуемся формулой (43), предположивъ въ нихъ $T_1=0$, такъ что

$$T_2\sin \varepsilon_2 = \Omega$$
 и $T_2\cos \varepsilon_2 = \Pi$,

и тогда:

$$t_{1} = -\sigma_{1} = \frac{H_{1}}{H} \frac{\Pi \sin \xi - \Omega \cos \xi}{\sin (\eta + \xi)}.$$

$$t_{2} = -\sigma_{2} = -\frac{H_{1}}{H} \frac{\Pi \sin \xi - \Omega \cos \xi}{\sin (\eta + \xi)} \cdot \frac{\cos \eta}{\cos \xi} + \frac{\Pi}{\cos \xi}.$$
(78)

Для нашего случая эти выраженія еще упрощаются въ виду того, что $\eta = 0$; поэтому—

$$t_{1} = \frac{H_{1}}{H} \left(\Pi - \frac{\Omega}{\lg \xi} \right), \qquad (79)$$

$$t_{2} = \left(1 - \frac{H_{1}}{H} \right) \frac{\Pi}{\cos \xi} - \frac{\Omega}{\sin \xi};$$

фермулами (78) и (79) можно пользоваться также для точнаго опредёленія силь, направленных параллельно осямь фермь и вызываемыхь давленіемь вѣтра и вѣсомъ фермъ. Для даннаго примѣра мы произведемь однако расчеть напряженій, вызываемыхъ вѣсомъ, по способу, принятому въ первомъ расчетѣ; такъ что если G_0 имѣетъ то же значеніе, что и раньше, но безъ вѣса шкивовъ и шкивныхъ балокъ, то

полная слагающая въ вертикальной фермъ будетъ для нашего случая:

$$t_1 = t_0 + G_0$$
.

Вертикальная ферма воспринимаетъ наибольшее напряжение при разрыв' в нижняго каната; это напряжение выражается формулой:

$$\operatorname{Max} t_{\mathbf{i}} = G_0 + \frac{H_1}{H} \Big(\operatorname{Max} \Pi \, - \frac{\Omega}{\operatorname{tg} \, \xi} \Big),$$

наклонная же - при разрывъ верхняго. Величина напряженія опредъляется равенствомъ:

$$\operatorname{Max} t_2 = \left(1 = \frac{H_1}{H}\right) \frac{\Pi}{\cos \xi} - \frac{\operatorname{Max} \Omega}{\sin \xi}.$$

Намъ остается теперь разсмотръть объ фермы въ отдъльности. Въ наклонной фермъ (см. схему черт. 72) къ осямъ шкивовъ приложень силы Π_1 , Π_2 и Ω_1 , Ω_2 . Эти силы могутъ быть разложены на

нормальныя и параллельныя къ шкив-

$$N = \Pi \sin \xi - \Omega \cos \xi,$$

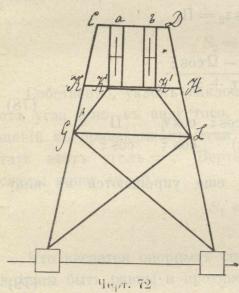
$$T = \Pi \cos \xi + \Omega \sin \xi.$$

Итакъ, каждую шкивную балку приходится разсчитывать на изгибъ по формулъ:

$$\operatorname{Max} N = \frac{1}{2} (\operatorname{Max}. \Pi \sin \xi - \Omega \xi),$$

ибо шкивы расположены по серединъ промежутка между балками. Понятно, что всъ балки дълаются одинаковой толщины.

Горизонтальная поперечная балка CD воспринимаеть половину нормальных давленій на шкивныя балки, а также часть продольнаго давленія на нихъ. Отъ разложенія нормальнаго и продольнаго давленія окончательно получаются силы t_1 и t_2 , которыя мы опредѣлили выше. Такъ какъ первоначальныя силы приложены у шкивовъ, то силу t мы можемъ считать приложенной въ той же точкѣ, а слѣдовательно, части ея, воспринимаемыя балками CD и KH, опредѣлятся по формуламъ (69). Въ виду того, что шкивы помѣщаются прибли-



зительно по серединѣ балокъ, мы можемъ принять, что половина силъ передается балкѣ CD, а вторая половина балкѣ KH. Въ виду того, что для желѣза модуль упругости при сжатіи мало отличается отъ модуля упругости при растяженіи, такое предположеніе будетъ довольно близко къ дѣйствительности для желѣзныхъ копровъ. Оно допустимо и для небольшихъ деревянныхъ копровъ, такъ какъ въ этомъ случаѣ погрѣшности разсчета могутъ безъ вреда для сооруженія быть нѣсколько большими. Если разстояніе Ca = bD обозначимъ черезъ l_1 , а ab черезъ l_2 , то тогда давленія въ узлахъ C и D опредѣлятся выраженіями:

давленіе въ узлѣ
$$D=rac{l_1t_2'+(l_1+l_2)t_2''}{2\left(2\,l_1+l_2
ight)},$$
 , $C=rac{l_1t_2''+(l_1+l_2)t_2''}{2\left(2\,l_1+l_2
ight)}.$

Если наклонъ ногъ къ оси разсматриваемой фермы назовемъ черезъ а, то силы передаваемыя ногамъ, будутъ.

$$s_2 = \frac{l_1 t_2' + (l_1 + l_2) t_2''}{2 (2 l_1 + l_2) \cos \alpha},$$

$$s_1 = \frac{l_1 t_2^{"} + (l_1 + l_2) t_2^{"}}{2 (2 l_1 + l_2) \cos \alpha}.$$

Если уклонъ подкосовъ LK' и K'G къ оси фермы данъ угломъ β , то силы, воспринимаемыя ими будутъ:

$$t_2^{'}\frac{1}{2\cos\beta}$$
 и $t_2^{''}\frac{1}{2\cos\beta}$.

Эти силы передаются ногамъ и діагональнымъ тягамъ; но, такъ какъ для того, чтобы имъть свободный проходъ въ нижней части копра, часто предпочитаютъ примънять горизонтальную связку, то, разложивъ давленіе отъ подкосовъ по направленіямъ ноги и горизонтальному, получимъ изъ параллелограмма силъ:

$$s_1=t_2^{'}rac{1}{2\coslpha}$$
 и $s_2^{''}=t^{''}_2rac{1}{2\coslpha}$.

Въ горизонтальной связкъ силы, вызывающія растяженіе, будутъ:

$$t_{2}' \frac{\sin(\beta-\alpha)}{2\cos\alpha\cos\beta} u t_{2}'' \frac{\sin(\beta-\alpha)}{2\cos\alpha\cos\beta};$$

ригель H'K' сжимается силами:

$$t_2^{\prime} \frac{\lg \beta}{2}$$
 и $t_2^{\prime\prime} \frac{\lg \beta}{2}$,

а верхняя балка-силами:

$$\frac{l_1 t_2' + (l_1 + l_2) t_2''}{2 (2 l_1 + l_2)} \operatorname{tg} \alpha \operatorname{H} \frac{l_1 t_2'' + (l_1 + l_2) t_2'}{2 (2 l_1 + l_2)} \operatorname{tg} \alpha;$$

сжатіе стоекъ въ нижнихъ частяхъ опредълится формулами:

$$-\sigma'_{2} = s_{1}' + s_{1}'' + \frac{G}{2\cos\xi},$$

$$-\sigma'_{2} = s'_{2} + s_{2}'' + \frac{G}{2\cos\xi};$$

надо однако замѣтить, что эти формулы даютъ только приблизительное значеніе для— σ_2' и σ_2'' , такъ какъ наклонъ ногъ не точно равенъ ε . Если подставимъ въ σ_2' и σ_2'' выраженія для s_1' , s_1'' , s_2' , s_2'' , то получатся слѣдующія формулы:

$$-\sigma_{2}' = \frac{(3 l_{1} + 2 l_{2}) t_{2}' + l_{1} t_{2}''}{2 (2 l_{1} + l_{2}) \cos \alpha} + \frac{G}{2 \cos \xi},$$

$$-\sigma_{2}'' = \frac{(3 l_{1} + 2 l_{2}) t''_{2} + l_{1} t_{2}'}{2 (2 l_{1} + l_{2}) \cos \alpha} + \frac{G}{2 \cos \xi}.$$
(80)

Если Мах. $t_2^{''} > {\sf Max}\,t_2^{'}$, что имѣетъ мѣсто тогда, когда $t_2^{''}$ соотвѣтствуетъ шкиву верхняго каната, а $t_2^{'}$ —нижнему, то абсолютная величина

$$\operatorname{Max} \sigma_2^{\prime\prime} > \operatorname{Max} \sigma_2^{\prime\prime};$$

это легко доказать сравненіемъ выраженій (80), а значитъ намъ приходится расчитывать ноги и всю вообще нэклонную ферму на случай разрыва верхняго каната Итакъ, нижнюю часть ногъ мы будемъ считать сжатой силой. «опредъляемой выраженіемъ—

$$-\sigma_2 = \frac{(3 l_1 + 2 l_2) \operatorname{Max} t_2'' + l_1 t_2'}{2 (2 l_1 + l_2) \cos \alpha} + \frac{G}{\cos \xi};$$
 (81)

торизонтальная связка растягивается усиліемъ—

$$\frac{\sin(\beta - \alpha)}{2\cos\alpha\cos\beta} \operatorname{Max} t_2^{\prime\prime}, \tag{82}$$

ригель K'H' —

$$-\frac{\operatorname{tg}\,\beta}{2}\,\operatorname{Max}\,t_2{}^{\prime\prime}$$
oreand ae mean form from (20)

$$\frac{\lg \alpha}{2} \frac{l_1 t_2' + (l_1 + l_2) \operatorname{Max} t_2''}{(2 l_1 + l_2)}$$
(84)

Ходъ расчета вертикальной фермы не отличается въ общемъ отъ только что указаннаго. Точки приложенія силъ, дъйствующихъ въ плоскости этой фермы, суть а и b, такъ что узлы воспринимаютъ и передаютъ непосредственно ногамъ давленія:

$$\frac{l_1 t_1^{\prime \prime} + (l_1 + l_2) \, t_1^{\prime}}{(2 \, l_1 + l_2)} \, \, \text{if} \, \, \frac{l_1 t_1^{\prime} + (l_1 + l_2) \, t_1^{\prime \prime}}{(2 \, l_1 + l_2)} \, \cdot \,$$

Но такъ какъ въ этомъ случаъ

$$\operatorname{Max} t_1' > \operatorname{Max} t_1'',$$

то есть, самое большое вертикальное давление возникаетъ при разрывъ нижняго каната, то расчетъ нижней части ногъ ведутъ на сжатіе «силой

$$-\sigma_1 = \frac{l_1 t_1'' + (l_1 + l_2) \operatorname{Max} t_1'}{(2 l_1 + l_2)} + \frac{G}{2}.$$

Остается еще разсчитать горизонтальную балку CD; она подвержена изгибу отъ двухъ силъ ρ_1 и ρ_2 , приложенныхъ въ точкахъ a и b, и отъ собственнаго въса. Величина этихъ силъ опредъляется выраженіями:

$$ho_1 = \sqrt{t'^2 + t''^2} - \cos \xi t' t''$$
 u $ho_2 = \sqrt{t'^2 + t''^2} - \cos t_1' t_1''$.

Силы эти не лежать въ одной плоскости, и потому балка подвергается сложному изгибу. Мы для простоты расчета совмъстимъ ихъ въ одну плоскость и станемъ разсчитывать балку на усиліе $\rho_1 + \text{Мах } \rho_2$ или $\text{Мах } \rho_1 + \rho_2$, и будемъ пользоваться результатами того расчета, который дастъ большія величины. Понятно, максимальныя величины ρ опредъляются наибольшими значеніями t_2 и t_1 .

Что касается опорныхъ сопротивленій, то разсчитать ихъ очень легко, а именно: давленіе на опоры вертикальныхъ стоекъ равновет лико σ_1 , наклонныя же стойки давятъ по направленію своихъ осей и, кромѣ того, передаютъ часть горизонтальной силы отъ разложенія T на горизонтальное направленіе и параллельное оси наклонной фермы. Величина этой силы опредѣляется формулой—

$$\operatorname{Max} \sigma_0 = (P \operatorname{tg} \xi + \operatorname{Max} U) \frac{H - H_1}{H},$$

а слѣдовательно равнодѣйствующая σ_2 и σ_0 , то есть дѣйствительное давленіе, воспринимаемое опорой, будетъ—

The rescaled are not something
$$\rho_0=\sqrt{\sigma_2^2+\sigma_0^2+\sigma_2$$

уголъ наклоненія ея къ горизонту--

$$\sin \gamma = \cos \xi \frac{\sigma_0}{\rho_0}.$$

Понятно, для расчета ρ и γ вводятся найбольшія значенія σ_0 и σ_2 , получаемыя при Мах U.

Въ приведенномъ нами расчетъ есть упрощенія и даже нѣкоторыя неточности. Умъстность ихъ объясняется примъненіемъ ихъ только къ небольшимъ подъемнымъ устройствамъ; болъе точные пріемы мы примънимъ при расчетъ большихъ желъзныхъ копровъ.

Пирамидальные копры.

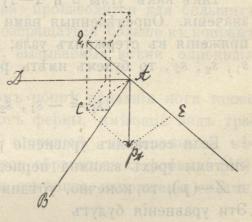
Займемся теперь примъненіемъ нашей теоріи къ пирамидальнымъ копрамъ. Для примъра разсмотримъ простую деревянную конструкцію, описанную ранъе (черт. 36). Изъ теоріи балочныхъ шкивныхъ станковъ мы знаемъ, что какъ вертикальныя, такъ и горизонтальныя силы передаются при посредствъ поперечныхъ балокъ узламъ. Въ зависимости отъ того, какъ прикръплены шкивныя балки, эта передача можетъ совершаться различно, но въ конечномъ счетъ всегда горизон-

тальныя силы дёйствують вдоль соединительных балокь, и разница въ конструкціи сводится только къ тому, растягиваются ли эти балки или сжимаются. Если шкивныя балки прикрѣплены совершенно неподвижно, то горизонтальныя силы передаются какъ переднимъ, такъ и заднимъ узламъ. Вертикальныя силы мы можемъ разсчитать по формулѣ (29), а по формулѣ (69)—горизонтальныя.

Итакъ, на основаніи теоретическихъ соображеній мы заключаемъ, что для расчета копра вообще безразличенъ способъ прикрѣпленія балокъ, вся разница сводится только къ тому, что въ одномъ случаѣ эти балки приходится разсчитывать на сжатіе, а въ другомъ—на растяженіе.

На основаніи всего сказаннаго величина силъ, дъйствующихъ въ каждомъ узлъ, можетъ считаться извъстной. Разсмотримъ сначала

вертикальныя силы. Пусть въ узлѣ A приложена вертикальна сила p_A . Черезъ наклонную ногу и эту силу проводимъ плоскость, которая пересъкается съ плоскостью соединительныхъ балокъ по прямой CA. Если мы силу p_A будемъ считать равнодѣйствующей силъ направленныхъ по ногѣ и прямой CA, и уголъ, составляемый ногой съ вертикальной прямой, назовемъ γ , то сила, направленная по ногѣ окажется равной



Черт. 73-а.

$$s_1 = \frac{p_A}{\cos \gamma},$$

горизонтальная же слагающая по AC будетъ

$$p_{_A}$$
 tg γ .

Если углы, составляемые направленіемъ AC съ соединительной и поперечной балкой, назовемъ δ и o, то, разлагая эту силу по направленіямъ DA и BA, получимъ

$$p_{_A} \operatorname{tg} \gamma \cos \delta$$
 и $p_{_A} \operatorname{tg} \gamma \cos o$.

Если мы продолжение AE (см. черт. 73-а) AE_1 будемъ считать діагональю параллелепипеда, направленія сторонъ котораго суть DA, BAи продолженіе p, то, назвававъ уголъ между DA и AE черезъ α , между BA и AE черезъ β , на основаніи геометрическихъ свойствъ параллелепипеда имѣемъ:

$$\cos \delta = \frac{\cos (180 - \alpha)}{\sin \gamma}$$
 μ $\cos o = \frac{\cos (180 - \beta)}{\sin \gamma}$,

а слѣдовательно сила, дѣйствующая по направленію А D, будетъ

$$s_2 = -p_A \frac{\cos \alpha}{\sin \gamma}$$

а по АВ-

$$s_2 = -p_A \frac{\cos \alpha}{\sin \gamma}.$$

Такъ какъ углы β и α —тупые, то s_2 и s_3 имѣютъ положительныя значенія. Опредѣленныя нами силы вызываютъ противоположныя напряженія въ стержняхъ узла; поэтому, если назовемъ эти напряженія s_1 , s_2 , s_3 , то будемъ имѣть равенства:

$$s_1 = -s_1', \ s_2 = -s_2'$$
 и $s_3 = -s_3'$. Тоокрови во котоки

Если составимъ уравненіе равновѣсія для этого узла относительно системы трехъ взаимно перпедикулярныхъ осей X - (AD) и Y - (AB) и Z - (p), то, конечно, убѣдимся въ правильности разложенія силы p. Эти уравненія будутъ

$$p_A + s_1' \cos \alpha = 0,$$
 on rehibiting the state of $p_A \frac{\cos \alpha}{\cos \gamma} + s_2' = 0,$ (85)
$$p_A \frac{\cos \beta}{\cos \gamma} + s_3' = 0.$$

Всѣ три напряженія вызваны сжимающими усиліями. Точно такимъ же образомъ мы опредѣляемъ силы и напряженія, дѣйствующія вдоль прутьевъ въ остальныхъ трехъ узлахъ. Если въ $p_{_A}$, $p_{_B}$ и пр. мы предположимъ включеннымъ вѣсъ шкивовъ, поперечныхъ и соединительныхъ балокъ и вѣсъ соотвѣтственной части наклонной ноги со всѣми связками и раскосами, то для силъ, направленныхъ вдоль связываю щихъ балокъ AB и CD, мы можемъ написать слѣдующія выраженія:

$$\Omega_1 = S_{AB} = \omega_1 - p_A \frac{\cos \alpha_1}{\cos \gamma_1} + p_B \frac{\cos \alpha'}{\cos \gamma'}, \tag{86}$$

$$\Omega_2 = S_{\text{CD}} = \omega_2 - p_c \frac{\cos \alpha_1}{\cos \gamma_1} + p_D \frac{\cos \alpha'}{\cos \gamma'}; \tag{86}$$

вдоль же поперечныхъ балокъ AC и BD дѣйствуютъ силы:

$$\Omega' = S_{AC} = \omega' - p_A \frac{\cos \beta_1}{\cos \gamma_1} + p_C \frac{\cos \beta_1}{\cos \gamma_1},$$

$$\Omega'' = S_{BD} = \omega'' - p_B \frac{\cos \beta'}{\cos \gamma'} + p_D \frac{\cos \beta'}{\cos \gamma'}.$$
(87)

Эти опрокидывающія усилія Ω' и Ω'' при расчет $\mathfrak k$ малых $\mathfrak k$ пирамидальныхъ копровъ или вовсе не принимаются во вниманіе или, если иногда и принимаются, то только для провфрки поперечныхъ балокъ на сжатіе, причемъ, конечно, провърка производится для большихъ изъ нихъ. Для того однако, чтобы не возвращаться больше къ копрамъ этого типа, мы изследуемъ напряженія, вызываемыя всеми опрокидывающими силами.

Въ виду того, что въ пирамидальномъ копръ переднія ноги также какъ и заднія, вмѣстѣ взятыя, образуютъ фермы, имѣющія видъ трапеціи, очень часто безъ діагональныхъ стержней, наклоненныхъ нѣсколько другъ къ другу, то намъ придется обратиться къ формулѣ (48). Преобразуемъ ихъ по общему способу и, замфнивъ напряженія силами, вызывающими ихъ, именно -

$$t_1 = -\sigma_1$$
 и $t_2 = -\sigma_2$, найдемъ, что
$$t_2 = \frac{(l_1 + H \lg \eta) \Pi + H \Omega}{(l + H \lg \eta + H \lg \xi) \cos \xi},$$
 (88)
$$t_1 = \frac{(l_2 + H \lg \xi) \Pi + H \Omega}{(l + H \lg \eta + H \lg \xi) \cos \eta};$$

но такъ какъ мы вертикальныя давленія уже распредълили по направленію ногъ и продольныхъ и поперечныхъ балокъ, и желательно ввести только дъйствіе поперечныхъ горизонтальныхъ силъ, то для этого случая следуетъ предположить

 $\Pi = 0$,

и тогда:
$$t'_{1-2} = -\frac{H\Omega}{L\cos\eta},$$
 (89)
$$t''_{1-2} = -\frac{H\Omega}{L\cos\xi}.$$

Подставляя въ эти выраженія Ω' и Ω'' , а также соотвътственныя значенія для угловъ наклоненія ногъ къ оси фермы, мы опредѣлимъ силы, t_1' , t_1'' , t_2' , t_2'' , которыя будучи суммированы съ прежними (85), позволяютъ намъ вычислить напряженія въ ногахъ по формуламъ:

$$\sigma_1 = -(s_1 - t_1); \ \sigma_2 = -(s+t).$$

Намъ остается использовать полученныя выраженія для того, чтобы имъть возможность судить о роли каждой изъ принятыхъ во вниманіе активныхъ силъ, которыхъ вслъдствіе сложности я приводить не стану.

Для опредъленія горизонтальныхъ силъ Ω_1 и Ω_2 у насъ имъются выраженія (69).

Формулы (29), указывающія, какъ распредѣляются вертикальныя давленія, даютъ намъ возможность вычислить вертикальныя силы, дѣйствующія по узламъ:

$$p_{A} = \frac{l_{2}}{l} \frac{P_{1}(\lambda + \lambda_{1}) + P_{2}\lambda}{(2\lambda + \lambda_{1})}, p_{B} = \frac{l_{1}}{l} \frac{P_{1}(\lambda + \lambda_{1}) + P_{2}\lambda}{(2\lambda + \lambda_{1})},$$

$$p_{c} = \frac{l_{2}}{l} \frac{P_{2}(\lambda + \lambda_{1}) + P_{1} \lambda}{(2 \lambda + \lambda_{1})} \cdot p_{D} = \frac{l_{1}}{l} \frac{P_{2}(\lambda + \lambda_{1}) + P_{1} \lambda}{(2 \lambda + \lambda_{1})}.$$

Если для простоты обозначимъ

$$\frac{P_1(\lambda+\lambda_1)+P_2\lambda}{(2\lambda+\lambda_1)}$$
 черезъ Π_1 и $\frac{P_2(\lambda_2+\lambda_1)+P_1\lambda}{(2\lambda+\lambda_1)}$ черезъ Π_2 , (91)

то будемъ имъть:

$$P_{A} + \frac{l_{2}}{l}\Pi_{1}, \ P_{B} = \frac{l_{1}}{l}\Pi_{1}, \ P_{C} = \frac{l_{2}}{l}\Pi_{2}, \ P_{D} = \frac{l_{1}}{l}\Pi_{2},$$

гд $^{\pm}$ Π_1 и Π_2 —это силы, которыми на соединительных $^{\pm}$ балках $^{\pm}$ BA и CD мы вправ $^{\pm}$ зам $^{\pm}$ нить вертикальныя давленія P_1 и P_2 у осей шкивов $^{\pm}$.

Приведенный способъ расчета по пріему своему сходенъ съ примѣняемымъ на практикѣ, но безъ тѣхъ вольностей, которыя обыкновенно допускаются. Заднія ноги разсчитываются на силу

$$rac{l_1}{l} rac{ ext{Max } \Pi_1}{\cos \gamma^{'}}$$
 или $rac{l_1}{l} rac{ ext{Max } \Pi_2}{\cos \gamma^{'}},$

и затъмъ все устройство провъряется на опрокидываніе отъ силъ Ω_1 и Ω_2 .

Какъ видно, такой расчетъ, собственно говоря, ни на чемъ не основанъ. Формулами, выведенными для распредъленія силъ по узламъ, мы воспользуемся впослъдствій, при расчетъ пирамидальныхъ копровъ, — въ которыхъ ноги соединены діагональными прутьями.

Для случая, когда неизмѣняемость геометрической формы копра обусловлена только горизонтальными связками, воспользуемся способомъ идеальной фермы, то есть, замѣнимъ давленія, передаваемыя поперечнымъ балкамъ отъ силъ П и Ω , силами направленными въ плоскостяхъ переднихъ и заднихъ ногъ, и приложенными къ серединѣ разстоянія между поперечными балками, поддерживающими каждый изъ шкивовъ. Если наклонъ фермы переднихъ ногъ къ вертикальной плоскости— η , а заднихъ ξ , то, подставивъ въ уравненіе (88) соотвѣтственно Π_1 , Ω_1 и Π_2 , Ω_2 , найдемъ двѣ группы силъ:

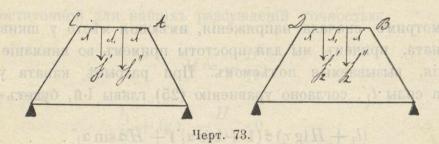
$$t_2^{\prime\prime},\ t_1^{\prime\prime}$$
 и $t_2^{\prime\prime\prime},\ t_1^{\prime\prime}$.

Такимъ образомъ въ передней наклонной фермѣ, въ плоскости ея, дѣйствуютъ силы (черт. 73) $t_1^{\prime\prime}$ и $t_1^{\prime\prime\prime}$, а въ задней $-t_2^{\prime\prime}$ и $t_2^{\prime\prime\prime}$.

Разсмотримъ заднюю ферму; наклонъ ногъ въ ней одинаковъ, уголъ, составляемый ногою съ горизонтальной поперечной балкой, пусть будетъ β' ; слѣдовательно уклонъ ихъ къ оси фермы $=\beta'-90^0$. Наклонная высота этой фермы—

$$\Omega W - \Pi \times M H_2 = \frac{\cos \xi}{H}.$$

Напряженія въ ногахъ этой фермы вызываются силами t_2' и t_2'' и боковымъ давленіемъ вѣтра, а также силы, вызываемой отклоненіемъ



каната v_2 ; эти напряженія выразятся формулами:

$$\sigma_{\rm B} = \frac{[\lambda + H_2 \operatorname{tg} (\beta' - 90)] t'_2}{L_2 \cos (\beta' - 90^0)} = \frac{[(\lambda + \lambda_1) + H_2 \operatorname{tg} (\beta' - 90^0)] t_2''}{L_2 \cos (\beta' - 90^0)} \pm \frac{H_2 v_2}{L_2 \cos (\beta' - 90)},$$

$$(92)$$

$$\sigma_{\rm D} = \frac{[(\lambda + \lambda_1) + H_2 \operatorname{tg} (\beta' - 90^0)] t_2'}{L_2 \cos (\beta' - 90^0)} + \frac{[\lambda + H_2 \operatorname{tg} (\beta' - 90^0)] t_2''}{L_2 \cos (\beta' - 90^0)} \pm \frac{H_2 v_2}{L_2 \cos (\beta' - 90^0)},$$

Двойной знакъ у силы давленія вътра и боковыхъ отклоненій каната поставленъ потому, что вътеръ можетъ быть направленъ, какъ съ, одной такъ и съ другой стороны; впрочемъ, этимъ членомъ часто пренебрегаютъ, такъ какъ въ Ω_1 и Ω_2 уже вошло продольное давленіе

дено, что если
$$L_2=2\,\lambda+\lambda_1+2\,H_2\,{
m tg}\,(eta'-90^0).$$

то Мах $\sigma_{\rm p}$ будетъ соотвътствовать Мах t_1 и наоборотъ, если

$$t_2' > t_2''$$

скости и задиня в то, полотины в ду-иго под то ноги слѣдуетъ разсчитывать по $\max\ t_2{}^{\prime\prime}$, а именно, слѣдуетъ принять во вниманіе $\sigma_{_{\! 4}}$ при вышеуказаннюмъ значеній $t_2{''}$. Итакъ, намъ надо разобраться, какое изъ неравенствъ

Max
$$t_2' \gtrsim ext{Max } t_2''$$

имъетъ мъсто. Но такъ какъ вообще найбольшія напряженія возникають при разрывъ канатовъ, то у насъ могутъ имъть мъсто для всякаго каната (шкива) усилія:

$$(\operatorname{Max} t_2)_1 = \frac{(l + H \operatorname{tg} \eta) \operatorname{Max} \Pi + H\Omega}{L \cos \xi}$$

$$(\operatorname{Max} t_2)_{\,2} = rac{(l_1 + H \operatorname{tg} \eta) \,\Pi + H \operatorname{Max} \Omega}{L \cos \xi} \cdot$$

Разсмотримъ сначала напряженія, имѣющія мѣсто у шкива верхняго каната, причемъ мы для простоты примемъ во внимание тольконатяженія, вызываемыя подъемомъ. При разрывъ каната у шкива величина силы t_1' , согласно уравненію (25) главы І-й, будеть—

$$\frac{(l_1 + H\lg\eta) \sigma (1 + \cos\alpha_1') + H\sigma\sin\alpha_1'}{L\cos\xi};$$

если канатъ разрывается, когда груженая клъть находится въ нижней части шахты, то эта сила опредълится выраженіемъ

$$\frac{(l_1 + H \operatorname{tg} \eta) \sigma (1 + \cos \alpha_1^{"}) + H \sigma \sin \alpha^{"}_{1}}{L \cos \xi}.$$

Разность этихъ величинъ положительна или отрицательна, сообразносъ тъмъ, которое изъ написанныхъ ниже неравенствъ имъетъ мъсто:

$$(l_1 + H \operatorname{tg} \eta) (\cos \alpha_1' - \cos \alpha_1'') + H(\sin \alpha_1' - \sin \alpha_1'') \geq 0.$$

Напишемъ его такъ:

$$\frac{l_1}{H} + \operatorname{tg} \eta + M \gtrsim 0,$$

глѣ

$$M = \frac{\sin \alpha_1' - \sin \alpha_1''}{\cos \alpha_1' - \cos \alpha_1''}.$$

Для опредѣленія M воспользуемся формулой (7), которая даетъ намъ (при замѣнѣ L на D) слѣдующія равенства:

$$\sin \alpha = \frac{1}{H^2 + D^2} \left[D \sqrt{H^2 + D^2 - (\rho - v)^2 + H(\rho - v)} \right],$$

$$\cos\alpha = \frac{1}{H^2 + D^2} \left[H^2 \sqrt{H^2 + D^2 - (\rho - v)^2} - D(\rho - v) \right].$$

Если въ эти выраженія станемъ подставлять вмѣсто ρ его предѣльныя значенія ρ_1 и v, то въ первомъ случаѣ опредѣлимъ $\sin \alpha_1'$ и $\cos \alpha_1'$, а во второмъ— $\sin \alpha_1''$ и $\cos \alpha_1''$; итакъ:

$$\mathbf{M} = \frac{L\sqrt{H^2 + D^2 - (\rho_1 - v)^2 + H(\rho_1 - v) - D\sqrt{H^2 + D^2}}}{H\sqrt{H^2 + D^2 - (\rho_1 - v)^2 - D(\rho_1 - v) - H\sqrt{H^2 + D^2}}},$$

а съ достаточной для нашихъ разсужденій точностью:

рынартыковри
$$M = \frac{H}{D}$$
; гото відост та живоорий вина от становання $\frac{H}{D}$

поэтому, если

$$rac{l_1}{H}+\lg\eta-rac{H}{D}>0,$$
 where $ag{93a}$

то Max t_1 имветь мвсто при Max U. Наобороть, если

$$\frac{l_1}{H} + \lg \eta - \frac{H}{D} < 0, \tag{93b}$$

то наибольшее значеніе t_1 принимаеть при Мах P. Разсуждая такимъже точно образомъ относительно напряженій у шкива нижняго каната,

мы придемъ буквально къ такому же выводу, а следовательно заднія ноги слъдуетъ разсчитывать на Мах Ω , при существованіи неравенства 93a, и на Мах П (уравненіе 25) при неравенствъ 93b.

Разсмотримъ теперь ферму переднихь ногъ. Напряженія въ нихъ опредъляются выраженіями, аналогичными съ (92), съ соотвъственной замфной обозначеній; напряженія эти будуть:

$$\begin{split} \sigma_{_{\!A}} = & \frac{\left[\lambda + H_1 \lg \left(\beta - 90\right) t_1^{'}}{L_1 \cos \left(\beta - 90^{0}\right)} + \frac{\left[\left(\lambda + \lambda_1\right) + H_1 \lg \left(\beta - 90^{0}\right)\right] t^{''}}{L_1 \cos \left(\beta - 90^{0}\right)} \pm \frac{H_1 v_1}{L_1 \cos \left(\beta - 90^{0}\right)}, \\ \sigma_{_{\!C}} = & \frac{\left[\left(\lambda + \lambda_1\right) + H_1 \lg \left(\beta - 90^{0}\right)\right] t_1^{'}}{L_1 \cos \left(\beta - 90^{0}\right)} + \frac{\left[\lambda + H_1 \lg \left(\beta - 90^{0}\right)\right] t_1^{''}}{L_1 \cos \left(\beta - 90^{0}\right)} \pm \frac{H_1 v_1}{L_1 \cos \left(\beta - 90^{0}\right)}. \end{split}$$

Для того, чтобы оба напряженія были сжимающими, необходимо, чтобы t_1 и t_1 были величинами положительными. Условіе, необходимое, для этого, выражено въ уравнении (53); если въ немъ tg є замънимъ tg a, которой можно вычислить, какъ выше было указано, то

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D \sqrt{H^2 D^2 - (\rho - v)^2} + H(\rho - v)}{H \sqrt{H^2 D^2 - (\rho - v)^2} - D(\rho - v)},$$

но, ограничившись довольно грубымъ приближеніемъ, можемъ считать, что tg $\alpha = \frac{D}{H}$ and $\alpha = \frac{D}{H}$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D}{H}$$

и тогда получимъ слѣдующее:

омитоопрот
$$\mathrm{atg}\,\xi>_{D=l_2}$$
 на на на вопротвоод δ о

Впрочемъ, въ теоріи этотъ случай разсматривается болье точно. Неравенство наше наглядно показываетъ, что типъ пирамидальныхъ копровъ, въ особенности деревянныхъ, пригоденъ только для малыхъ машинъ, которыя, благодаря небольшой длинъ барабановъ, могутъ быть устанавливаемы непосредственно у шахтъ.

Итакъ, если условіе (53) соблюдено, то понятно, что

Max
$$t_1 = \frac{(l_2 + H \lg \xi) \operatorname{Max} \Pi - \Omega H}{L \cos \eta}$$

$$\min t_1 = \frac{(l_2 + H \lg \xi) \Pi - H \operatorname{Max} \Omega}{L \cos \eta};$$

наоборотъ если условіе не соблюдено, и переднія ноги приходится разсчитывать на растяженіе, то въ основу расчета должно принять предыдущій минимумъ, который въ данномъ случать явится максимумомъ растяженія. Остальныя соображенія тть же, что и при расчетъ заднихъ ногъ, такъ что повторять ихъ излишне.

Перейдемъ теперь къ случаю, когда переднія и заднія ноги соединены діагональными прутьями. Въ этомъ случат коперъ можно разсматривать, какъ сооружение, состоящее изъ двухъ продольныхъ, связанныхъ между собою решетчатыхъ фермъ. Расчетъ недутъ следующимъ образомъ: всъ дъйствующія силы распредълянтся по узламъ, а вертикальныя разлагаются на горизонтальныя и направленныя по вогамъ, согласно способу, указанному въ началъ главы о пирамидальныхъ копрахъ. Такъ какъ ноги состоятъ изъ неразръзныхъ брусьевъ, то силы, направленныя по нимъ, временно считаются несуществующими, и расчетъ дальше состоитъ въ разложении горизонтальныхъ силъ по направленію ногъ и тягъ. Итакъ, въ данномъ случав вовсе не безразлично, какъ прикръплены шкивныя балки къ поперечнымъ, ибо отъ способа эгого прикръпленія зависить то обстоятельство, въ какой степени горизонтальное усиліе передается переднимъ и заднимъ ногамъ (см. черт.) Въ случаъ, если балки соединены наглухо, то, соединивъ формулы (69) съ (70), получимъ равенства:

$$\omega_{_{4}} = K_{1} \omega_{_{1}}, \ \omega_{_{R}} = K_{2} \omega_{_{1}}, \ \omega_{_{1}} = K_{1} \omega_{_{2}} \ \text{if} \ \omega_{_{C}} = K_{2} \omega_{_{2}},$$

въ которыхъ

$$K_1 = rac{E_1 l_2}{E_1 l_2 + E_2 l_1}$$
 и $K_2 = rac{E_2 l_1}{E_1 l_2 + E_2 l_1}$

И такъ, горизонтальныя силы, дъйствующия по направлению оси копра, будутъ:

$$\Omega_{A} = K_{1} \omega_{1} - \frac{l_{2}}{l} \Pi_{1} \frac{\cos \alpha_{1}}{\cos \gamma_{1}}, \ \Omega_{B} = K_{2} \omega_{1} + \frac{l_{1}}{l} \Pi_{1} \frac{\cos \alpha'}{\cos \gamma'},$$

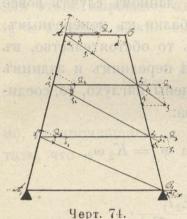
$$\Omega_{C} = K_{2} \omega_{2} - \frac{l_{2}}{l} \Pi_{2} \frac{\cos \alpha_{1}}{\cos \gamma_{1}}, \ \Omega_{D} = K_{2} \omega_{1} + \frac{l_{1}}{l} \Pi_{2} \frac{\cos \alpha'}{\cos \gamma'};$$

$$(95)$$

силы же, дъйствующія перпендикулярно оси копра-

$$\Omega_{A}' = \omega_{1}' - \frac{l_{2}}{l} \Pi_{1} \frac{\cos \beta_{1}}{\cos \gamma_{1}}, \ \Omega_{B}' = \omega_{2}' - \frac{l_{1}}{l} \Pi_{1} \frac{\cos \beta'}{\cos \gamma'},
\Omega_{C}' = \omega_{1}' + \frac{l_{2}}{l} \Pi_{2} \frac{\cos \beta_{1}}{\cos \gamma_{1}}, \ \Omega_{D}' = \omega_{2}' + \frac{l_{1}}{l} \Pi_{2} \frac{\cos \beta'}{\cos \gamma'}.$$
(96)

Во второй группъ выраженій знаки поставлены такъ, какъ будто сила Ω' и ея составляющія ω_1' и ω_2' направлены стъ A къ C; не -слъдуетъ однако забывать, что она можетъ перемънить свое направленіе, такъ что для вполнъ точнаго расчета слъдовало бы провърить сооружение и на это последнее сочетание силъ. Согласно способу при--крфпленія шкивныхъ балокъ, приходится видоизмфнять конструкціи боковыхъ фермъ, если желательно, чтобы онъ были статически опредълимыми. Расчитываютъ ихъ чаще всего при помощи метода разложенія силь по стержнямь, который въ данномъ случав удобно примънить; конечно, можно было бы съ успъхомъ примънить одинъ изъ общихъ методовъ Риттера, Кремона и пр., но въ большинствъ случаевъ указанный нами способъ не создаетъ никакихъ затрудненій. Итакъ, если шкивныя балки прикръплены неподвижно къ поперечной балк' у переднихъ ногъ, то активныя силы, какъ это намъ извъстно. передаются главнымъ образомъ переднимъ узламъ; мы можемъ принять для этого случая



$$\Omega_{_A}=\Omega_{_{AB}},$$
 $\Omega_{_C}=\Omega_{_{{
m CD}}},$

причемъ, конечно, предполагается, что

$$\Omega_{R} = \Omega_{D} = 0.$$

Ферма, соотвътствующая этому случаю, показана на чертежъ 74. Обозначеній понятны

безъ объясненій. Разлагаемъ силы, начиная отъ узла A, по направленію ноги AA_1 и стержню Ab_1 :

$$s_1' = \Omega_A \frac{\sin \delta_1}{\sin (\alpha_1 - \delta_1)}; \quad s_1 = \Omega_A \frac{\sin \alpha_1}{\sin (\alpha_1 - \delta_1)};$$

Затъмъ переносимъ точку приложенія силы ρ_1 въ точку b_1 и разлагаемъ ее по направленію связки a_1 b_1 и ноги BB_1 :

$$s_2' = \rho_1 \frac{\sin \delta_1}{\sin \alpha'}; \Omega_2 = \rho_1 \frac{\sin (\alpha' - \delta_1)}{\sin \alpha'}.$$

Перенесемъ теперь Ω_2 въ a_1 и разложимъ, какъ это было сдѣлано выше:

$$s_1'' = \Omega_2 \frac{\sin \delta_2}{\sin (\alpha_1 - \delta_2)}; \quad s_2 = \Omega_2 \frac{\sin \alpha_1}{\sin (\alpha_1 - \delta_2)}$$

ватъмъ дълаемъ разложение силъ въ точкъ b:

$$s_2{}^{''}=
ho_2rac{\sin\delta_2}{\sinlpha^{'}}$$
 и $\Omega_3=
ho_2rac{\sin(lpha^{'}+\delta_2)}{\sinlpha^{'}}$

и такъ дальше; силы σ_1' , Ω_2 , Ω_3 —растягивающія, σ_2' , ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 —сжимающія. Полное напряженіе въ нижнихъ частяхъ ногъ опредъляется силами:

$$S_1 - \Sigma s_1^i$$
 и $S_2 + \Sigma s_2^i$,

гд*n—число поясовъ фермы. Конечно, при жел*sзныхъ конструкціяхъ желательно, а при деревянныхъ необходимо, чтобы

-coordinate average with a superior
$$S_1 - \Sigma s_1^i > 0$$
.

Если задніе концы шкивныхъ балокъ закрѣплены, а передніе мотутъ скользить, то

и
$$\Omega_{_{B}}=\Omega_{_{AB}}$$
 и $\Omega_{_{D}}=\Omega_{_{CD}}$, мидеф выпределоП

причемъ, конечно,

The manufacture
$$\Omega_A = \Omega_c = 0$$
. Potois agreement the least that

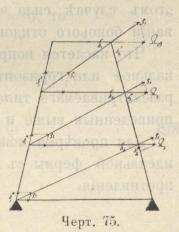
Соотвътствующая конструкція показана на черт. 75. Ходъ расчета, понятно, ничъмъ не отличается отъ указаннаго выше.

Горизонтальныя связки въ настоящемъ случат подвергаются сжатію, діагональныя стержни—растяженію:

$$s_{2}' = \Omega_{B} \frac{\sin \delta_{1}}{\sin (\alpha' - \delta_{1})}$$
 и $\rho_{1} = \Omega_{B} \frac{\sin \alpha'}{\sin (\alpha' - \delta_{1})}$

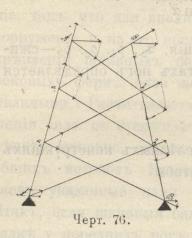
и такъ дальше.

Для проектированія не лишне замѣтить, что съ увеличеніемъ угловъ δ увеличиваются σ_1' и σ_2' и т. д, наоборстъ ρ^1 , ρ_2—умень-



шаются, что же касается силь Ω_2 , Ω_3, то онъ увеличиваются вмъстъ съ δ . Въ случаъ, если оба конца шкивныхъ балокъ прикръплены неподвижно къ поперечнымъ балкамъ, такъ что горизонтальныя силы распредъляются по всъмъ узламъ, согласно форм. (95), то примънять слъдуетъ ферму, изображенную на черт. 76, съ перекрещивающимися діагональными стержнями, причемъ, какъ соединительная балка AB, такъ и вообще всъ горизонтальныя связки являются лишними. Расчетъ

въ общемъ прежній, ходъ его достаточно ясно виденъ изъ чертежа. Стержни Ab_1 , a_1 b_2 , a_2 B_1 подвергаются сжатію, стержни же Ba_1 , b_1 a_2 , b_2 A_1 —растяженію. Если почему либо желательно примънить



кромѣ діагональныхъ еще и горизонтальныя связки, то для приблизительнаго расчета можно примѣнить методъ разбавки фермы на престѣйшія, а именно, разсчитать усилія, согласно случаямъ 1 му и 2-му, и сложить результаты. Горизонтальныя связки окажутся подвергутыми растяженію и сжатію, и потому размѣры ихъ приходится опредѣлять по разности этихъ силъ. Впрочемъ, чаще всего, если и ставятъ въ этихъ случаяхъ геризонтальныя связки, то не принимаютъ ихъ въ

расчетъ, такъ что онъ придаютъ сооруженію нъкоторый, впрочемъ неопредъленный, избытокъ прочности.

Поперечныя фермы, которыя состоять изь переднихь или заднихъ ногь, приходится снабжать скрещивающимися діагональными стержнями, такъ какъ онѣ подвергаются поперемѣнно опрокидывающимъ усиліямъ то съ той, то съ другой стороны. Если при расчетѣ продольныхъ фермъ уже принято во вниманіе максимальное давленіе вѣтра, то незачѣмъ вводить его вторично при расчетѣ поперечныхъ фермъ; въ этомъ случаѣ сила ω' опредѣляется согласно формулы (20), на основаніи бокоього отклоненія канатовъ

Что касается вопроса, какое изъ максимальныхъ усилій, вертикальное или горизонтальное должно лечь въ основу расчета копра, разсматриваемаго типа, то для этого слѣдуетъ примѣнить указанія, приведенныя выше и формулы (93).

Для провърки можно также, воспользовавшись методомъ основной идеальной фермы съ діагональной связкой, опредълить опорныя сопротивленія.

сибличий ферму, изображения на мерт. Тб. сл перекрещивающимися

Призматическо-пирамидальные копры (шестиножные).

Уравненія (57) и (58), выведенныя для основной фермы этого копра и преобразованныя для расчета силъ, будутъ:

$$t_{1} = \frac{l_{2} \Pi}{l \cos \eta},$$

$$t_{2} = \frac{(l_{1} \cos \eta \sin \zeta - l_{2} \sin \eta \cos \zeta) \Pi - l \cos \eta \cos \zeta \Omega}{l \cos \eta \sin (\zeta - \xi)},$$

$$t_{3} = \frac{(-l_{1} \cos \eta \sin \xi + l_{2} \sin \eta \cos \xi) \Pi + l \cos \eta \cos \xi \Omega}{l \cos \eta \sin (\zeta - \xi)}.$$
(97)

Въ желѣзныхъ конструкціяхъ чаще всего дѣлаютъ переднія и среднія ноги вертикальными; такъ какъ въ этомъ случаѣ

$$\cos \eta = \cos \xi = 1 \text{ и } \sin \eta = \sin \xi = 0, \text{ то}$$

$$t_1 = \frac{l_2}{l} \Pi ,$$

$$t_2 = \frac{l_1 \Pi - l \Omega}{l \lg \zeta} = \left(\frac{l_1}{l} \Pi - \Omega\right) \cos \zeta, \tag{98}$$

$$t_3 = \frac{\Pi}{\sin \zeta} .$$

Для того, чтобы въ среднихъ ногахъ имѣлось всегда сжатіе, у насъ выведено условное неравенство. Ясно, что переднія ноги приходится разсчитывать на Мах. вертикальнаго давленія. Точно также, если условное неравенство соблюдено даже при Мах. горизонтальнаго давленія, то среднія ноги приходится разсчитывать на сжатіе отъ вертикальнаго давленія. Наооборотъ, заднія ноги необходимо разсчитывать на найбольшею горизонтальное усиліе. Впрочемъ, намъ къ этому вопросу придется еще вернуться.

Расчетъ конструкцій разсматриваемаго типа можно вести двоякимъ путемъ, а именно: 1) распредълить всъ активныя силы путемъ разложенія на верхніе узлы, причемъ-вертикальныя силы окажутся приложенными во встхъ узлахъ, горизонтальныя же только въ среднихъ. 2) Вертикальныя силы у переднихъ узловъ разложить на силы, направленныя по ногамъ, и двъ горизонтальныя - по переднимъ поперечнымъ и горизонталінымъ боковымъ связывающимъ балкамъ. Затъмъ точку приложенія этихъ новыхъ горизонтальныхъ силъ перенести въ средніе узлы, на которые такимъ образомъ будетъ дъйствовать сумма указанныхъ горизонтальныхъ силъ плюсъ вертикальныя силы, которыя определены раньше. Эти вертикальныя силы мы разлагаемъ на горизонтальныя, направленныя вдоль поперечныхъ балокъ и другія, направленіе которыхъ дается прямой пересъченія вертикальной плоскости, проходящей черезъ поперечную балку, и плоскости проведенной черезъ среднюю и заднюю ногу. Теперь остается эту силу, а также раньше найденныя горизонтальныя разложить по направленію средней и задней ноги. Для опредъленія напряженій, вызываемыхъ только что найденными боковыми горизонтальными силами въ совокупности съ силами, возникающими отъ отклоненія канатовъ, отъ осевого направленія и бокового давленія в тра, мы разсматриваем заднія ноги, которыя въ связи съ горизонтальной поперечной балкой образуютъ ферму - трапецію, и въ которыхъ распредѣленіе силь обусловлено распредѣленіемъ поперечныхъ и діагональныхъ стержней. Силы эти опредъляются согласно одному изъ указанныхъ выше способовъ. Что же касается такой же средней фермы, то является вопросъ, какъ распредълить по нимъ горизонтальныя силы, направленныя вдоль поперечной балки. При настоящемъ способъ расчета этотъ вопросъ ръшается приблизительно; напримъръ: принимается, что величина ихъ пропорціональна величинъ силъ, направленныхъ по ногамъ; это довольно близко къ истинъ. Цроще, но менъе точно, раздълить горизонгальную силу поровну и принять, что каждая изъ этихъ половинъ всспринимается фермами ногъ въ отдёльности. Напряженія въ ногахъ, вычисленныя при разсмотрѣніи поперечныхъ фермъ, суммируются съ опредѣленными раньше. Что же касается того, какія максимальныя напряженія слѣдуетъ принимать при расчетъ, то указанія даны нами выше.

Конечно, величина опорныхъ сопротивленій равновелика усиліямъ въ нижнихъ частяхъ ногъ.

Приведенный нами способъ расчета довольно сложень; поэтому намъ предстоитъ прибъгнуть къ общему способу разложенія активныхъ силъ по направленіямъ частей идеальной основной фермы, которыхъ

въ данномъ случаѣ двѣ, совершенно аналогичныхъ такимъ же у пирамидальныхъ копровъ. Разложеніе можно произвести при помощи формулъ (97) или графически по способу, указанному раньше (черт. 61).

Итакъ, въ плоскости каждой изъ поперечныхъ фермъ у насъ будутъ дъйствовать силы s_1 и s_1' , s_2 и s_2' , s_3 и s_3' , которыя являются активными силами. Согласно имъ мы и ведемъ расчетъ фермы, сообра зуясь, конечно, съ ея конструкціей. Чаще всего примѣняется раздѣленіе на нѣсколько поясовъ съ діагональными, перекрещивающимися стержнями, такъ что разсчитывать ихъ приходится по способу распредъленія силъ по узламъ и затъмъ по очередному разложенію по стержнямъ. Конечно, можно примѣнить способъ Риттера или какой нибудь другой. Часто, для того чтобы имѣть свободный доступъ къ устью шахты, приходится довольствоваться только перекрещивающимися прутьями и горизонтальными связками въ верхнихъ частяхъ фермы, внизу же ноги остаются безъ скрвиленій; въ этомъ случав мы можемъ воспользоваться формулой (48). Поправку на боковое давленіе в'тра и силу, вызванную отклоненіемъ каната, можно ввести отдёльно, причемъ разпределяють это давление по узламт, а въ заднемъ узле, кроме того-еще по двумъ фермамъ, какъ указано выше. Изъ всего изложеннаго вытекаетъ, что всякія боковыя связки, соединяющія переднія ноги со средними, или эти последнія съ задними, не имеють строго опредъленнаго значенія и, если ими снабженъ коперъ, какъ это показано на черт. 37 и 38, то дълается это для устраненія бокового изгиба ногъ, такъ что эги части сооруженія не поддаются расчету; да въ этомъ и нътъ необходимости.

Для случая копровъ съ отодвинутыми подпорными ногами расчетъ въ общемъ остается такой же, но, конечно, для опредъленія силъ слъдуетъ примънить формулы, которыя въ развернутомъ видъ будутъ:

$$t_{1} = \frac{l\Omega - (l_{1} \lg \zeta + l_{2} \lg \xi) \Pi}{[l(\lg \xi - \lg \zeta) + l_{0} \lg \xi)] \cos \eta},$$

$$t_{2} = \frac{-(l + l_{0}) \Omega + [(l + l_{1}) \lg \zeta - l_{2} \lg \eta] \Pi}{[l(\lg \xi - \lg \zeta) + l_{0} (\lg \eta + \lg \xi)] \cos \xi},$$

$$t_{3} = \frac{l\Omega - [(l + l_{1}) \lg \xi + l_{1} \lg \eta] \Pi}{[l(\lg \xi - \lg \zeta) + l_{0} (\lg \eta + \lg \xi)] \cos \zeta}.$$
(99)

Для случая, который чаще всего примѣняется на практикѣ, когда переднія и среднія ноги поставлены вертикально, эти формулы

упрощаются вп виду того, что $\lg \eta = \lg \xi = 0$; такъ что

$$t_{1} = \frac{-l\Omega + l_{1} \operatorname{II} \operatorname{tg} \zeta}{l \operatorname{tg} \zeta},$$

$$t_{2} = \frac{(l+l_{0})\Omega - (l+l_{1}) \operatorname{II} \operatorname{tg} \zeta}{l \operatorname{tg} \zeta},$$

$$t_{3} = -\frac{\Omega}{\sin \xi}.$$
(100)

Для копровъ, въ которыхъ подпорныя ноги подведены непосредственно подъ шкивныя балки, общія выраженія для силъ, дѣйствующихъ въ поперечныхъ фермахъ, могутъ быть наиисаны слѣдующимъ образомъ:

$$t_{1} = -\frac{\left[l_{1}\sin(\xi-\zeta) - (l_{1}+l_{0})\cos\zeta\sin\xi + l\cos\eta\sin\zeta\right]\Pi + \left[l_{1}+l_{0}\cos\zeta\cos\xi - l\cos\eta\cos\zeta\right]\Omega}{(l_{1}+l_{0})\sin(\xi+\eta)\cos\zeta - l\cos\eta\sin(\zeta+\eta)},$$

$$t_{2} = -\frac{\left[l_{1}\sin(\xi+\eta) - (l_{1}+l_{0})\cos\zeta\sin\eta\right]\Pi - (l_{1}+l_{0})\cos\zeta\cos\eta\Omega}{(l_{1}+l_{0})\sin(\xi-\eta)\cos\zeta - l\cos\eta\sin(\zeta+\eta)}, \quad (101)$$

$$t_{3} = \frac{\left[l_{1}\sin(\xi+\eta) - l\cos\eta\sin\eta\right]\Pi - l\cos^{2}\eta\Omega}{(l_{1}+l_{0})\sin(\xi+\eta)\cos\zeta - l\cos\eta\sin(\zeta+\eta)},$$

эти формулы значительно упрощаются, если подпорныя ноги непосредственно подведены подъ шкивы, и если заднія и средьія ноги наклонены одинаково. Если среднія и заднія ноги поставлены вертикально, то формулы эти примутъ видъ--

$$t_{1} = l_{2} \frac{\coprod \sin \zeta - \Omega \cos \zeta}{l \sin \zeta} = \frac{l_{2}}{l} \left(\Pi - \frac{\Omega}{\lg \zeta} \right),$$

$$t_{2} = l_{1} \frac{\prod \sin \zeta - \Omega \cos \zeta}{l \sin \zeta} = \frac{l_{1}}{l} \left(\Pi - \frac{\Omega}{\lg \zeta} \right), \tag{102}$$

$$t_{3} = \frac{\Omega}{\lg \zeta}.$$

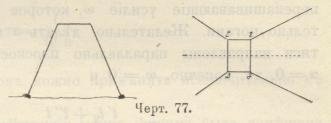
Разсмотримъ теперь конструкцію копра, изображеннаго на черт. 34. Коперъ этотъ въ самомъ упрощенномъ видѣ можетъ быть предсталенъ схемой, изображенной на черт. 77. Въ центрѣ шкивовъ дѣйствуютъ горизонтальныя силы U_1 , U_2 и вертикальныя P_1 P_2 . Очевидно, что крайнів

подушки воспринимають усилія $\frac{1}{2}$ U_1 и $\frac{1}{2}$ U_2 , $\frac{1}{2}$ P_1 и $\frac{1}{2}$ P_2 , а среднія— $\frac{1}{2}$ (U_1+U_2) и $^1/_2$ (P_1+P_2). Эти силы въ свою очередь передаются посредствомъ балокъ CD и EF узламъ, такъ что въ C и F будутъ дъйствовать вертикальныя силы $\frac{1}{8}$ (3 P_1+P_2) и вдоль балки DF – горизонтальная сила $\frac{1}{4}$ (3 U_1+U_2) Съ другой стороны копра будутъ дъйствовать аналогично: $\frac{1}{8}$ (P_1+3 P_2) и $\frac{1}{4}$ (U_1+3 U_2). Дальнъйшій расчетъ можно вести: или разлагая вертикальныя силы по ногамъ и горизонтальнымъ направленіямъ CF, CD, DE и EF, или же при помощи идеальной фермы, построенной аналогично боковымъ фермамъ копра, если ноги соединены между собою неизмъняемо при помощи торизонтальныхъ или наклонныхъ связокъ, не доходящихъ до опоръ. Въ этомъ случаѣ проведимъ вертикальныя плоскости черезъ CF DE. Если плоскости переднихъ и заднихъ ногъ наклонены къ вертикальнымъ подъ углами η и ξ , то положивъ

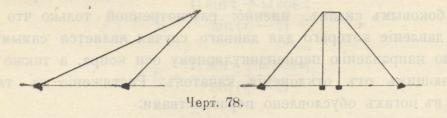
$$\Omega' = \frac{1}{4} (3 \ U_1 + U_2); \ \Pi' = \frac{1}{4} \ (P_1 + 3 \ P_2) \ \ \text{if} \ \ l_1 = l_2 = \ \frac{1}{2} \ l,$$

при помощи формуль (48) опредѣлимъ t' и t_1' , дѣйствующія въ плоскостяхъ BCDA и GFEK у узловъ C и F. Такимъ же точно способомъ вычисляемъ силы t'' и t''_1 у узловъ D и E. Дальнѣйшій расчетъ сводится къ разсмотрѣнію фермъ, составляемыхъ передними и задними ногами, подобно тому, какъ мы это видѣли при пирамидальныхъ копрахъ.

Разсмотримт теперь коперъ, упрощенная схема котораго можетъ быть представлена черт. 78; описаніе его дано при черт. 28; заднія ноги замѣнены гибкими тягами, ка-



натами, такъ что активныя силы дъйствуютъ въ вершинъ треугольной фермы. Разсматриваемый случай подходитъ къ формуламъ (36); всъ углы здъсь отрицательные.



Такъ какъ намъ желательно получить не сразу напряженія, а силы, дъйствующія въ плоскостяхъ фермъ, то, перемънивъ знаки

и развернувъ эти выраженія, получимъ:

$$t_{1} = \frac{-\prod \sin \xi + \Omega \cos \xi}{\sin (\eta + \xi)},$$

$$t_{2} = \frac{\prod \sin \eta - \Omega \cos \eta}{\sin (\eta - \xi)},$$

$$(103)$$

Въ вертикальныхъ съченіяхъ, проведенныхъ черезъ шкивы, будутъ дъйствовать силы t_1' и t_1'' , растягивающія ферму гибкихъ тягъ и t_2' и t_2'' , сжимающія ноги.

Найдемъ силы дъйствующія на тяги, разлагая указанныя силы по направленіямъ тягъ и поперечному направленію; согласно чертежа будемъ имъть:

$$\sigma_{1}' = \frac{t' l_{1} + t'' l_{2}}{l \cos \alpha}; \ \sigma_{1}'' = \frac{t' l_{1} + t'' l_{2}}{l \cos \alpha};$$

боковое опрокидывающіе усиліе, возникающее отъ дѣйствія силъt' и t'', будетъ

$$\omega = (t' - t'') \frac{l_2 - l_1}{l} \operatorname{tg} \alpha,$$

гдѣ $l_2 - l_1 = l_0$ не что иное, какъ разстояніе шкивовъ или осей подъемныхъ отдѣленій между собою. Итакъ, съ увеличеніемъ α возростаютъ, какъ растягивающія напряженія въ тягахъ σ_1 и σ_1 , такъ и перекашивавающіе усиліе ω , которое можетъ быть воспринимаемо только ногами. Желательно дѣлать α по возможности малымъ. Если тяги направлены параллельно плоскости симметріи копра, то есть $\alpha = 0$, то, конечно, $\omega = 0$ и

$$\sigma_1' = \frac{t' l_2 + t'' l}{l}, \ \sigma_1'' = \frac{t' l_1 + t'' l_2}{l}.$$

Ферма ногъ подвержена дъйствію сжимающихъ силъ t_2 и t_2 , направленныхъ вдоль ея оси. Кромѣ того она должна противостоять всѣмъ боковымъ силамъ, именно: разсмотренной только что ω , силѣ вѣтра, давленіе котораго для даннаго случая является самымъ опаснымъ по направленію перпендикулярному оси копра, а также силамъ, возникающимъ отъ отклоненія канатовъ. Растяженіе въ тягахъ и сжатіе въ погахъ обусловлено неравенствами:

$$-\Pi\sin\xi + \Omega\cos\xi < 0$$
 и $\Pi\sin\eta - \Omega\cos\eta > 0$,

что въ свою очередь сводится къ неравенствамъ:

$$arepsilon$$
 . The sum of the property of $arepsilon$ is $arepsilon$. The sum of the property of $arepsilon$ is $arepsilon$. The sum of $arepsilon$ is $arepsilon$ in $arepsilon$ in

впрочемъ, первое неравенство предрѣшаетъ второе, такъ какъ $\eta > \xi$. Изъ этихъ неравенствъ крочѣ того слѣдуетъ, что при настоящемъ расположении копра относительно машины какъ найбольшая величина растяженія, такъ и сжатія имфють мфсто при Мах. П; слфдовательно, коперъ разсчитывается на разрывъ нижняго каната у шкивовъ. Объ тяги, такъ же, какъ и ноги, дълаютъ, конечно, одинаковыхъ размфровъ, соотвътствующихъ большему изъ напряженій. Если имъется средняя тяга, то расчетъ въ общемъ не мѣняется, но растягивающія усилія приходится распредълять на эти три направленія. Расчетъ фермы ногъ не отличается отъ другихъ этого рода расчетовъ, поэтому мы здёсь его разсматривать не станемъ.

Вмѣсто того, чтобы расширять у основанія разстояніе ногъ, копры этого типа снабжають иногда боковыми тягами ОД и О'Е; назначение ихъ противодъйствовать боковымъ опрокидывающимъ силамъ. Эти тяги легко можно разсчитать, исходя изъ того предположенія, что все боковое давление воспринимаетсь одной тягой и одной ногой. Если это давленіе U, то сила, вытягивающая тягу OD, будетъ

$$\sigma' = rac{U}{\sin\delta}$$
, а сила, сжимающая ногу— $\sigma = rac{U}{ ag{tg}\,\delta}$

$$\sigma = \frac{U}{\operatorname{tg \delta}}$$

Разсмотрѣнный типъ копровъ можно примѣнять исключительно къ небольшимъ подъемамъ.

Еслибы при такой же конструкціи копра машина была пом'вщена не съ лѣвой, а съ правой стороны (какъ на чертежѣ), то уравненіе для силь, дъйствующихъ въ объихъ фермахъ, примутъ видъ:

$$t_1 = -\frac{\Pi\sin\xi + \Omega\cos\xi}{\sin(\eta - \xi)},$$

$$t_2 = \frac{\Pi \sin \eta + \Omega \cos \eta}{\sin (\eta - \xi)},$$

ибо г-положительная величина. Выраженія эти показывають, что въ тягахъ будетъ имъть мъсто растяжение, а въ ногахъ-сжатие при

всевозможныхъ значеніяхъ P и U,—даже и тогда, когда машина поставлена у самой шахты, такъ, что U=0. Кромѣ того, эти же формулы показываютъ, что съ увеличеніемъ P или U возрастаетъ, какъ t_1 , такъ и t_2 .

Сравнимъ величины силъ t при разрывѣ верхняго и нижняяго каната (абсолютныя):

$$-t'_1 = \frac{\sigma(1+\cos\alpha_1)\sin\xi + \sigma\sin\alpha_1\cos\xi}{\sin(\eta-\xi)}$$
 (для верхняго),

$$-t_1'' = rac{\sigma(1+\coslpha_2)\sin\xi + \sigma\sinlpha_2\cos\xi}{\sin\left(\eta - \xi
ight)}$$
 (для нижняго)

Для того. чтобы опредълить, какая изъ нихъ больше, вычтемъ одну изъ другой; въ такомъ случаъ будемъ имъть:

(
$$\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2$$
) $\sin \xi + (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2) \cos \xi \ge 0$;

преобразуемъ это неравенство такъ:

$$-2\sin\frac{\alpha_1+\alpha_2}{2}\sin\frac{\alpha_1-\alpha_2}{2}\sin\xi+2\cos\frac{\alpha_1+\alpha_2}{2}\sin\frac{\alpha_1-\alpha_2}{2}\cos\xi \gtrsim 0,$$

или

$$1 \gtrsim \operatorname{tg} \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \operatorname{tg} \xi$$
 .

Въ случат наличности перваго неравенства, расчетъ приходится вести на разрывъ верхняго каната, въ случат же второго - на разрывъ нижняго.

Для ногъ мы можемъ получить аналогичное выражение:

$$1 \gtrsim \operatorname{tg} \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \operatorname{tg} \eta.$$

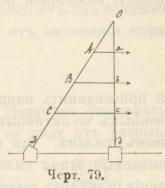
Такъ какъ $\eta > \xi$, то нижнія неравенства слѣдують одно изъ другого, но верхнія могутъ и не совпадать. Наше разсужденіе относится къ цилиндрическимъ бабанамъ и основано на формулахъ (25, 26). Понятно, что здѣсь $\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$ есть уголъ средняго уклона равнодѣйствующихъ.

Намъ остается еще сдълать нъсколько замъчаній, касающихся расчета крупныхъ надшахтныхъ копровъ. Эти копры строятся въ

настоящее время главнымъ образомъ по типу англійскихъ двуножныхъ или же комбинированныхъ шестиножныхъ. Въ общемъ, способъ расчета этихъ сооруженій разсмотрѣнъ нами раньше, здѣсь-же намъ придется заняться нѣкоторыми конструктивными особенностями.

Если имѣются горизонтальныя продольныя связки, соединяющія наклонныя ноги съ вертикальными (схем. черт. или болѣе детальный

черт. 33), то для точности расчета необходимо ввести ихъ въсъ и пр. Назовемъ въсъ половины наклонной фермы между O и A череєъ g_1 , между A и $B-g_2$ и т. д. Въсъ горизонтальной связки A a пусть будетъ g', B b-g''.... Распредълимъ давленіе отъ силы тяжести по узламъ въ предположеніи, что центры тяжести разсматриваемыхъ частей находятся по серединъ ихъ длины. Мы находимъ, что въ узлахъ O, A, B, C и опоръ D дъйствуютъ вертикальныя силы:



$$\frac{g_1}{2}$$
, $\frac{g'+g_1+g_2}{2}$, $\frac{g''+g_2+g_3}{2}$, $\frac{g''+g_3+g_4}{2}$, $\frac{g_4}{2}$,

которыя распредъляются по направленію горизонтальныхъ связокъ и вдоль частей наклонныхъ ногъ. Первыя изъ этихъ силъ будутъ:

$$\frac{g_1}{2} \operatorname{tg} \xi, \frac{g' + g_1 + g_2}{2} \operatorname{tg} \xi, \frac{g'' + g_3 + g_4}{2} \operatorname{tg} \xi, \frac{g_4}{2} \operatorname{tg} \xi.$$

Части наклонной ноги подвергнуты нижеслѣдующимъ сжимающимъ усиліямъ:

Часть
$$OA$$
—усилію $s_1{'}=rac{g_1}{2\cos \xi}$

Часть
$$AB$$
 " $s_1^{''} = \frac{2g_1 + g' + g_2}{2\cos \xi}$

Часть
$$BC$$
 " $s'''_1 = \frac{2g_1 + 2g_2 + g' + g'' + g_3}{2\cos\xi}$

ИТ. Л.

Эти самыя силы, направленныя перпендикулярно вертикальной ногѣ, передаются частью узлу O, частью непосредственно опорамъ. Если черезъ H обозначимъ высоту всего копра, черезъ h_1 , h_2 , h_3 , — высоты связокъ надъ горизонтомъ, то, на основаніи равенства момен•

товъ, равнодъйствующая ихъ въ узлъ О опредълится формулой:

$$U_1 = \frac{\lg \xi}{2H} [g_1 h_1 + (g' + g_1 + g_2) h_2 + \ldots + (g''' + g_2 + g_4) h_4]$$

Эту силу U_1 (горизонтальную) мы можемъ разложить чо направленію наклонной ноги и вертикальной такъ:

$$s_1^0=-rac{U_1}{\sin \xi}, \quad s_2^0=rac{U_1}{ ext{tg}\,\xi}$$

и присоединить напряженія, вызываемыя этими силами, къ опредѣленнымъ по активнымъ силамъ, или просто присоединить U_1 къ активнымъ силамъ. Что касается силъ s_1 , s_1 и т. д., то напряженія вызываемыя этими силами, вводятся въ расчетъ постепенно при опредѣленіи размѣровъ соотвѣтственныхъ частей. Если вѣса частей вертикальной ноги Oa, ab, bc, и т. д. обозначимъ g_1 ; g_2 и т. д. то напряженія въ частяхъ ихъ будутъ обусловлены силами:

$$q_1,q_1+q_2+rac{g^{\prime}}{2},q_1+q_2+q_3+rac{g^{\prime}+g^{\prime\prime}}{2}$$
 и т. д.

Напряженія, вызываемыя давленіемъ вѣтра, мы можемъ разсчитать такимъ же образомъ; вся разница заключается лишь въ томъ, что намъ приходится разлагать давленіе, нормальное къ ногамъ, на горизонтальное и направленное по нимъ. Если давленіе вѣтра на части OA, AB, BC и т. д. назовемъ Q_1 , Q_2 , Q_3 , то въ узлахъ O, A, B... будутъ дѣйствовать горизонтальныя силы:

$$\frac{Q_1}{2\cos\xi}, \frac{Q_1+Q_2}{2\cos\xi}, \frac{Q_2+Q_3}{2\cos\xi};$$

а силы, направленныя по ногѣ, будутъ:

$$\frac{Q_1}{2} \lg \xi, \frac{Q_1 + Q_2}{2} \lg \xi, \frac{Q_2 + Q_3}{2} \lg \xi.$$

Эти силъ мы вводимъ въ расчетъ на тъхъ же основаніяхъ, какъ и силы, возникающія отъ въса частей копра.

Расчетъ напряженій отъ подъемнаго механизма можно производить по общему способу, именно—разложить силы, сосредоточенныя въ центрахъ шкивовъ, по направленіямъ, получаемыхъ пересѣченіемъ вертикальной плоскости, проведенной черезъ шкивъ параллельно оси копра, съ плоскостями ногъ. Такимъ образомъ опредълятся силы, дъйствующія вдоль осей наклонной и вертикальной фермы. Равнодъйствующія силъ тяжести и давленій вътра, отнесенныя къ вершинъ копра, разлагаемъ по тому же способу; точки приложенія этихъ силъ лежатъ въ точкахъ соприкосновенія переднихъ и заднихъ ногъ копра.

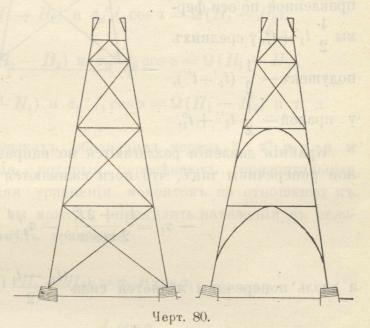
Однако для полнаго расчета неообходимо принять во вниманіе еще и боковыя опрокидывающія силы, которыя состоять изъ бокового давленія вѣтра v_1 и натяженій p, возникающихъ отъ оклоненія канатовъ; такимъ образомъ

$$\omega = v_1 + p.$$

Силу ω мы относимъ къ фермѣ заднихъ ногъ. Незачѣмъ упоминать, что наклонную ферму приходится разсчитывать на силу отъ разрыва

верхняго каната, а вертикальную на разрывъ нижняго. Для примъра произведемъ алгебраическій расчетъ двухъ типическихъ фермъ, часто встръчающихся въ существующихъ сооруженіяхъ.

Слѣдуетъ замѣтить, что хорошо заранѣе подсчитать, которое изъ давленій вѣтра осевое или боковое вызываетъ болѣе значительныя напряженія въ ногахъ; въ окончательный



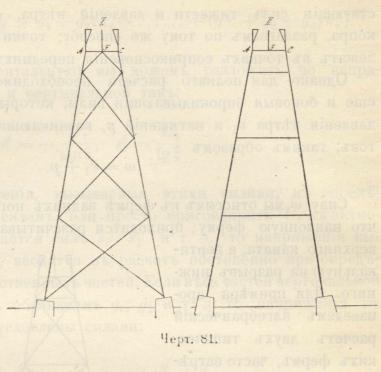
расчеть, конечно, слѣдуетъ принимать большее изъ нихъ. Боковое давленіе вѣтра мы относимъ, конечно, къ вершинѣ копра, т. е. къ пересѣченію ногъ. Понятно, о можетъ быть направлено какъ въ ту такъ и въ другую сторону. Фермы представленныя на черт. 80, какъ видно даже изъ бѣглаго разсмотрѣнія ихъ, принадлежатъ къ статически неопредѣленнымъ, въ виду чрезмѣрно большаго числа сосдинительныхъ стержней. Мы устранимъ въ первой горизонтальныя связки, а во второй діагональныя, а также подкосы, назначеніе которыхъ поддерживать помосты п. Тогда у насъ явятся упрощенныя фермы черт. 81 стр. 124).

Горизонтальную силу мы будемъ считать перенесенной на поперечину AC. Это достигается, конечно перерасчетомъ момента по отношенію къ опорамъ тѣхъ силъ, которыя приложены выше. Итакъ, если высота приложенія центра бокового давленія вѣтра — H_2 высота

расположенія шкивовъ $-H_1$, а высота копра до соприкосновенія ногъ-H, то

$$\omega H = \omega_1 H_1 + p H_2.$$

Въ объихъ фермахъ верхнія части одина-ковы; если t_1' и t_1'' — слагающія активныхъ силъ отъ подъема, t_1^0 — прочихъвнъшнихъсилъ то у лѣвой подушки имъется давленіе, направленное по оси фермы $\frac{1}{2}$ $t_1''+t_1^0$, у среднихъ подушекъ— $\frac{1}{2}$ $(t_1'+t'')$, у правой— $\frac{1}{2}$ $t_1'''+t_1^0$.



Крайнія давленія разлагаются по направленію ногъ и горизонтальной поперечины такъ, что ноги сжимаются силами:

$$-\sigma_{1}' = \frac{t_{1}' + 2t_{1}^{0}}{2\cos\alpha}, -\sigma_{2}' \frac{t''_{1} + 2t_{1}^{0}}{2\cos\alpha},$$

 \mathbf{a} вдоль поперечины является сила $\frac{(t_1'-t_1'')}{2}$ tg \mathbf{a} .

Давленія отъ среднихъ подушенъ передается узлу F; кромѣ того, въ этой же точкѣ мы можемъ считать сосредоточенными всѣ горивонтальныя силы $\pm \omega + \frac{t_1' - t_1''}{2} \operatorname{tg} \alpha$, которыя вмѣстѣ съ прежними осевыми воспринимаются подкосами. Лѣвый подкосъ подверженъ сжимающему усилію—

$$\tau_1 = \frac{t'_1 + t'_1}{4\cos\beta} - \frac{t'_1 - t'_1}{4\sin\beta} \operatorname{tg} \alpha \pm \frac{\omega}{2\sin\beta}.$$

Подкосы наклонены къ вертикали подъ угломъ β; правый подкосъ сдавленъ силою –

$$\tau_{2} = \frac{t' + t_{1}''}{4\cos\beta} + \frac{t'_{1} - t_{1}''}{4\sin\beta} \operatorname{tg} \alpha \pm \frac{\omega}{2\sin\beta}.$$

а слъдовательно горизонтальная сила, дъйствующая вдоль первой. связки, будетъ

$$\Omega = \omega_0 - \omega_1$$

а послъ подстановокъ-

$$\Omega = \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}\right) \left[\pm \omega + (t_1 - t_1'') \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2}\right].$$

Для дальнъйшаго разсчета мы будемъ полагать, что въ узлъ приложена активная сила Ω ; вспомогательныя съченія даютъ намъ возможность составить уравненія моментовъ относительно полюсовъ— узловъ:

$$\begin{split} \sigma_1{}'' \, l_2 \cos \alpha &= - \, \Omega \, (H_1 - H_2) \ \text{ и } \ \sigma_2{}'' \, l_2 \cos \alpha = \Omega \, (H_1 - H_2), \\ \sigma_1{}''' \, l_3 \cos \alpha &= - \, \Omega \, (H_1 - H_3) \ \text{ и } \ \sigma_2{}''' \, l_3 \cos \alpha = \Omega \, (H_1 - H_3), \\ \sigma_1{}^{\text{\tiny IV}} \, l_4 \cos \alpha &= - \, \Omega \, (H_1 - H_4) \ \text{ и } \ \sigma_2{}^{\text{\tiny IV}} \, l_4 \cos \alpha = \Omega \, (H_1 - H_4) \ \text{ и } \ \text{ т. } \ \text{ д.} \end{split}$$

Если напряженія въ связкахъ обозначимъ черезъ о', о" и т. д. и станемъ проводить съченія, которыя пересъкаютъ горизонтальныя связки и ноги, то, составляя уравненія моментовъ по отношенію къ узламъ, находящимся ниже, мы можемъ опредълить натяженія въ связкахъ. Именно мы будемъ имъть уравненіе:

$$(\sigma' + \Omega) (H_1 - H_2) = \sigma_2' l_2 \cos \alpha,$$

откуда-

$$\sigma' = -\Omega + \sigma_2' \frac{l_2 \cos \alpha}{H_1 - H_2};$$

далће -

$$\sigma''(H_2 - H_1) = \sigma_2'' l_3 \cos \alpha - \Omega (H_2 - H_3),$$

откуда-

$$\sigma'' = -2 \frac{H_1 - H_3}{H_2 - H_2} + \sigma_2'' \frac{l_3 \cos \alpha}{H_2 - H_1};$$

затъмъ —

$$\sigma^{\prime\prime\prime} (H_2 - H_3) = \sigma_2^{\prime\prime\prime} l_4 \cos \alpha - \Omega (H_1 - H_4)$$
 и т. д.

Для опредъленія напряженій въ нижей связкъ - лежнъ мы можемъвоспользоваться ур. статическаго равновъсія:

$$\sigma' + \sigma'' + \sigma'' + \dots + \sigma^{(n)} + \Omega = 0;$$

Дальнѣйшій ходъ разсчета различенъ для той или другой фермы и поэтому намъ придется разсматривать ихъ особо. Ферму показанную на черт. І мы разсчитаемъ, примѣняя способъ поочереднаго разложенія силъ, для фермы же изображенной на черт. ІІ, примѣнимъ методъ Риттера.

Итакъ разлагаемъ τ_1 по направленію ноги и діагональнаго счержня, наклоненіе котораго къ вертнкали γ найдемъ изъ формулы:

$$\sigma_1'' = \tau_1 \frac{\sin{(\gamma + \beta)}}{\sin{(\gamma + \alpha)}} \pi \ \rho_1 = \tau_1 \frac{\sin{(\beta + \alpha)}}{\sin{(\gamma + \alpha)}}$$

отъ праваго подкоса получимъ аналогично:

$$\sigma_{2}'' = \tau_{1} \frac{\sin{(\gamma + \beta)}}{\sin{(\gamma + \alpha)}} \, \mu \, \rho' = \tau_{2} \frac{\sin{(\beta + \alpha)}}{\sin{(\gamma + \alpha)}}$$

Напряженія σ_1'' и σ_2'' —сжимающія ρ_1 и ρ' — растягивающія. При слѣдующихъ узлахъ разложеніе усилій, передаваемыхъ стернями, дастъ намъ формулы:

$$\sigma_{1}^{""} = \rho' \frac{\sin(\delta + \gamma)}{\sin(\alpha + \delta)}, \quad \rho_{11} = \rho' \frac{\sin(\gamma - \alpha)}{\sin(\alpha + \delta)}$$

$$\sigma_{2}^{""} = \rho_{1} \frac{\sin(\delta + \gamma)}{\sin(\alpha + \delta)}, \quad \rho'' = \rho_{1} \frac{\sin(\gamma - \alpha)}{\sin(\alpha + \delta)},$$

гдѣ силы $\sigma_1^{\prime\prime\prime}$ и $\sigma_2^{\prime\prime\prime}$ —растягивающія ρ_n и ρ'' —сжимающія. Итакъ, общія напряженія внизу ногъ опредѣляются выраженіями:

$$\begin{split} \sigma_1 &= \sigma_1{'} + \sigma_1{''} - \sigma_1{'''} + \sigma_1{^{1v}} - \sigma_1{^v} + \ldots + \sigma_1{^{2n}} - \sigma_1{^{2n+1}}, \\ \sigma_2 &= \sigma_1{'} + \sigma_2{''} - \sigma_2{'''} + \ldots + \sigma_2{^{2n}} - \sigma_1{^{2n+1}}. \end{split}$$

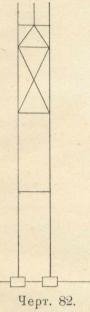
Изъ этихъ выраженій видно, что стержни сжаты и вытянуты поперемѣнно,—четные сжаты, а нечетные растянуты.

Разсмотримъ теперь второй случай—ферму съ горизонтальными связками; силы, направленныя по подкосамъ, разлагаемъ по направленіямъ ногъ и связокъ:

$$\begin{split} &\sigma_{1}{'}=\tau_{1}\,\frac{\cos\beta}{\cos\alpha} \text{ и } \omega_{1}\!=\!\tau_{1}\frac{\sin{(\beta-\alpha)}}{\cos\alpha},\\ &\sigma_{2}{'}=\tau_{2}\,\frac{\cos\beta}{\cos\alpha} \text{ и } \omega_{2}\!=\!\tau_{2}\frac{\sin{(\beta-\alpha)}}{\cos\alpha}, \end{split}$$

если вс \mathfrak{t} (n-1) напряженій уже опред \mathfrak{t} лены, то напряженіе n—ое получится какъ разность Ω и суммы вс \mathfrak{t} хъ найденныхъ напряженій.

Вертикальныя ноги соединяются діагональными и поперечными связками, образуя ферму, показанную на черт. 82. Ходъ расчета въ



общемъ не отличается отъ расчета наклонной фермы; впрочемъ онъ нѣсколько проще; именно, въ только что выведенныхъ формулахъ слѣдуетъ принять $\alpha=0$. Такимъ образомъ:

$$\sigma_{1}' = \frac{t' + 2 t^{0}}{2}$$
 и $\sigma_{2}' = \frac{t'' + 2 t^{0}}{2}$.

Подкосы сжимаются силами:

$$\tau_1 = \frac{t' + t''}{4\cos\beta} = \tau_2.$$

Черт. 82. Горизонтальныя силы, возникающія отъ давленія вѣтра и отъ отклоненія канатовъ, воспринимаются наклонной фермой, такъ что въ данномъ случаѣ $\omega=0$.

Въ объихъ фермахъ необходимо ввести еще поправку, касающуюся собственннаго въса. Въ расчетъ наклонной фермы приходится, конечно, ввести не въсъ частей, а слагающую его, направленную параллельно оси фермы. Въсъ частей распредъляется по узламъ, поправки, касающіяся его, можно вычислять отдъльно и — затъмъ присоединить ихъ къ числовымъ величинамъ, полученнымъ при расчетъ главныхъ силъ.

Горизотальныя связки играють часто роль подпорных балокъ для помостовъ на разгрузочных горизонтахъ; въ этомъ случав ихъ приходится разсчитывать еще на грузъ, воспринимаемый помостами, также какъ и подкосы, поддерживающіе эти балки. Этимъ подкосамъ придають часто форму арокъ.

Когда опредълены сжимающія и растягивающія усилія, дъйствующія вдоль частей пространственной фермы копра, приступають къ вычисленію размъровъ ихъ. Эти части опять таки ръшетчатыя фермы, обыкновенно статически неопредълимыя въ виду слишкомъ большого количества діагональныхъ и поперечныхъ связокъ. Обыкновенно, не затрудняясь точнымъ разсчетомъ, принимаютъ, что силы передаются главнымъ панелямъ, для которыхъ выбираютъ соотвътственное по размърамъ съчение фасоннаго желъза. Роль связывающихъ прутьевъ сводится такимъ образомъ къ приданию жесткости фермъ и устранению продольныхъ изгибовъ. Впрочемъ, они разсчитываются тъмъ не менъе на продольный изгибъ—на случай сжатия, такъ какъ длина ихъ обыкновенно значительна.

боминовенно статически неопред намыя вы выду слишком в большого

apporter of the country of the count

Напражения од и до предостивност да по растасност

distribute the first of

