

С. Ю. Доборжинскій.

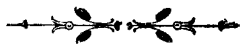


# МАТЕРІАЛЫ и ИЗСЛѢДОВАНІЯ

ПО ТЕОРИИ и РАСЧЕТУ

# НАДШАХТНЫХЪ СООРУЖЕНІЙ.

*Стр. 1—64 и табл. 1.*



ТОМСКЪ.

Типо-литогр. Сибирк. Г—ва Печати. Дѣла, уг. Дворянск. ул. и Ямск. пер., соб. л.

1910.

## ПРЕДИСЛОВІЕ.

Несмотря на огромное развитіе современнаго горнаго дѣла, литература, касающаяся подъемныхъ сооруженій, довольно скудна. Почти во всякомъ учебникѣ горнаго искусства или подъемныхъ машинъ отводится нѣсколько страницъ надшахтнымъ зданіямъ, даются схематическіе чертежи ихъ, для поясненій общей идеи конструкціи, и этимъ ограничиваются; что же касается силъ, дѣйствующихъ на эти сооруженія, то въ упомянутыхъ учебникахъ не идутъ обыкновенно далѣе построения параллелограмма силъ отъ натяженія каната грузомъ и машиной.

Въ монографіяхъ нѣкоторыхъ рудничныхъ раіоновъ можно найти болѣе детальныя чертежи выдающихся по своей солидности сооруженій и пояснительныя записки къ нимъ, касающіяся главнымъ образомъ размѣровъ и конструкцій. Изъ спеціальной литературы можно привести слѣдующія сочиненія: на нѣмецкомъ языкѣ имѣются: „Die Seilscheiben-Gerüste der Bergwerke,“ А. Eichenauer. Leipzig, 1877 (переведено на русскій языкъ гор. инж. Б. Файвишевичемъ). Это, пожалуй, единственный трудъ, въ которомъ надшахтныя сооруженія разсматриваются въ нѣкоторой системѣ, но въ настоящее время эта работа отчасти устарѣла, не соотвѣтствуетъ современнымъ воззрѣніямъ статики сооруженій, и въ способахъ разчета встрѣчаются ошибки. Появившаяся недавно французская брошюра подъ заглавіемъ „Les chassis á moletts, disposition et calcul,“ par L. Lemaire. Paris, 1906 даетъ намъ примѣры заводскаго разчета надшахтныхъ зданій, примѣняемыхъ въ Бельгii и сѣверной Франціи. Тотъ же характеръ носить „Углеподъемныя устройства для большихъ глубинъ“ Томсона переводъ изъ „Glückauf“. Довольно обстоятельныя описанія и чертежи имѣются въ „The Mechanical Engineering of Collieries“ Т. Campbell Futers, кое какія примѣры почерпнуты мною изъ „The Engineering and Mining Journal 1903.

Вотъ и все, по крайней мѣрѣ—все то, что мнѣ удалось раздобыть и использовать.

Надшахтныя зданія однако строятся и существуютъ, а стало быть рассчитываются, но какъ ведутся эти расчеты въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ извѣстно только строящему ихъ заводу, или вѣрнѣе его техническому бюро; въ виду этого о какомъ-нибудь общепринятомъ приѣмѣ, конечно, и рѣчи быть не можетъ.

Цѣль настоящей работы состоитъ въ пополненіи указаннаго пробѣла; я хочу дать возможность заинтересованнымъ лицамъ если не проектировать, то по крайней мѣрѣ провѣрять представленные имъ проекты безъ лишней затраты времени на подысканіе методовъ расчета. Я говорю, „не проектировать“, такъ какъ самый рациональный проектъ, составленный внѣ завода, можетъ оказаться на дѣлѣ трудно выполнимымъ и дорогостоящимъ, ибо только заводскіе техники въ состояніи считаться съ наличными средствами своего завода, и потому выгоднѣе всего поручать имъ и само проектированіе. Одновременно съ этимъ настоящая работа можетъ являться пособіемъ для студентовъ при изученіи вопроса о копрахъ и ихъ проектированіи.

Кромѣ указанныхъ выше сочиненій я пользовался еще нижеслѣдующими: „Устойчивость деформаций и статика сооружений“ профессора Ф. С. Ясинскаго, „Справочная книга“ заслуженнаго профессора Ив. Тиме и „Podrecznik Statyki Budowli“ Maks. Thu Nie. Во время печатанія настоящей работы появилось сочиненіе: „Das Fördergerüst“. Th. Mörle'я, которое, конечно, не могло быть использовано.

## ВВЕДЕНИЕ.

Постепенное развитіе надшахтныхъ сооруженийъ можно охарактеризовать слѣдующими стадіями: 1) ручной воротъ, 2) конный воротъ, при которомъ является уже какі необходимое приспособленіе маленькій шкивной станокъ, 3) деревянные легкіе копры при наличности паровой подъемной машины, дальше 4) каменные или кирпичныя надшахтныя башни и одновременно болѣе солидныя деревянныя сооруженія и наконецъ 5) желѣзные копры, состоящіе изъ разнообразныхъ рѣшетчатыхъ фермъ

До тѣхъ поръ, пока разработка ископаемыхъ производится на незначительной глубинѣ, и производительность рудника не велика, надшахтныя сооруженія дѣлаются легкой конструкціи, такъ какъ въ этомъ случаѣ машины небольшой силы, канаты тонки и поднимаемый грузъ малъ.

Тамъ, гдѣ промышленность развивалась постепенно, какъ это имѣло мѣсто въ западной Европѣ, производительность рудниковъ увеличивалась тоже постепенно одновременно съ увеличеніемъ глубины шахтъ. Къ новымъ условіямъ приспособлялись и надшахтныя зданія, и типъ ихъ вырабатывался тоже постепенно.

Въ старыхъ шахтахъ, гдѣ уже нельзя было увеличить поперечныхъ размѣровъ подъемныхъ отдѣленій, приходилось для увеличенія добычи примѣнять многоэтажныя клѣты, дабы такимъ образомъ увеличить число вагонетокъ одного подъема. При углубленіи новыхъ шахтъ имъ придавали размѣры, соотвѣтствующіе числу одновременно поднимаемыхъ вагонетокъ; впрочемъ только въ рѣдкихъ случаяхъ поднимаютъ сразу болѣе двухъ вагонетокъ, стоящихъ рядомъ или одна за другой, такъ какъ при большемъ числѣ ихъ получилось бы поперечное сѣченіе шахты слишкомъ большихъ размѣровъ, что отразилось бы неблагоприятно на ея прочности и стоимости.

Вообще клѣты строятся въ настоящее время въ два, три и четыре этажа. На каждомъ этажѣ помѣщаются по двѣ вагонетки, рядомъ или одна за другой, въ силу чего приходится строить высокія и солидныя надшахтныя зданія и примѣнять очень прочныя канаты.

Дерево при выше указанныхъ условіяхъ перестало быть подходящимъ строительнымъ матеріаломъ; въ виду этого начали примѣнять кирпичныя солидныя башни, на стѣны которыхъ упираются шкивныя

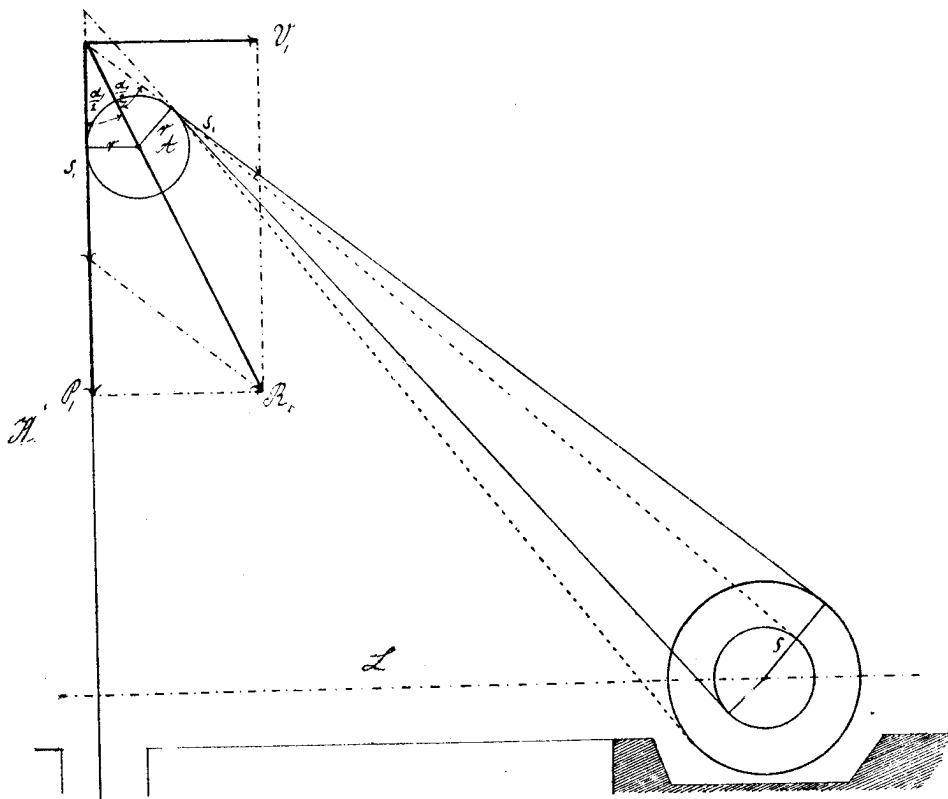
балки. Однако со временемъ сказало́сь, что конструкціи этого типа не обладаютъ той` степенью устойчивости, какая отъ нихъ требовалась, и такъ какъ одновременно успѣхи металлургіи сдѣлали желѣзо общедоступнымъ строительнымъ матеріаломъ, то пришлось вернуться къ старому, уже отчасти заброшенному типу копровъ, но не деревянныхъ, а желѣзныхъ, гигантскихъ размѣровъ, которые однако во многомъ напоминаютъ свой прототипъ—деревянный коперъ.

Въ Россіи при ея разнообразіи отдѣльныхъ мѣстностей въ отношеніи культурнаго и промышленнаго развитія мы въ настоящее время можемъ встрѣтить рѣшительно всѣ типы надшахтныхъ сооружений, деревянныхъ, каменныхъ и желѣзныхъ. Впрочемъ каменные надшахтныя башни встрѣчаются только въ Польшѣ. Типъ этотъ соотвѣтствуетъ стадіи развитія каменноугольной промышленности и одновременной дороговизны желѣза. На югѣ преобладаютъ еще деревянные копры, смѣняемые желѣзными. Вообще надо полагать, что современная промышленная жизнь устранить переходное звено—каменную башню совершенно, и деревянные копры будутъ непосредственно замѣняться желѣзными, что впрочемъ наблюдается въ Америкѣ и, какъ мы уже отмѣтили, въ Донецкомъ бассейнѣ.

## Исследование дѣйствія натяженія канатовъ отъ груза и работы машины.

Какова бы ни была система конструкціи надшахтнаго зданія, она всегда должна противодѣйствовать активнымъ силамъ — поднимаемому грузу и подъемной силѣ машины.

И такъ пусть у насъ имѣются шкивы *A*, черт. 1-й, черезъ которые перекинута канаты, навивающіеся и свивающіеся съ барабана машины *B*. Барабанъ для обобщенія приметъ коническій, канатъ пусть будетъ равнаго сопротивленія. Мы рассмотримъ во-первыхъ случай симметричнаго расположенія шкивовъ, иначе — случай, когда подъемныя отдѣленія расположены рядомъ, а затѣмъ обобщимъ выводы и на остальные случаи.



Черт. 1-й.

Пусть  $\alpha_1$  — уголъ, составляемый верхнимъ канатомъ съ вертикальнымъ его направленіемъ послѣ схода со шкива,  $\alpha_2$  — такой же уголъ нижня-

го каната,  $s_1$  и  $s_2$  - натяженія обоихъ канатовъ. Равнодѣйствующая приложенная къ шкиву верхняго каната будетъ, дана выраженіемъ:

$$R_1 = \sqrt{s_1^2 + s_1^2 - 2s_1^2 \cos (180 - \alpha_1)} = s_1 \sqrt{2(1 + \cos \alpha_1)} = 2 s_1 \cos \frac{\alpha_1}{2} \quad (1)$$

Горизонтальное опрокидывающее уиліе, вызываемое этой силой, будетъ

$$U_1 = R_1 \sin \frac{\alpha_1}{2} = 2s_1 \sin \frac{\alpha_1}{2} \cos \frac{\alpha_1}{2} = s_1 \sin \alpha_1; \quad (2)$$

вертикальное давленіе равно

$$P_1 = R_1 \cos \frac{\alpha_1}{2} = 2 s_1 \cos^2 \frac{\alpha_1}{2} = s_1 (1 + \cos \alpha_1). \quad (3)$$

Точно такія же выраженія мы можемъ написать для нижняго каната, стоитъ только замѣнить значки 1 на 2.

Общее опрокидывающее уиліе будетъ

$$U_1 = s_1 \sin \alpha_1 + s_2 \sin \alpha_2, \quad (4)$$

общее вертикальное давленіе—

$$P_1 = s_1 (1 + \cos \alpha_1) + s_2 (1 + \cos \alpha_2). \quad (5)$$

Въ этихъ выраженіяхъ ни  $\alpha$ , ни  $s$  не суть величины постоянныя; такъ,  $\alpha$  зависитъ отъ того, какое кольцо каната свивается или навивается на барабанъ; величина его колеблется между двумя крайними значеніями для каждаго каната, соотвѣтствующими *Max.* и *Min.* радіуса навивки; натяженія  $s$  зависятъ отъ положенія клѣтей въ шахтѣ и отъ того, несетъ ли канатъ порожнюю или груженую клѣть.

Для опредѣленія зависимости  $\alpha$  отъ указанныхъ обстоятельствъ, назовемъ черезъ  $L$  горизонтальное разстояніе оси вала барабана до проекціи оси шкивовъ,  $H$  вертикальное разстояніе оси шкивовъ до горизонта вала машины,  $r$  радіусъ шкива и  $\rho$  радіусъ барабана въ данный моментъ; остальные обозначенія видны изъ чертежа. Для верхняго каната можемъ написать:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = (L + r + L_1) : (H + H');$$

а такъ какъ

$$L_1 \cos \alpha_1 = \rho_1, \quad H' \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} = r,$$

то послѣ подстановки имѣемъ

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \left( L + r + \frac{\rho_1}{\cos \alpha_1} \right) : \left( H + \frac{r}{\operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2}} \right)$$

откуда

$$H \operatorname{tg} \alpha_1 + \frac{r \operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2}} = \frac{(L + r) \cos \alpha_1 + \rho_1}{\cos \alpha_1},$$

послѣ преобразованія и сокращеній получимъ

$$H \sin \alpha_1 - L \cos \alpha_1 = \rho_1 - r.$$

Назовемъ уголъ, составляемый плоскостью, проведенной черезъ оси шкивовъ и барабанъ, съ вертикальной прямой, черезъ  $\beta$ ; тогда

$$L = H \operatorname{tg} \beta.$$

Если это выраженіе ввести въ предыдущее, то оно приметъ слѣдующій видъ:

$$\sin \alpha_1 - \operatorname{tg} \beta \cos \alpha_1 = \frac{\rho_1 - r}{H},$$

или же

$$\sin (\alpha_1 - \beta) = \frac{\rho_1 - r}{H} \cos \beta;$$

отсюда

$$\alpha_1 = \beta + \arcsin \left( \frac{\rho_1 - r}{H} \cos \beta \right) = \beta + \gamma, \quad (6)$$

если

$$\sin \gamma = \frac{\rho_1 - r}{H} \cos \beta.$$

Въ виду того однако, что

$$\sin \beta = \frac{L}{\sqrt{H^2 + L^2}}, \quad \cos \beta = \frac{H}{\sqrt{H^2 + L^2}},$$



мы можем наше выражение, устранивъ вспомогательные углы, написать такъ

$$\alpha_1 = \arcsin \frac{L}{\sqrt{H^2 + L^2}} + \arcsin \frac{+ \rho_1 - r}{\sqrt{H^2 + L^2}}. \quad (7)$$

Для нижняго каната соотвѣтствующее выражение получится, если мы вмѣсто  $\rho_1$  подставимъ  $-\rho_2$

$$\alpha_1 = \arcsin \frac{L}{\sqrt{H^2 + L^2}} + \arcsin \frac{-\rho_2 - r}{\sqrt{H^2 + L^2}}. \quad (8)$$

Въ эти выраженія входитъ только одна переменная величина  $\rho_1$  или  $\rho_2$ ; для цилиндрическихъ барабановъ, если, какъ часто бываетъ,

$$\rho = r$$

наши выраженія примутъ болѣе простой видъ а именно:

$$\alpha_1 = \arcsin \frac{L}{\sqrt{H^2 + L^2}}, \quad (9)$$

$$\alpha_2 = \arcsin \frac{L}{\sqrt{H^2 + L^2}} - \arcsin \frac{2r}{\sqrt{H^2 + L^2}}.$$

Для случая расположенія шкивовъ на различныхъ горизонтахъ и различномъ разстояннн отъ оси барабана, а также—когда барабаны расположены одинъ за другимъ, въ общемъ примѣнимъ тотъ же выводъ, слѣдуетъ только замѣнить  $L$  и  $H$  соотвѣтственно  $L_1, H_1$  и  $L_2, H_2$ .

Конечно, сказанное относится и къ подъему Коре.

Изъ вышеприведенныхъ формулъ усматриваемъ, что уголъ наклоненія равнодѣйствующей къ вертикали всегда

$$0 > \frac{\alpha}{2} > 45^\circ,$$

ибо  $\alpha$  дѣлается нулемъ только при  $L-r=0$ , и прямымъ угломъ только въ случаѣ, если  $L-r=\infty$  ни то ни другое практически не достижимо.

Предѣльные значенія  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ :

$$\begin{aligned} \text{для верхняго каната } \alpha_1' &= \text{Max } \alpha_1 \text{ при } \rho_1 = \frac{D}{2}, \\ \alpha_1'' &= \text{Min } \alpha_1 \text{ „ } \rho_1 = r, \\ \text{для нижняго каната } \alpha_2' &= \text{Min } \alpha_2 \text{ „ } \rho_2 = \frac{D}{2}, \\ \alpha_2'' &= \text{Max } \alpha_2 \text{ „ } \rho_2 = r, \end{aligned} \tag{10}$$

Для того чтобъ имѣть возможность вычислить  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  для любого положенія клѣтъ, надо имѣть соотношеніе между  $\rho_1$  и глубиной, на которой въ данный моментъ находится эта клѣтъ, пусть эта глубина будетъ  $h$ ; если кромѣ того назовемъ уголъ конусности барабана черезъ  $\eta$ , то

$$\text{tg } \eta = \frac{\frac{D}{2} - r}{l};$$

гдѣ  $l$  длина барабана; если ширина желобковъ на барабанѣ будетъ  $e$ , то рудничная механика даетъ намъ слѣдующую связь между этими величинами:

$$eh \sin \eta = \pi \left( \frac{D^2}{4} - \rho_1^2 \right),$$

откуда

$$\rho_1 = \sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{eh \sin \eta}{\pi}}. \tag{11}$$

Для вычисленія  $\rho_2$  можно воспользоваться свойствомъ

$$\rho_1 + \rho_2 = \frac{D}{2} + r.$$

Если бы мы выраженіе (11) подставили вмѣсто  $\rho_1$  въ (7), то у насъ получилась бы формула, по которой можно вычислить  $\alpha$  непосредственно. Я ограничусь указаніемъ только на возможность этого рода

вычислений, въ виду того, что они сами по себѣ не представляютъ интереса.

Если бы мы перемѣстили обѣ равнодѣйствующія параллельно имъ самимъ въ точку, находящуюся по срединѣ между ними, то намъ пришлось бы разсматривать параллелограммъ силъ, составленный  $R_1$  и  $R_2$ , а равно и моменты силъ въ ихъ прежнемъ положеніи по отношенію къ новой точкѣ приложенія. Общая равнодѣйствующая ихъ

$$R = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2 R_1 R_2 \cos \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}}$$

уничтожается опорными сопротивленіями кэпра, остаются моменты, которые могутъ быть выражены нижеслѣдующимъ образомъ: если черезъ  $\lambda$  обозначимъ взаимное разстояніе шкивовъ, то моментъ горизонтальныхъ слагающихъ будетъ

$$M_v = \frac{\lambda}{2} \left( R_1 \sin \frac{\alpha_1}{2} - R_2 \sin \frac{\alpha_2}{2} \right).$$

моментъ вертикальныхъ слагающихъ —

$$M_p = \frac{\lambda}{2} \left( R_1 \cos \frac{\alpha_1}{2} - R_2 \cos \frac{\alpha_2}{2} \right),$$

Моменты эти стараются повернуть все устройство, первый—около вертикальной оси, второй—около горизонтальной, параллельной оси сооруженія, въ ту или другую сторону, смотря потому, которая изъ силъ въ данный моментъ больше. Такъ какъ разсматриваемыя силы могутъ принимать, какъ это мы увидимъ дальше, весьма различныя значенія, то и моменты ихъ могутъ выражаться черезъ довольно большія величины. Въ виду этого надшахтные зданія стараются часто конструировать такъ, чтобъ всякая половина была въ состояніи воспринять полностью, безъ содѣйствія второй части сооруженія, свою равнодѣйствующую.

Для полного опредѣленія  $R_1$  и  $R_2$  необходимо еще имѣть возможность вычислять натяженія  $s_1$  и  $s_2$ . Итакъ, пусть  $G$  будетъ полезная нагрузка,  $Q$ —мертвая,  $W$ —вѣсъ каната,  $T$ —треніе; тогда для нагруженной поднимаемой клѣти

$$s_1 = G + Q + W_1 + T,$$

для порожней опускаемой

$$s_2 = Q + W_2 - T.$$

Въ этихъ равенствахъ  $W$  и  $T$  суть величины переменныя,  $T$  зависитъ отъ многихъ факторовъ, но главнымъ образомъ отъ скорости движенія клѣти, что въ свою очередь сопряжено съ глубиной, на которой она находится, и глубиной самой шахты. Однако въ виду того, что  $T$  составляетъ всего около 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> всѣхъ другихъ силъ, обусловливающихъ натяженіе, для того, чтобъ не усложнять вопроса, мы вмѣсто точнаго его значенія введемъ поправку въ видѣ числового коэффициента:  $W$  также точно зависитъ отъ глубины. Для цилиндрическихъ канатовъ оно можетъ быть дано выраженіемъ

$$W = wh,$$

гдѣ  $w$  — вѣсъ погонной единицы каната,  $h$  — величина нависшей его части въ шахтѣ. Для коническихъ канатовъ

$$W = (Q + G) \left( e^{\frac{\delta h}{k}} - 1 \right)$$

въ которомъ  $k$  — коэффициентъ сопротивленія отъ натяженія,  $\delta$  — удѣльный вѣсъ.

Если воспользуемся этими выраженіями, то для цилиндрическихъ канатовъ получимъ:

$$\begin{aligned} s' &= 1,05(G + Q + wh), \\ s'' &= 0,95(G + wh'), \end{aligned} \tag{12}$$

для коническихъ же

$$\begin{aligned} s' &= 1,05 G + Q e^{\frac{\delta h}{k}} \\ s'' &= 0,95 Q e^{\frac{\delta h'}{k}}. \end{aligned} \tag{12a}$$

Итакъ, напряжения не зависятъ отъ того, какъ канатъ перекинутъ черезъ шкивъ, съ нижней ли или съ верхней части барабана. Максимумъ напряженія каната будетъ имѣть мѣсто, конечно, при началѣ подъема, когда  $h$  равно полной глубинѣ шахты, минимумъ же натяженія имѣется въ томъ канатѣ, къ которому подвѣшена порожняя клѣтъ, когда она находится еще на поверхности.

Такія натяженія имѣютъ мѣсто въ началѣ всякаго подъема; въ концѣ его Мах. можетъ быть на сторонѣ порожней клѣти, если толь-

ко полный вѣсъ каната превосходитъ полезную нагрузку. По отноше-  
нію къ данному канату Max. будетъ всегда при нижнемъ положеніи  
кльѣти, Min. — при верхнемъ.

Изъ всего сказаннаго мы въ правѣ заключить, что равнодѣйствующія  $R_1$  и  $R_2$  мѣняются періодически свою величину не только по направле-  
нію, но и по величинѣ въ зависимости отъ того, что напря-  
женія  $s_1$  и  $s_2$  и углы наклоненія ихъ мѣняются. Даже въ случаѣ при-  
мѣненія цилиндрическихъ барабановъ или подъема *Кюере* общая рав-  
нодѣйствующая  $R$  мѣняетъ нѣсколько свое направленіе и свою вели-  
чину въ виду того, что слагающія  $R_1$  и  $R_2$  переменны по величинѣ.  
Окончательно мы можемъ прийти къ заключенію, что стремленіе нѣ-  
которыхъ строителей заставить наклонную ногу воспринимать пол-  
ностью силу  $R$  не осуществимо, можно стремиться только къ выбору  
для этой ноги самаго подходящаго направленія.

Разсмотримъ теперь горизонтальныя и вертикальныя усилія, вы-  
зываемыя натяженіями канатовъ. Пусть  $\alpha_1'$  и  $\alpha_2'$  обозначаютъ углы  
при верхнемъ положеніи кльѣтей  $\alpha_1''$  и  $\alpha_2''$  при нижнемъ; повятно что:

$$\alpha_1' > \alpha_1'' \quad \alpha_2' < \alpha_2''. \quad (13)$$

Въ этомъ легко убѣдиться по формуламъ (7) и (8) и просто по чер-  
тежу. Итакъ, для начала подъема при переднемъ ходѣ машины

$$U = \text{Max } s_1 \sin \alpha_1'' + \text{Min } s_2 \sin \alpha_2',$$

$$P = \text{Max } s_1 (1 + \cos \alpha_1'') + \text{Min } s_2 (1 + \cos \alpha_2'),$$

подъ конецъ того же подъема

$$U = s_1 \sin \alpha_1' + s_2 \sin \alpha_2'',$$

$$P = s_1 (1 + \cos \alpha_1') + s_2 (1 + \cos \alpha_2'');$$

для слѣдующаго хода (задняго) машины, въ началѣ его

$$U = \text{Min } s_1 \sin \alpha_1' + \text{Max } s_2 \sin \alpha_2'',$$

$$P = \text{Min } s_1 (1 + \cos \alpha_1') + \text{Max } s_2 (1 + \cos \alpha_2'')$$

и въ концѣ

$$U = s_1 \sin \alpha_1'' + s_2 \sin \alpha_2',$$

$$P = s_1 (1 + \cos \alpha_1'') + s_2 (1 + \cos \alpha_2'),$$

Сравнивая эти выраженія, легко усмотрѣть, что самое большое горизонтальное натяженіе имѣетъ мѣсто въ началѣ подъема переднимъ ходомъ, т. е. когда груженная клѣть верхняго каната находится на днѣ шахты, а порожняя нижняго на поверхности. Самое большое вертикальное давленіе возникаетъ въ началѣ подъема заднимъ ходомъ машины, когда груженная клѣть нижняго каната находится внизу.

Сказанное относится къ нормальному подъему; если же во время подъема производится спускъ матеріаловъ въ шахту, то при всякомъ ходѣ машины появляются указанныя максимальныя силы  $P$  и  $U$  въ началѣ и въ концѣ его, такъ что для этого случая, если пренебречь треніемъ, можно написать для коническихъ канатовъ

$$\text{Max } U = (G + Q) \sin \alpha_1' + (G + Q) e^{\frac{\delta h}{k}} \sin \alpha_2'', \quad (14)$$

$$\text{Max } P = (G + Q) e^{\frac{\delta h}{k}} (1 + \cos \alpha_1'') + (G + Q) (1 + \cos \alpha_2'')$$

Эти двѣ силы никогда одновременно появляться не могутъ, но, такъ какъ спускъ матеріала явленіе обычное на рудникахъ, то копры по необходимости должны удовлетворять требованіямъ обѣихъ этихъ силъ. Для случая цилиндрическихъ канатовъ

$$\text{Max } U = (G + Q) \sin \alpha_1' + (G + Q + wh) \sin \alpha_2'', \quad (15)$$

$$\text{Max } P = (G + Q + wh) (1 + \cos \alpha_1'') + (G + Q) (1 + \cos \alpha_2').$$

Однако, кромѣ противодѣйствія вышеозначеннымъ силамъ, надшахтному зданію приходится иногда воспринимать и нѣкоторыя чрезвычайныя усилія.

Мы знаемъ, что разрывъ каната можетъ произойти или отъ дѣйствія экстренныхъ напряженій, когда въ началѣ подъема машина пущена въ ходъ съ излишней скоростью тогда разрывъ можетъ произойти какъ на сторонѣ нагруженной, такъ и на сторонѣ порожней клѣти; или же разрывъ имѣетъ мѣсто во время самаго подъема, когда клѣть защемлена гдѣ-нибудь въ направляющихъ, или наконецъ отъ удара клѣти о шкивы, если она поднята съ большой скоростью до ихъ горизонта. Во всѣхъ этихъ случаяхъ развивается сила—натяженіе, могущая разорвать канатъ. Такъ какъ канаты рассчитываются съ 5—6 кратной безопасностью по отношенію къ грузу  $G + Q$  для канатовъ равнаго сопротивленія и  $G + Q + wh$  для канатовъ равнаго сѣченія,

го разрывающія усилія должны въ пять—шесть разъ превосходить эти силы; итакъ

$$\sigma_k = n(G + Q),$$

$$\sigma_c = h(G + Q + wh),$$

(16)

при чемъ  $n=5-6$  и больше. Ясно, что самое опасное мѣсто для канатовъ равнаго сопротивленія по отношенію къ этимъ чрезвычайнымъ натяженіямъ. это—часть каната, примыкающая непосредственно къ клѣти, такъ какъ въ другихъ расположенныхъ выше частяхъ напряженіе распредѣляется на сѣченіе большей площади.

Обратно, цилиндрическіе канаты подвержены опасности разрыва вблизи шкивовъ, такъ какъ въ частяхъ, расположенныхъ ниже, въ составъ растягивающаго усилія входитъ неполный вѣсъ каната. Разсужденія наши отвѣсятся, понятно, только къ новымъ, вполне доброкачественнымъ канатамъ, ибо канатъ послужившій можетъ разорваться въ любомъ другомъ мѣстѣ, хотя, повидимому, больше всего страдаютъ части у клѣтей; въ этомъ, однако, случаѣ разрывающія силы будутъ меньше  $\sigma_k$  или  $\sigma_c$ .

Отъ дѣйствія экстренныхъ напряженій оба каната не могутъ разорваться одновременно, ибо эти напряженія сначала появляются въ канатѣ движущемся вверхъ, а затѣмъ на сторонѣ опускающейся клѣти.

Отъ ущемленія въ направляющихъ можетъ разорваться только канатъ, движущійся вверхъ; для опускающейся клѣти это можетъ случиться только тогда, если клѣть почему либо застряла, а затѣмъ вдругъ сорвалась и свободно упала внизъ; понятно, одновременное совпаденіе этихъ двухъ указанныхъ случайностей мало вѣроятно.

Предположимъ, что разрывъ каната случается во время спуска матеріала; такое предположеніе упрощаетъ вопросъ; оно умѣстно, ибо, принимая его, мы возводимъ болѣе устойчивое сооруженіе. Итакъ, намъ приходится разсмотрѣть два случая: 1) разрывается канатъ у клѣти, находящейся внизу шахты, 2) у клѣти на поверхности.

Нагрузка имѣетъ двѣ величины полную  $\frac{\sigma}{n}$  и неполную  $\frac{\sigma_0}{n}$  когда клѣть находится у устья шахты. Въ виду сдѣланнаго предположенія, точно также разрывающее натяженіе  $\sigma$  во всѣхъ случаяхъ одно и то же.

Пусть будетъ передній ходъ машины, начало подъема:

разрывъ внизу:

$$\left. \begin{aligned} U_a &= \sigma \sin \alpha_1'' + \frac{\sigma_0}{n} \sin \alpha_2', \\ P_a &= \sigma (1 + \cos \alpha_1'') + \frac{\sigma_0}{n} (1 + \cos \alpha_2'); \end{aligned} \right\} \text{Ia} \quad \begin{array}{l} \text{разрывъ верхняго каната, не-} \\ \text{полная нагрузка у нижняго,} \end{array}$$

разрывъ вверху:

$$\left. \begin{aligned} U_b &= \frac{\sigma}{n} \sin \alpha_1'' + \sigma \sin \alpha_2', \\ P_b &= \frac{\sigma}{n} (1 + \cos \alpha_1'') + \sigma (1 + \cos \alpha_2'); \end{aligned} \right\} \text{Ib} \quad \begin{array}{l} \text{разрывъ нижняго каната, пол-} \\ \text{ная нагрузка верхняго;} \end{array}$$

въ концѣ подъема, если разрывъ внизу:

$$\left. \begin{aligned} U_c &= \frac{\sigma_0}{n} \sin \alpha_1' + \sigma \sin \alpha_2'', \\ P_c &= \frac{\sigma_0}{n} (1 + \cos \alpha_1') + \sigma (1 + \cos \alpha_2''); \end{aligned} \right\} \text{Ic} \quad \begin{array}{l} \text{разрывъ нижняго каната, не-} \\ \text{полная нагрузка у верхняго} \\ \text{каната;} \end{array}$$

разрывъ вверху:

$$\left. \begin{aligned} U_d &= \sigma \sin \alpha_1' + \frac{\sigma}{n} \sin \alpha_2'', \\ P_d &= \sigma (1 + \cos \alpha_1') + \frac{\sigma}{n} (1 + \cos \alpha_2''); \end{aligned} \right\} \text{Id} \quad \begin{array}{l} \text{разрывъ верхняго каната,} \\ \text{полная нагрузка нижняго} \\ \text{каната.} \end{array}$$

Разсмотримъ теперь задній ходъ машины, начало подъема:

разрывъ внизу

$$\left. \begin{aligned} U &= \frac{\sigma_0}{n} \sin \alpha_1' + \sigma \sin \alpha_2'', \\ P &= \frac{\sigma_0}{n} (1 + \cos \alpha_1') + \sigma (1 + \cos \alpha_2''); \end{aligned} \right\} \text{Ic} \quad \begin{array}{l} \text{разрывъ нижняго каната,} \\ \text{неполная нагрузка у верх-} \\ \text{няго;} \end{array}$$

разрывъ вверху

$$\left. \begin{aligned} U &= \sigma \sin \alpha_1' + \frac{\sigma}{n} \sin \alpha_2'', \\ P &= \sigma (1 + \cos \alpha_1') + \frac{\sigma}{n} (1 + \cos \alpha_2''); \end{aligned} \right\} \text{Id} \quad \begin{array}{l} \text{разрывъ верхняго каната,} \\ \text{полная нагрузка нижняго.} \end{array}$$



Въ концѣ подъема, если разрывъ внизу:

$$\left. \begin{aligned} U &= \sigma \sin \alpha_1'' + \frac{\sigma_0}{n} \sin \alpha_2', \\ F &= \sigma(1 + \cos \alpha_1'') + \frac{\sigma}{a}(1 + \cos \alpha_2'); \end{aligned} \right\} \text{Ia} \quad \begin{array}{l} \text{разрывъ верхняго каната} \\ \text{неполная нагрузка нижняго;} \end{array}$$

разрывъ вверху:

$$\left. \begin{aligned} U &= \frac{\sigma}{n} \sin \alpha_1'' + \sigma \sin \alpha_2', \\ P &= \frac{\sigma}{n}(1 + \cos \alpha_1'') + \sigma(1 + \cos \alpha_2'); \end{aligned} \right\} \text{Ib} \quad \begin{array}{l} \text{разрывъ нижняго каната} \\ \text{полная нагрузка верхняго.} \end{array}$$

Итакъ у насъ имѣется только случай Ia, b и Ic, d, кромѣ того ясно что самыя большія вертикальныя давленія получаются при разрывѣ нижняго каната, а самыя большія горизонтальныя усилія—при разрывѣ верхняго.

Легко доказать, что

$$P_b > P_c.$$

сравнивая ихъ выраженія, получимъ неравенство

$$\frac{\sigma}{n}(1 + \cos \alpha_1'') + \sigma(1 + \cos \alpha_2') > \frac{\sigma_0}{n}(1 + \cos \alpha_1') + \sigma(1 + \cos \alpha_2''),$$

которое имѣетъ непремѣнно мѣсто въ виду существованія неравенствъ

$$\cos \alpha_1'' > \cos \alpha_1', \quad \cos \alpha_2' > \cos \alpha_2'' \quad \sigma > \sigma_0.$$

Итакъ мы можемъ сказать, что

*Самое большое вертикальное давленіе возникаетъ при разрывѣ нижняго каната, когда кльть его подходитъ къ шкивамъ, а кльть верхняго каната опустилась почти до дна шахты.*

Такое же разсужденіе показываетъ намъ, что

$$U_d > U_a$$

На самомъ дѣлѣ неравенство

$$\sigma \sin \alpha_1' + \frac{\sigma}{n} \sin \alpha_2'' > \sigma \sin \alpha_1'' + \frac{\sigma_0}{n} \sin \alpha_2'$$

имѣетъ мѣсто, такъ какъ существуютъ неравенства

$$\sin \alpha_1' > \sin \alpha_1'', \sin \alpha_2'' > \sin \alpha_2', \sigma > \sigma_0.$$

Итакъ, мы въ правѣ сказать, что

*Самое большое горизонтальное опрокидывающее усиліе является при разрывѣ верхняго каната, когда клетъ находится вблизи шкивовъ, а другая клетъ у дна шахты.*

На основаніи всего сказаннаго можно дать слѣдующее выраженіе для наибольшаго горизонтальнаго усилія и одновременнаго съ нимъ вертикальнаго:

$$\text{Max } U = \sigma \left( \sin \alpha_1' + \frac{\sin \alpha_2''}{n} \right), \quad (17)$$

$$P = \sigma \left[ (1 + \cos \alpha_1') + \frac{(1 + \cos \alpha_2'')}{n} \right].$$

для максимальнаго вертикальнаго

$$U = \sigma \left( \frac{\sin \alpha_1''}{n} + \sin \alpha_2' \right), \quad (18)$$

$$\text{Max } P = \sigma \left[ \frac{(1 + \cos \alpha_1'')}{n} + (1 + \cos \alpha_2') \right].$$

Эти максимальныя усилія не могутъ появляться одновременно; въ виду этого сооруженія рассчитываются и строятся такъ, чтобъ они могли воспринимать ту и другую группу силъ въ отдѣльности.

Въ случаѣ коническихъ или цилиндрическихъ барабановъ, кромѣ силъ, которыя мы только что разсмотрѣли, имѣются еще боковыя опрокидывающія усилія, происходящія отъ того, что канаты отклоняются то влѣво, то вправо отъ плоскости шкивовъ.

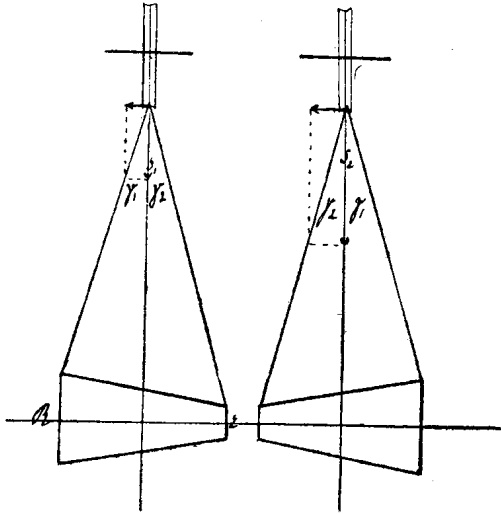
Итакъ, если мы черезъ  $\gamma_1$  обозначимъ уголъ крайняго лѣваго отклоненія, черезъ  $\gamma_2$  — крайняго праваго (для лѣваго шкива и барабана), то

$$\text{tg } \gamma_1 = \frac{l_1}{L - \frac{d}{2} - r}, \quad \text{tg } \gamma_2 = \frac{l_2}{L - \frac{d}{2} - r},$$

при условиі

$$l = l_1 + l_2,$$

гдѣ  $l$ —ширина барабана,  $l_1$  и  $l_2$ —части его по обѣ стороны отъ плоскости шкива. При расположеніи барабановъ широкими сторонами



Черт. 2.

во внутрь получатся тѣ же самыя выраженія, только въ обратномъ порядкѣ. Осевое напряженіе въ плоскости шкива равно напряженію въ вертикальныхъ частяхъ каната  $s$ . Въ началѣ и концѣ каждаго подъема эти напряженія принимаютъ величины  $s_1$  и  $s_2$ ; въ виду этого боковое натяженіе для крайнихъ положеній канатовъ будетъ

$$v_1 = s_1 \operatorname{tg} \gamma_1 + s_2 \operatorname{tg} \gamma_2 = v_2, \quad (19)$$

при чемъ направленія  $v_1$  и  $v_2$  прямо противоположны другъ другу.

Для выясненія величины этихъ силъ  $v$  упростимъ задачу, принявъ, что барабанъ цилиндрической. Въ этомъ случаѣ

$$\gamma_1 = \gamma_2, \quad r = \frac{d}{2} = \frac{D}{2}, \quad l_1 = l_2 = \frac{l}{2},$$

а значитъ

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{l}{2} : (L - 2r);$$

но такъ какъ обыкновенно располагаютъ машину такъ, чтобы  $\frac{l}{L} = \frac{1}{20}$  до  $\frac{1}{30}$ , то, принявъ среднимъ числомъ  $L = 25l$ , а  $l = \infty 3 \frac{D}{2}$  будемъ имѣть  $\operatorname{tg} \gamma = \infty \frac{1}{47}$  отсюда  $v = (s_1 + s_2) 0,02$ .

Эта величина мала по сравненію съ  $s_1$  и  $s_2$ , но можетъ не быть малой абсолютно. Конечно, наибольшее значеніе  $v$  получаетъ при разрывѣ каната, а именно, если разорвется канатъ у клѣти, выходящей на поверхность въ то время, когда другая находится въ нижнемъ положеніи; тогда натяженіе каната будетъ  $\sigma, \frac{\sigma}{n}$  конечно—въ предположеніи спуска матеріала, а значитъ

$$\operatorname{Max} v = \sigma \left( \operatorname{tg} \gamma_1 + \frac{\operatorname{tg} \gamma_2}{n} \right). \quad (20)$$

Приводимыя разсужденія показываютъ еще, что натяженіе канатовъ между машиной и шкивами нѣсколько больше натяженія ихъ въ вертикальной части независимо отъ тренія и жесткости  $S = \frac{s}{\cos \gamma}$

Для цилиндрическихъ барабановъ

$$S = \frac{s}{\sqrt{1 + \left(\frac{l}{2L - 2D}\right)^2}}$$

Для спиральныхъ барабановъ, равно какъ для подъема *Кюере*, а также *Graven'a* боковыя усилія не существуютъ, ибо при нихъ  $\gamma = 0$ .

### Силы въ случаѣ уравновѣшенныхъ канатовъ.

Разсмотримъ теперь силы, воспринимаемыя надшахтными сооруже- ніями, въ случаѣ подъемовъ при помощи уравновѣшенныхъ канатовъ. Здѣсь надо отличать двѣ системы: 1) уравновѣшиваніе при помощи канатовъ, прикрѣпленныхъ къ верхней части клѣтей, и 2) при помощи канатовъ, подвѣшенныхъ подъ клѣтями.

Разсмотримъ случай верхняго уравновѣшиванія. Пусть  $wx$ —вѣсъ подъемнаго каната,  $g_1$ —противовѣснаго плоскаго,  $g_2$ —тонкихъ стальныхъ шнурковъ, огибающихъ вспомогательные шкивы  $c$  и  $d$  (черт. 3, стр 20). Натяженіе въ началѣ подъема, когда канатъ  $g_1$  находится съ правой стороны, будетъ

$$S_1 = Q + G + wh + g_2 - g_1, \quad S_2 = G - g_2.$$

Подъ конецъ подъема канатъ  $g_1$  переходитъ на лѣвую сторону и

$$S_1 = Q + G - g_2,$$

$$S_2 = G + wh + g_2 - g_1.$$

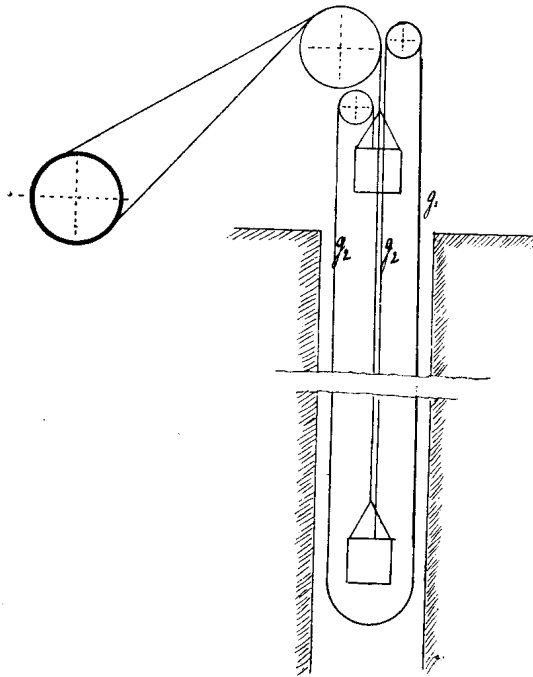
Въ этихъ выраженіяхъ  $Q$ —полная нагрузка,  $G$ —вѣсъ клѣтей съ вагонетками. Какъ извѣстно, для полного уравновѣшиванія необходимо, чтобы

$$wh + 2g_2 = g_1,$$

то есть, чтобы вѣсъ противовѣснаго каната равнялся вѣсу одного главнаго каната + удвоенный вѣсъ шнура; это условіе трудно достижимо

на практикѣ; кромѣ того, чтобы порожняя клѣть не могла быть приподнята со дна шахты противъсомъ, должно существовать неравенство

$$g_1 < G + g_2.$$



Черт. 3.

Натяженія въ вспомогательныхъ канатахъ будутъ въ началѣ и концѣ каждаго подема въ зависимости отъ того, съ которой стороны находится плоскій уравнивающий канатъ

$$s_1 = g_2, \quad g_1 = g_2 = s_2. \quad (21)$$

или наоборотъ. Итакъ, при нормальной работѣ подъемнаго устройства въ случаѣ одновременнаго подъема ископаемаго и спуска матеріаловъ въ шахту, намъ приходится считаться съ натяженіями  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $s_1$  и  $s_2$  или съ равнодѣйствующими  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $r_1$  и  $r_2$ , приложенными въ центрахъ главныхъ и вспомогательныхъ шкивовъ, при чемъ равнодѣйствующія

$$r_1 = 2(g_1 - g_2), \quad r_2 = 2g_2$$

имѣютъ вертикальное направленіе. Для расчета копра остается въ силѣ все сказанное раньше, а именно: наибольшія горизонтальныя и вертикальныя усилія получаются при разрывѣ канатовъ на поверхности. Отъ уравнивающихъ канатовъ надшахтное зданіе обременяется нагрузкой

$$r_1 + r_2 = 2g_1.$$

Для вычисленій примѣнимы формулы (17) и (18).

Въ случаѣ нижняго уравнивания, натяженіе канатовъ—величина постоянная для каждаго подема и равна въ любой его моментъ

$$\begin{aligned} S_1 &= G + Q + wh, \\ S_2 &= G + wh. \end{aligned} \quad (23)$$

Здѣсь имѣетъ мѣсто полное уравновѣшиваніе; натяженіе канатовъ мѣняется въ зависимости только отъ того, подвѣшена ли къ нему груженная или порожняя клѣть. Очевидно, что во время спуска матеріала

$$s_1 = s_2 = \frac{\sigma}{n} G + Q + wh.$$

Въ данномъ случаѣ безразлично, гдѣ произойдетъ ущемленіе клѣти или вообще разрывъ каната, и потому самое большое горизонтальное усиліе получается вообще при разрывѣ верхняго каната, самое большое вертикальное усиліе—при разрывѣ нижняго. Такъ какъ барабаны здѣсь цилиндрическіе, то углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ —величины постоянныя. Формулами (17) и (18) для даннаго случая можно пользоваться съ указанными только что оговорками. Нѣкоторую особенность представляетъ изъ себя подъемное устройство *Коере*. Такъ какъ канатъ на шкивѣ, замѣняющемъ барабанъ, не прикрѣпленъ, а удерживается исключительно треніемъ, то въ случаѣ ущемленія клѣти гдѣ-нибудь въ шахтѣ, натяженіе каната можетъ достигнуть только величины равной этому тренію, послѣ чего канатъ станетъ скользить по шкиву и разрыва не произойдетъ. Отношеніе наибольшаго натяженія къ наименьшему дается формулой

$$\frac{s_1}{s_2} = e^{f\eta},$$

въ которой величины  $s_1$  и  $s_2$  извѣстны, т. е. могутъ быть вычислены по форм. (23). Итакъ, разъ уголъ обхвата  $\eta$  опредѣленъ и принятъ даже нѣсколько больше, чѣмъ требуется формулой, то въ случаѣ ущемленія даже во время спуска матеріала

$$\text{Max } s = (G + Q + wh) e^{f\eta}; \quad (24)$$

другими словами, величина его должна остаться близкой къ нормальному натяженію. Считаю еще необходимымъ отмѣтить, что, благодаря указанной особенности конструкціи, экстренныя напряженія отъ неосторожнаго пуска въ ходъ машины при подъеме *Коере* тоже не возможны. Здѣсь приходится сдѣлать слѣдующее замѣчаніе: прежде, чѣмъ рѣшиться принять болѣе легкую конструкцію кепра при системѣ *Коере*, надо предусмотрѣть, не прійдется ли въ виду дальнѣйшей углубки шахты дальше того предѣла, при которомъ возможно пользоваться этой системой, перейти къ обыкновеннымъ барабанамъ. Что же касается размѣщенія шкивовъ на различныхъ горизонтахъ, то это

обстоятельство существеннаго вліянія на расчетъ и конструкцію шкивныхъ станковъ имѣть не можетъ. Формулы (17) и (18) въ такомъ видѣ, какъ они приведены, при практическихъ расчетахъ не примѣняются; онѣ имѣютъ болѣе теоретическій интересъ. Для расчетовъ важнѣе имѣть выраженіе для горизонтальныхъ и вертикальныхъ силъ, дѣйствующихъ на отдѣльные шкивы. Эти силы мы станемъ обозначать  $V_1$ ,  $V_2$  и  $P_1$ ,  $P_2$ , при чемъ значекъ 1 относится къ шкиву верхняго каната, а значекъ 2—къ нижнему.

Разбивая указанные выраженія, получимъ

$$\text{Max } U_1 = \sigma \sin \alpha', \quad P_1 = \sigma (1 + \cos \alpha_1'). \quad (25)$$

Одновременно на другомъ шкивѣ

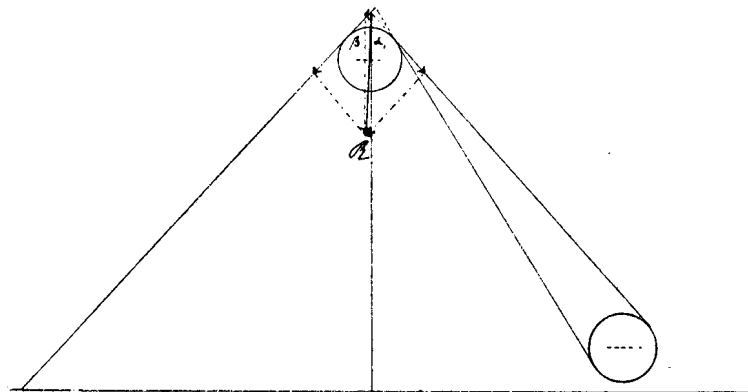
$$U_2 = \frac{\sigma}{n} \sin \alpha_2'' \quad P_2 = \frac{\sigma}{n} (1 + \cos \alpha_1''). \quad (25)$$

Для разрыва нижняго каната, когда возникаетъ наибольшее вертикальное, давленіе

$$U_2 = \sigma \sin \alpha_2', \quad \text{Max } P_2 = \sigma (1 + \cos \alpha_2'),$$

$$U_1 = \frac{\sigma}{n} \sin \alpha_1'', \quad P_1 = \frac{\sigma}{n} (1 + \cos \alpha_1''). \quad (26)$$

Для случая наклонной шахты расчетъ активныхъ силъ, появляющихся у шкивовъ, нѣсколько иной, чѣмъ прежній. Если черезъ  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  обозначимъ наклонъ канатовъ къ вертикали, черезъ  $\beta$ —наклонъ шахты къ вертикали, то, сохраняя остальные обозначенія, для величины равнодѣйствующихъ найдемъ слѣдующія выраженія:



Черт. 4.

$$R_1 = 2 s_1 \cos \frac{\alpha_1 + \beta}{2}, \quad R_2 = 2 s_2 \cos \frac{\alpha_2 + \beta}{2}.$$

Горизонтальная опрокидывающая сила для верхняго каната будетъ

$$V_1 = s_1 (\sin \alpha_1 - \sin \beta) = 2 s_1 \cos \frac{\alpha_1 + \beta}{2} \sin \frac{\alpha_1 - \beta}{2},$$

а вертикальное давленіе —

$$P_1 = s_1 (\cos \alpha_1 + \cos \beta) = 2 s_1 \cos \frac{\alpha_1 + \beta}{2} \cos \frac{\alpha_1 - \beta}{2};$$

наклонъ же равнодѣйствующей къ вертикали выразится слѣдующимъ образомъ:

$$\delta_1 = \frac{\alpha_1 - \beta}{2}, \quad \delta_2 = \frac{\alpha_2 - \beta}{2};$$

ясно, что въ зависимости отъ того, положительны ли или отрицательны разности  $\alpha_1 - \beta$  и  $\alpha_2 - \beta$ , равнодѣйствующія могутъ быть наклонены вправо или влево. Въ случаѣ, если  $\alpha_1 - \beta = 0$  или  $\alpha_2 - \beta = 0$ , соответствующая равнодѣйствующая становится вертикальной. Одновременно съ этимъ одна изъ горизонтальныхъ слагающихъ становится нулемъ. Вообще горизонтальныя силы тѣмъ менѣе, чѣмъ меньше отличаются другъ отъ друга углы  $\alpha$  и  $\beta$ .

Такъ какъ остальные прежніе выводы вообще очень легко распространить и на случай копровъ у наклонныхъ шахтъ, то я ограничусь только что сдѣланнымъ дополненіемъ, не входя въ подробности, которыя были бы повтореніемъ этихъ выводовъ, только въ болѣе общемъ видѣ.

### Прочія внѣшнія силы, воспринимаемыя надшахтными зданіями.

Кромѣ активныхъ силъ  $R_1$  и  $R_2$ , являющихся непосредственнымъ слѣдствіемъ подъема груза, надшахтнымъ зданіямъ приходится противостоятъ давленію вѣтра и собственному вѣсу. Эта послѣдняя сила направлена вертикально и передается отъ верхнихъ частей сооруженія нижнимъ; при расчетѣ отдѣльныхъ частей приходится имѣть въ виду это обстоятельство. Мы приведемъ здѣсь таблицу соотношенія вѣсовъ желѣзныхъ копровъ, ихъ высоты и поднимаемаго заразъ полезнаго груза.



Название шахты	Высота въ метр.	Полезный грузъ	Вѣсь копра
Gneisenau I	38,0	4400 kg.	119730 kg.
„ II	38,0	4400 „	107003 „
Lothringeu	26,0	3300 „	78100 „
Monopol	26,5	4400 „	75000 „
Minister Stein	32,0	6600 „	93000 „
Pluto	30,4	1100 „	65000 „
Massen	30,4	2200 „	90000 „
Kaiser Friedrich	44,0	4400 „	115000 „
Kaiserstal	38,0	4400 „	108000 „
Von der Heydt	41,4	4400 „	90000 „
Salz Glückauf	30,0	2200 „	100000 „

Эта таблица позаимствована изъ работы Томсона.

Что же касается давленія вѣтра, то, какъ извѣсто, оно направлено подъ нѣкоторымъ угломъ къ горизонту; уголъ этотъ принимается обыкновенно равнымъ  $10^0$ .

Если плоскость, препятствующая движенію вѣтра, поставлена подъ угломъ  $\delta$  къ вертикали, то есть подъ угломъ  $90^0 - \delta$  къ горизонту, давленіе же на квадратную единицу плоскости  $ab$ , нормальной къ направленію вѣтра, обозначимъ черезъ  $q$ , то давленіе на кв. единицу нашей плоскости, согласно соотношенію сторонъ въ треугольникѣ  $abc$ , будетъ (черт. 5).

$$q_1 = q \cos(\delta - 10^0);$$

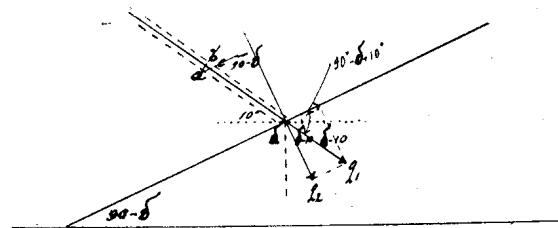
$q$  для расчетовъ принимается въ 180 kg. на кв. метръ.

Если стѣна зданія, подвергающаяся напору вѣтра, гладкая, какъ на примѣръ при каменныхъ надшахтныхъ зданіяхъ или копрахъ, покрытыхъ досчатой обшивкой или листовымъ желѣзомъ, такъ что треніемъ вѣтра объ эту преграду можно пренебречь, то разлагая  $q_1$  на давленіе нормальное и параллельное стѣнѣ, для нормального давленія получимъ

$$q_2 = q \cos^2(\delta - 10^0).$$

Это нормальное давленіе мы разлагаемъ на горизонтальное и вертикальное; вертикальная слагающая

$$p = q \cos^2(\delta - 10^0) \sin \delta,$$



Черт. 5.

горизонтальная же

(27)

$$v = q \cos^2 (\delta - 10^0) \sin \delta.$$

Силы  $vR'$  и  $pR'$ , гдѣ  $R'$ —площадь, подверженная напору вѣтра, мы въ правѣ предполагать приложенными въ центрѣ давленія разсматриваемой поверхности части сооружеія, и затѣмъ распредѣлить ихъ по сосѣднимъ узламъ въ предположеніи, что эта часть представляетъ изъ себя жесткое тѣло.

Легко видѣть, что горизонтальное давленіе вѣтра, направленнаго отъ машины къ шкивамъ, во время подъема будетъ компенсироваться горизонтальной слагающей  $V$  отъ силы подъема. Оно можетъ быть опаснымъ только въ случаѣ бездѣйствія машины, когда клѣти поставлены на кулаки. Наоборотъ, во время подъема опаснымъ направлениемъ является направленіе отъ копра къ машинѣ, такъ какъ въ этомъ случаѣ обѣ горизонтальныя силы суммируются. Нѣкоторую опасность представляетъ также направленіе, перпендикулярное къ продольной оси надшахтнаго зданія, суммирующееся съ силами, возникающими отъ отклоненія канатовъ; см. форм. (19) и (20). Для того, чтобы сдѣлать коперъ болѣе устойчивымъ въ этомъ направленіи, разстояніе между ногами внизу дѣлается нѣсколько больше, чѣмъ у шкивовъ.

Разобраться въ давленіи вѣтра на открытыя копры (безъ обшивки) гораздо труднѣе, чѣмъ въ случаѣ, который мы только что разсмотрѣли. При деревянныхъ невысокихъ копрахъ чаще всего пренебрегаютъ этой силой, въ виду громаднаго запаса прочности, съ которымъ строятъ такіе копры. Для желѣзныхъ сооружений солидныхъ размѣровъ пренебрегать этой силой уже трудно. Если часть копра, подвергаемая дѣйствию вѣтра, наклонена къ вертикали подъ угломъ  $\delta$ , то въ виду различной формы желѣзныхъ брусевъ, изъ которыхъ состоитъ эта часть, одни плоскости будутъ наклонены подъ угломъ  $\delta$ , другія же— подъ угломъ  $(90^0 - \delta)$ ; кромѣ того извѣстно, что сопротивленіе рѣшетчатыхъ преградъ въ дѣйствительности больше сопротивленія площади, занимаемой самыми тѣлами рѣшетки.

Точно опредѣлить въ этомъ случаѣ величину давленія и точку приложенія его затруднительно. Если черезъ  $k$  обозначимъ коэффициентъ увеличенія давленія при рѣшетчатыхъ преградахъ, то прежнія формулы (давленіе на единицу поверхности) для частей, наклоненныхъ подъ угломъ  $\delta$ , примутъ видъ

$$p' = kq \cos^2 (\delta - 10^0) \sin \delta,$$

$$v' = kq \cos^2 (\delta - 10^0) \cos \delta,$$

для частей же, наклоненных под углом  $(90^0 - \delta)$ , будем иметь

$$p'' = kq \sin^2 (\delta - 10^0) \cos \delta,$$

$$v'' = kq \sin^2 (\delta - 10^0) \sin \delta.$$

Итакъ мы видимъ, что въ этомъ случаѣ часть давленія направлена вверхъ. Если мы черезъ  $f_1$  назовемъ общую площадь частей, наклоненныхъ подъ угломъ  $\delta$ , а черезъ  $f_2$ —подъ угломъ  $(90^0 - \delta)$ , то полное давленіе на подверженную дѣйствию вѣтра часть копра будетъ

$$P = kq [f_1 \cos^2 (\delta - 10^0) \sin \delta - f_2 \sin^2 (\delta - 10^0) \cos \delta], \quad (28)$$

$$V' = kq [f_1 \cos^2 (\delta - 10^0) \cos \delta + f_2 \sin^2 (\delta - 10^0) \sin \delta].$$

Трениемъ вѣтра о поверхности, иначе силой, направленной вдоль ихъ, мы въ этомъ случаѣ пренебрегли, точно также, какъ и въ случаѣ обшитыхъ или сплошныхъ стѣнъ. Понятно, что заранѣе до составленія проекта невозможно пользоваться точными данными для  $f_1$  и  $f_2$ ; поэтому обыкновенно нѣсколько увеличиваютъ силы  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $P_1$  и  $F_2$  согласно опыту или просто рассчитываютъ давленіе, какъ будто рѣшетчатые преграды замѣнены сплошными. Если такой расчетъ почему-либо возбуждаетъ сомнѣнія, то готовый эскизъ проекта можно проверить по формуламъ (28).

### О надшахтныхъ сооруженіяхъ вообще.

Конструкція надшахтныхъ сооруженій зависитъ въ значительной степени отъ матеріала, изъ котораго она построена. Кромѣ того здѣсь главную роль играетъ глубина, съ которой производится подъемъ, и количество заразъ поднимаемаго ископаемаго. Разсмотримъ вскользь преимущества и недостатки деревянныхъ, каменныхъ и желѣзныхъ сооруженийъ.

Деревянные зданія примѣняются съ выгодой въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ имѣется подъ рукой дешевый строевой лѣсъ требуемой длины. Конечно, дешевизна является въ этомъ случаѣ понятіемъ только относительнымъ; въ глухой степной мѣстности иногда приходится пользоваться дорогимъ лѣсомъ только потому, что желѣзо еще дороже. Вторымъ непремѣннымъ условіемъ, оправдывающимъ примѣненіе деревяннаго станка, является небольшая производительность рудника при небольшой глубинѣ, такъ какъ для большихъ рудниковъ, въ особен-

ности для каменноугольныхъ копей, когда требуется поднимать большіе грузы со значительной глубины, деревянные сооружеія не обеспечиваютъ надлежащей прочности и устойчивости. Впрочемъ при незначительной добычѣ на рудныхъ мѣсторожденіяхъ деревянные копры могутъ примѣняться и для довольно значительныхъ глубинъ. Важнымъ условіемъ для примѣненія деревянныхъ надшахтныхъ сооружеій является наличность по крайней мѣрѣ двухъ подъемныхъ шахтъ, такъ чтобы при замѣнѣ копра, сдѣлавшагося негоднымъ, другимъ, не происходило длительной остановки въ добычѣ, что сопряжено всегда съ убытками.

Деревянные копры кромѣ того примѣняются почти всегда въ качествѣ временныхъ сооружеій при проходкѣ новыхъ шахтъ. Въ этомъ случаѣ размѣры его должны быть таковы, чтобы онъ не мѣшалъ возведенію капитальнаго копра. При соблюденіи этого условія переходъ отъ работы на временномъ станкѣ къ работѣ на капитальномъ совершается всего въ нѣсколько дней.

Преимущество деревянныхъ копровъ—это ихъ относительная дешевизна, простота конструкціи и возможность пользоваться для ихъ сооружеія простыми плотниками.

Къ недостаткамъ ихъ надо отнести во первыхъ непродолжительность ихъ службы. Въ умѣренномъ климатѣ Англіи эти копры существуютъ отъ 15 до 18 лѣтъ, въ западной Европѣ шкивные станки изъ мягкаго дерева служатъ лѣтъ 6, изъ дуба—лѣтъ 10. Что касается Россіи, то пока точныхъ данныхъ привести нельзя, но, повидимому, продолжительность существованія деревянныхъ копровъ здѣсь нѣсколько больше, чѣмъ на западѣ материка, что отчасти можно объяснить сухостью воздуха, отчасти продолжительностью зимняго времени, въ которомъ гніеніе не происходитъ въ частяхъ, находящихся на открытомъ воздухѣ, и замедлено въ закрытыхъ помѣщеніяхъ.

Круглый, не лишенный наружной части древесины лѣсъ лучше противостоитъ атмосфернымъ вліяніямъ, чѣмъ обтесанные брусья. Хорошо смазывать лѣсъ дегтемъ, смолой или еще лучше карболинеумомъ. Деревянные станки портятся быстро отъ сырого теплаго рудничнаго воздуха, потому срокъ службы ихъ на вытяжныхъ шахтахъ сокращается.

Въ случаѣ рудничнаго пожара крѣпи, распространившагося на шахту, деревянный коперъ подверженъ неминуемому уничтоженію, а кромѣ того его можетъ разрушить пожаръ на поверхности, возникшій независимо отъ рудника, что, конечно, влечетъ за собою застой въ производствѣ, даже если имѣются другія подъемныя приспособленія.

Все это вмѣстѣ взятое, заставляетъ насъ смотрѣть на деревянные копры, какъ на нѣчто временное, краткосрочное.

Каменные или кирпичныя сооруженія съ системою балокъ, на которыхъ помѣщаются подушки шкивовъ, или такъ называемыя надшахтныя башни обязаны своимъ появленіемъ тому періоду развитія промышленной культуры, когда лѣсъ уже дорогъ, а желѣзо еще не дешево, при относительно крупной производительности рудниковъ. Шкивныя балки опираются на стѣны зданія, иногда просто лежатъ сверху, иногда задѣланы въ нихъ. Недостатокъ этихъ устройствъ состоитъ въ томъ, что сотрясенія при подъемѣ передаются всему зданію, вслѣдствіе чего оно должно быть весьма солидно. Балки съ теченіемъ времени расшатываются въ своихъ гнѣздахъ, стѣны получаютъ трещины и т. д. Эти давленія особенно имѣютъ мѣсто въ тѣхъ случаяхъ, когда при увеличеніи добычи и углубленіи шахтъ пользуются раньше построенными башнями. Движеніе балокъ въ этихъ случаяхъ, несмотря на всякаго рода подпорки и скрѣпленія, иногда на столько значительно, что подчасъ бываетъ опасно находиться на шкивномъ помостѣ во время подъема. Для увеличенія устойчивости такихъ сооруженій ихъ снабжаютъ контрфорсами, такъ что горизонтальное давленіе передается не только перпендикулярно на стѣны, но и на контрфорсы. Примѣняются также діагональныя анкерныя связи, при помощи которыхъ давленіе отъ балокъ передается на боковыя стѣны, замѣняющія такимъ образомъ контрфорсы, а стѣны, на которыхъ укрѣплены балки, испытываютъ главнымъ образомъ вертикальное давленіе. Несмотря однако на всѣ указанные недостатки, иногда и теперь можно остановиться на выборѣ башенной системы, въ особенности—когда разработку предполагается вести продолжительное время на неглубокихъ горизонтахъ, а кирпичный или строительный камень дешевъ.

Каменные надшахтныя зданія служатъ достаточной гарантіей отъ пожара; внутри ихъ имѣется помѣщеніе, въ которомъ рабочіе защищены отъ зимнихъ стужъ и холодовъ. Кромѣ того, избравъ для нихъ подходящія архитектурныя формы мы въ состояніи придать руднику солидный монументальный видъ на поверхности. Указанныя преимущества заставляютъ прибѣгать иногда къ смѣшанной системѣ, въ которой шкивы помѣщаются на желѣзныхъ копрахъ, сооружаемыхъ внутри каменнаго зданія, вполне независимо отъ него. Такое рѣшеніе вопроса является, пожалуй, самымъ раціональнымъ.

Имѣются тоже переходные типы, въ которыхъ стѣны башни утилизируются отчасти для поддерживанія шкивныхъ балокъ, которыя одновременно подперты вертикальными фермами.

Желѣзные надшахтные копры примѣняются для глубокихъ разработокъ съ большой производительностью. Ихъ покрываютъ снаружи иногда деревомъ, цинковой или желѣзной жестию, рѣже оставляютъ вполнѣ открытыми. Шкивы обязательно защищаются отъ дождя и снѣга крышей. Въ настоящее время еще трудно указать срокъ службы надшахтныхъ желѣзныхъ копровъ. Существующія устройства работаютъ вполнѣ исправно уже десятки лѣтъ. Эти копры даютъ полную гарантію отъ пожара, и если построены съ нѣкоторымъ запасомъ прочности, то даютъ возможность развивать производительность рудниковъ въ обширныхъ предѣлахъ безъ существенныхъ измѣненій. Легко также, примѣнивъ вмѣсто части заклепочныхъ соединеній болтовья, приспособить желѣзные копры для перестановокъ, такъ что въ нѣкоторыхъ случаяхъ они могутъ стать конкурентами деревянныхъ копровъ и въ мелкихъ многошахтныхъ разработкахъ. Необходимое условіе для примѣненія такихъ копровъ—это наличность свободного капитала.

Размѣры и форма надшахтныхъ сооружений зависятъ главнымъ образомъ отъ размѣровъ шахты и ея глубины. Высота надшахтнаго зданія опредѣляется, во первыхъ, горизонтомъ эстакада, по которому перекачиваются вагонетки въ обогатительную фабрику или вообще горизонтомъ выгрузки вагонетокъ, и, во вторыхъ—высотой расположенія шкивовъ подъ горизонтомъ кулаковъ. Этотъ размѣръ долженъ непремѣнно удовлетворять условію, чтобы машинистъ при слишкомъ быстромъ подъемѣ имѣлъ возможность во время дать обратный ходъ и задержать клѣтъ, не допуская ее удариться о шкивы. При прежнихъ малыхъ машинахъ съ однимъ паровымъ цилиндромъ и маховымъ колесомъ шкивы помѣщались надъ разгрузочной площадкой на высотѣ 9—12 метровъ, что равнялось  $1\frac{1}{2}$  до 2 раза взятому ободу барабана при діаметрѣ послѣдняго въ  $1\frac{1}{2}$  до 2 метр. При примѣняемыхъ въ настоящее время барабанахъ большого діаметра, въ особенности при спиральныхъ барабанахъ, діаметръ которыхъ доходитъ нерѣдко до 10 метр., придерживаться этаго правила нѣтъ никакой возможности, ибо высота зданія получилась бы очень большая. При четырехъэтажныхъ клѣтяхъ, высотѣ эстакада въ 8 метр. и 10 метр., спиральномъ барабанѣ коперъ получилъ бы слишкомъ 60 метр. высоты. При современныхъ реверсивныхъ сдвоенныхъ машинахъ, управлять которыми сравнительно легко, нѣтъ никакой надобности премѣнять прежнее правило: съ практической точки зрѣнія вполнѣ достаточно помѣщать шкивы въ разстояніи по крайней мѣрѣ половины окружности наибольшаго сѣченія барабана надъ верхней частью клѣти, поставленной на кулаки.

Поперечные размѣры надшахтныхъ копровъ зависятъ 1) отъ поперечныхъ размѣровъ и расположенія подѣмныхъ отдѣленій и 2) отъ

производительности шахты. Первое условіе понятно безъ объясненій; что же касается второго, то ясно, что коперъ долженъ соответствовать по размѣрамъ разгрузочной площадкѣ, на которой должно быть достаточно мѣста для помѣщенія запасныхъ вагонетокъ и свободного передвиженія груженныхъ и порожныхъ. Поверхностная разгрузочная станція является до нѣкоторой степени симметричнымъ отраженіемъ рудничнаго двора, но въ виду того, что здѣсь пространство не такъ стѣснено, размѣры ее нѣсколько больше.

Заканчивая общія замѣчанія о копрахъ, считаю необходимымъ прибавить, что направляющія для клѣтей желательно не включать на дневной поверхности въ одно цѣлое съ копромъ, то есть — не прикрѣплять ихъ непосредственно къ его вертикальнымъ ногамъ, во избѣжаніе вредныхъ толчковъ при подъемѣ въ случаѣ неисправнаго ихъ состоянія.

Классификацію надшахтныхъ сооружений легче всего приурочить къ матеріалу, изъ котораго они построены, и сообразно съ этимъ у насъ будутъ двѣ рѣзко отличающіяся другъ отъ друга системы: 1) башенныя надшахтныя зданія, каменные или кирпичныя, 2) надшахтные копры желѣзные или деревянные. Смѣшанная копрово башенная система, о которой мы уже сказали нѣсколько словъ, выдѣленія въ особую группу не заслуживаетъ. Согласно указанному подраздѣленію, мы займемся, во первыхъ, описаніемъ и расчетомъ башенной системы, какъ болѣе простой, а затѣмъ копровой, при описаніи которой укажемъ болѣе подробное ея подраздѣленіе.

---

## Башенная система.

Подшипники шкивовъ помѣщаются въ этой системѣ на двухъ, трехъ или четырехъ соединенныхъ между собою балкахъ, концы которыхъ задѣланы въ стѣнахъ башни. По способу укрѣпленія шкивовъ эту систему часто зовутъ балочной, хотя ее нельзя считать исключительно характерной для каменныхъ надшахтныхъ зданій, ибо точно такія же шкивные балки имѣются и у пирамидальныхъ копровъ.

Если подъемныя отдѣленія находятся одно возлѣ другого, то располагаютъ четыре балки рядомъ и на каждой изъ нихъ помѣщаютъ по подшипнику или, если имѣются только три балки рядомъ, на средней помѣщаются два подшипника. Если же подъемныя отдѣленія расположены одно позади другого, то можно обойтись только двумя балками, расположенными рядомъ, съ двумя подшипниками на каждой.

Иногда утверждаютъ, что шкивные балки должны пружинить, и что преимущества такого устройства слѣдующія: 1) уменьшеніе сотрясеній клѣти и отсюда безопасность подъема, 2) сохраненіе подъемнаго каната вслѣдствіе того, что онъ не испытываетъ толчковъ, 3) постепенная передача давленія поднимаемаго груза на шкивной станокъ.

Первое изъ этихъ преимуществъ можетъ имѣть только нѣкоторое значеніе при подъемѣ порожней клѣти съ кулаковъ во время спуска, что же касается подъема груженой клѣти со дна шахты, то какъ бы велика не была эта способность балокъ пружинить, она должна исчезнуть вслѣдствіе большого разстоянія между клѣтью и шкивами, такъ какъ канатъ, натягиваясь, удлиняется, а слѣдовательно пружинить и самъ. Плоскіе канаты обладаютъ этимъ въ нѣсколько меньшей степени, чѣмъ круглые, но и въ нихъ оно настолько велико, что пружинистость балокъ не приноситъ никакой существенной пользы. Такъ какъ при подъемѣ порожней клѣти съ кулаковъ натяженіе не большое, то преимущество, о которомъ идетъ рѣчь, только фиктивное. Тоже самое можно сказать о второмъ; что же касается третьяго соображенія, то, если мы рассмотримъ его ближе, увидимъ, что и оно не даетъ ничего положительнаго, а, наоборотъ, является вреднымъ. И въ самомъ дѣлѣ, чтобы балки могли пружинить, оставляютъ между ними промежутки (черт. 6, стр. 33) въ пространствѣ между  $a$  и  $b$ ; при



натяженіи каната сгибается верхняя балка *A*, такъ какъ она не въ состояніи выдержать весь грузъ, и давить на балку *B*; затѣмъ обѣ вмѣстѣ давятъ на третью *C* и т. д. Вслѣдствіе этого ударъ будетъ передаваться отъ одной балки къ другой но не постепенно, а толчками, подушки со шкивами будутъ въ движеніи до тѣхъ поръ, пока всѣ балки не прижмутся плотно одна къ другой. Балки при этомъ скоро портятся, оси шкивовъ легко ломаются, и даже канаты страдаютъ болше, чѣмъ при обыкновенныхъ устройствахъ. Другой недостатокъ пружинистыхъ балокъ состоитъ въ томъ, что для достиженія прочности, равной обыкновеннымъ балкамъ, необходимо ихъ дѣлать гораздо толще обыкновенныхъ. Если балки не прижимаются плотно одна къ другой и между ними остается промежутокъ, то прочное сопротивленіе такой составной балки будетъ понятно меньше прочнаго сопротивленія цѣльной балки такихъ же размѣровъ. Кромѣ того, отъ постояннаго сгибанія и разгибанія отдѣльныхъ балокъ уменьшается прочность матеріала, такъ что для надлежащей безопасности на подобныя пружинистыя балки надо израсходовать вдвое болше матеріала противъ обыкновенныхъ, что конечно сопряжено съ лишнимъ и, какъ мы видимъ выше, вполнѣ безцѣльными затратами.

Если бы мы захотѣли устроить пружинистыя балки, сгибающимися сразу, то пришлось бы дѣлать ихъ относительно тонкими, а слѣдовательно мало устойчивыми сравнительно съ другими частями сооруженія, такъ что и этотъ способъ не примѣнимъ.

Чтобы ослабить толчки при подъемѣ помѣщали иногда между подшипниками и балкой пружину; пружины помѣщаютъ также въ самыхъ подшипникахъ или подъ концемъ балокъ въ гнѣздахъ. На практикѣ и эти приемы не оправдались и въ настоящее время они оставлены. При постоянномъ сгибаніи и разгибаніи пружины скоро ослабѣваютъ, садятся, при томъ обыкновенномъ не равномерномъ; чаще всего получается такое явленіе, что съ одной стороны пружина уже осѣла, а съ другой еще дѣйствуетъ. Шкивы тогда перекашиваются, при чемъ легко можетъ произойти поломка осей, соскакиваніе каната со шкива и даже его разрывъ. Указанные недостатки усугубляются тѣмъ обстоятельствомъ, что шкивы расположены высоко и осматриваются въ день одинъ, много два раза, такъ что перекашивание можетъ быть не замѣчено во время. Если сопоставить все вышесказанное, то можно притти къ заключенію, что пружинистыя шкивные станки не представляютъ вообще никакихъ существенныхъ преимуществъ.

Перейдемъ теперь къ описанію конструкціи шкивныхъ станковъ и самыхъ каменныхъ башенъ, при чемъ мы по необходимости ограничимся нѣсколькими типическими устройствами.

Деревянные шкивные станки для расположенныхъ рядомъ подъемныхъ отдѣленій представлены на черт. 7. Они состоятъ изъ четырехъ составныхъ балокъ, на которыхъ помѣщаются подшипники. Концы этихъ балокъ лежатъ на брусьяхъ *d*, задѣланныхъ наглухо въ стѣны, съ которыми они соединены еще болтами. Брусья, составляющіе каждую балку, соединены между собою желѣзными шпонками *b* и стянуты болтами *a*. Всѣ четыре балки связаны обыкновенно поперечинами *c* въ одно цѣлое, при чемъ эти поперечины противостоятъ боковому сдвиганію балокъ. Круглыя желѣзныя шпонки слѣдуетъ предпочитать деревяннымъ, потому что послѣднія при высыханіи ослабѣваютъ. Какъ только замѣчаютъ ослабленіе желѣзныхъ шпонокъ, ихъ вынимаютъ, подтягиваютъ наку́бно болты, и снова загоняютъ шпонки, достигая такимъ образомъ первоначальной прочности. Деревянные шпонки имѣютъ тотъ недостатокъ, что онѣ высыхаютъ также точно, какъ и балки, и дѣлаются слишкомъ тонкими для отверстій. Новыя же шпонки трудно подогнать какъ разъ къ старымъ отверстіямъ, круглыя же желѣзныя всегда хорошо подходятъ. Если желательно примѣнять деревянные шпонки, то ихъ слѣдуетъ изготовлять всегда изъ вполне сухого дерева.

На фиг. 8 представленъ такой же желѣзный шкивной станокъ. Четыре балки *a* соединены поперечинами *b* въ одно цѣлое и лежатъ своими концами на желѣзныхъ и чугуновыхъ доскахъ *d*, задѣланныхъ въ стѣны надшахтной башни, и кромѣ того соединены съ ними болтами *f*. Фиг. 9 также представляетъ желѣзный шкивной станокъ для двухъ рядомъ расположенныхъ подъемныхъ отдѣленій. На четырехъ балкахъ *a* лежатъ подшипники; балки *a* соединены между собою и съ обѣими балками *b* болтами. Балки *b*, задѣланныя въ стѣны надшахтной башни, съ которой онѣ соединены болтами *f*, служатъ поддержками для балокъ *a*. Фиг. 10 представляетъ деревянный шкивной станокъ съ подкосами для рядомъ расположенныхъ подъемныхъ отдѣленій. Балки *a*, на которыхъ лежатъ подшипники, поддерживаются балками *c* помощью подкосовъ *b*; балки *c* лежатъ на брусьяхъ *d*, задѣланныхъ въ стѣну, и связаны съ послѣдней болтами *f*. Балки *a* притянуты крѣпкими натяжными болтами къ балкамъ *c*, такъ что уничтожаютъ въ послѣднихъ прогибъ. Отдѣльныя балки соединены болтами *i* и шпонками *k* въ одно цѣлое; всѣ четыре балки соединены на болтахъ съ поперечинами *h*, предупреждающими боковое сдвиганіе. Въ этихъ

случаяхъ примѣняютъ также сочетаніе подвѣсной и подкосной системъ (черт. 11). Балки *a*, на которыхъ лежатъ подшипники, поддерживаются во многихъ мѣстахъ подпорками, опирающимися на балки *b*; послѣднія соединены съ балками *a* натяжными болтами *c*. Расположеніе и соединеніе частей здѣсь такое же, какъ и у только что описанной подкосной системы. Такого же типа желѣзный станокъ представленъ на фиг. 12. Здѣсь балки рѣшетчатая и также задѣланы въ стѣны и соединены болтами *f*. Всѣ четыре балки соединены между собою крестообразно приклепаннымъ угловымъ желѣзомъ *c*.

Во всѣхъ описанныхъ выше системахъ балочныхъ шкивныхъ станковъ горизонтальное натяженіе при подъемѣ передается непосредственно стѣнамъ, въ которыхъ укрѣплены балки, иначе стѣнамъ перпендикулярнымъ имъ. Ихъ часто снабжаютъ контрфорсами со стороны машины, какъ мы объ этомъ уже упомянули. Нѣсколько другое устройство показано на черт. 13. Это желѣзный шкивной станокъ съ подкосами; балки *a* лежатъ на чугунныхъ доскахъ *b* и *c*, не связанныхъ болтами со стѣной *h*. Чугунная доска *c* соединена помощью діагональныхъ связей *d* съ башмаками *g*, обхватывающими углы стѣнокъ. Такимъ образомъ боковое усиліе передается по направленію стрѣлокъ на стѣны *f*, а стѣны *h* подвергаются главнымъ образомъ вертикальному давленію. Контрфорсы здѣсь въ большинствѣ случаевъ не нужны. Четыре балки *a* соединены между собою крестообразно приклепаннымъ угловымъ желѣзомъ *k*.

Во всѣхъ шкивныхъ станкахъ съ рядомъ расположенными отдѣленіями для клѣтей четыре или три балки располагаются на одномъ горизонтѣ; оси шкивовъ перпендикулярны къ длинѣ балокъ и параллельны оси барабана *c*. Впрочемъ при коническихъ барабанахъ это послѣднее условіе въ точности не соблюдается. Въ шкивныхъ станкахъ съ подъемными отдѣленіями, расположенными одно позади другого, какъ покано на черт. 14, одна пара балокъ лежитъ настолько выше другой, что канатъ, идущій отъ верхняго шкива *a* къ барабану *b*, не соприкасается съ нижнимъ шкивомъ *c*. Шкивы расходятся со средней линіей барабана *b*, балки *dd* и *ff* расположены параллельно соответствующимъ шкивамъ. Въ остальномъ это расположеніе по конструкціи не отличается отъ предыдущаго.

## Расчетъ башенныхъ надшахтныхъ зданій.

Расчетъ этихъ сооруженій сводится къ расчету 1) балочнаго станка и 2) самаго каменнаго или кирпичнаго зданія. Несмотря на общее всеѣмъ станкамъ сходство расположенія балокъ, они рѣзко раздѣляются на два типа: *a)* станки, шкивные балки которыхъ задѣланы неподвижно въ стѣны зданія, *b)* станки, у которыхъ передніе или задніе концы шкивныхъ балокъ могутъ скользить свободно по направленію дѣйствія горизонтальныхъ силъ. Первая конструкция относится къ статически неопредѣлимымъ по отношенію къ дѣйствию горизонтальныхъ силъ, во второй же все напряженія частей конструкции легко опредѣляются при помощи простаго сложенія и разложенія силъ. На самомъ дѣлѣ, если концы *E* и *F* связаны неподвижно со стѣнами, то мы не въ состояніи безъ разсмотрѣнія деформации опредѣлить, какъ передается горизонтальная сила на обѣ опоры. Если правые концы  $A_1$  могутъ скользить, а лѣвые  $B_1$  задѣланы (черт. 68), то понятно, что горизонтальная сила передается *B* и отъ этой точки при помощи діагональныхъ связей можетъ быть перенесена на боковыя стѣны. Еслибы конецъ *B* былъ подвѣшенъ, то вся сила была бы воспринята опорной точкой *A*. Такъ какъ однако самая прочная задѣлка съ закрѣпленіемъ болтами, о которомъ мы говорили при описаніи станковъ, скоро рашатывается благодаря тому, что величина внѣшнихъ силъ, дѣйствующихъ на нихъ, ежеминутно мѣняется, то мы можемъ съ увѣренностью утверждать, что горизонтальная сила во всеѣхъ случаяхъ, за исключеніемъ конструкции съ діагональными связями, передается задней стѣнѣ зданія, и что части  $BO$ ,  $BO_1$  и  $BO_2$  балокъ подвергаются сжатію, часть же  $AO$ ,  $A_1O$  и  $A_2O$  относятся индифферентно къ горизонтальнымъ силамъ. Намъ прійдется вернуться еще къ разсматриваемому вопросу при ислѣдованіи пирамидальныхъ копровъ, въ которыхъ имѣются аналогичныя явленія.

Простое вычисленіе доказываетъ, что сила тренія, возбуждаемая натяженіемъ каната, можетъ быть недостаточна для удержанія балки на мѣстѣ, если подъемная машина отодвинута слишкомъ далеко отъ шкивовъ; такъ что во время подъема она будетъ нѣсколько передвигаться по направленію горизонтальной силы, и вслѣдствіе этого пере-

движенія все горизонтальное усиліе воспринимается задней стѣной (сосѣдной къ машинѣ). На самомъ дѣлѣ, если  $f$ —коэффициентъ тренія желѣза по чугуну, то, если закрѣпленіе балокъ расшатано,—балки будутъ лежать неподвижно, пока существуетъ неравенство

$$f 2 s \cos^2 \frac{\alpha}{2} - 2s \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2} > 0;$$

это выраженіе послѣ сокращеній и преобразованій перейдетъ въ нижеслѣдующее:

$$f > \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Коеффициентъ тренія желѣза по чугуну равенъ Мах. 0,16, съ другой стороны, такъ какъ  $\alpha$  доходитъ не рѣдко до  $60^\circ$ , то указанное нами условіе чаще всего не соблюдено.

Мы при нашемъ расчетѣ не принимали во вниманіе давленія, являющагося слѣдствіемъ тяжести самыхъ балокъ со шкивами; въ виду этого условіе, при которомъ балки будутъ лежать неподвижно, нѣсколько благопріятнѣе теоретическаго, но тѣмъ не менѣе на самомъ дѣлѣ происходятъ явленія, о которыхъ мы говорили выше.

Шкивные балки подвергаются сложному изгибу; вѣсъ шкива и самихъ балокъ дѣйствуетъ по вертикальному направленію, а равнодѣйствующая отъ натяженія канатовъ наклонена къ этому направленію. Расчетъ получился бы довольно сложный; въ виду же того, что онъ ведется съ очень большимъ запасомъ прочности, на практикѣ балки рассчитываются только на вертикальный изгибъ; кромѣ того слѣдуетъ иногда провѣрять части, подверженныя сжатію, то есть части отъ шкивовъ до задней стѣны, на продольный изгибъ или на сжатіе, смотря по длинѣ этихъ частей. Для расчета вертикальныхъ силъ примѣняется Мах.  $P$ , а для горизонтальныхъ—Мах.  $U$  по формуламъ (25) —(26). Если черезъ  $G$  назовемъ вѣсъ одного шкива, черезъ  $E$ —вѣсъ балки, разстояніе оси шкивовъ отъ стѣны черезъ  $l_1$  и  $l_2$ , при чемъ

$$l_1 + l_2 = l,$$

гдѣ  $l$  длина балокъ, то у насъ получится

$$\begin{aligned} p_1' &= \frac{1}{2} \left[ E + \frac{l_1}{l} (G + P_1) \right], \\ p_2' &= \frac{1}{2} \left[ E + \frac{l_2}{l} (G + P_2) \right], \end{aligned} \tag{29}$$

$$p_1'' = \frac{1}{2} \left[ E + \frac{l_2}{l} (G + P_1) \right],$$

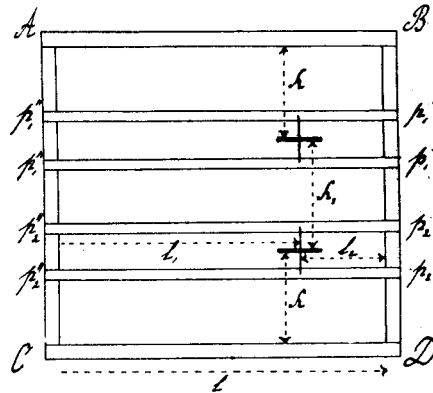
$$p_2'' = \frac{1}{2} \left[ E + \frac{l_2}{l} (G + P_2) \right].$$
(29)

Въ этихъ выраженіяхъ  $p_1'$  и  $p_2'$  обозначаютъ давленіе на правыя опоры,  $p_1''$  и  $p_2''$  — на лѣвыя (см. черт. 16).

Въ случаѣ, если имѣются три параллельныя балки, то среднія изъ нихъ подвержены нагрузкѣ, равной вѣсу полного шкива и суммѣ вертикальныхъ силъ  $P_1 + P_2$ , такъ что давленіе на правую и лѣвую стѣны опредѣлится выраженіемъ

$$p_{1,2}' = \frac{1}{2} \left[ E + \frac{l_1}{l} (2G + P_1 + P_2) \right],$$

$$p_{1,2}'' = \frac{1}{2} \left[ E + \frac{l_2}{l} (2G + P_1 + P_2) \right].$$
(29a)



Черт. 16.

Такъ какъ нами введено условіе, что балки раньше или позже расшатываются въ своихъ гнѣздахъ, то для расчета слѣдуетъ пользоваться формулами, выведенными для случая балки, свободно лежащей на опорахъ. Итакъ если

$$\frac{G + P_1}{2E} < \frac{l_2 - l_1}{2l_2},$$

то, согласно теоріи сопротивленія матеріаловъ, имѣемъ

$$W_k = \left[ \frac{1}{2} (G + P_1) \frac{l_1}{l} + \frac{\varepsilon}{2} \right]^2 \frac{l}{2E};$$

въ случаѣ же если

$$\frac{G + P_1}{2E} > \frac{l_2 - l_1}{2l_2},$$

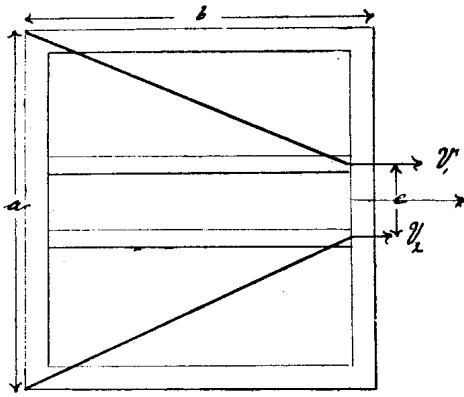
то

$$W_k = \left( G + P_1 + \frac{E}{2} \right) \frac{l_1 l_2}{l}. \quad (30)$$

Въ виду того, что  $(G + P_1)$  или  $(G + P_2)$  очень велики по сравненію съ  $2E$ , такъ что даже въ случаѣ самаго малаго  $l_1$  имѣетъ мѣсто

второе неравенство, то вообще приходится пользоваться формулой (30). Для других балок применимы, понятно, те же формулы с соответственными видоизменениями. Это замечание относится и для случая расположения подъемных отделений одно за другим.

Расчет балочной конструкции с диагональными тягами, конечно, ничем не отличается от выше указанного, самые же тяги можно рассчитывать на основании нижеследующих соображений.



Черт. 17.

Если разрывающее усилие появилось на шкивѣ  $A$ , которому соответствует  $\text{Max. } U = U_1$ , то горизонтальная сила на другомъ шкивѣ  $B$ , равная  $U_2$ , по величинѣ своей гораздо меньше первой. Равнодѣйствующая этихъ силъ не пересѣкается въ одной точкѣ съ продолженіями направленій тягъ. Назовемъ разстояніе между концами тягъ, закрѣпленными на чугунной плитѣ, черезъ  $e$ ; пусть кромѣ того длина зданія, считая по направленію силы, будетъ  $b$ , ширина —  $a$ , уголъ взаимнаго наклоненія тягъ —  $\alpha$ ; если мы точку приложенія равнодѣйствующей  $U_1 + U_2$  перенесемъ въ середину разстоянія  $\frac{e}{2}$ , то расчетъ натяженія каждой тяги можетъ быть произведенъ на основаніи формулы

$$s = \frac{U_1 + U_2}{2 \cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (31)$$

которая получается при помощи параллелограмма равновеликихъ силъ, растягивающихъ тяги. Въ этомъ случаѣ остается моментъ силъ не равный нулю

$$M = \frac{e}{2} (U_1 - U_2),$$

стремящійся повернуть плиту и перекосить тяги. Такъ какъ  $U_1$  приблизительно разъ въ 5 больше  $U_2$ , то мы имѣемъ дѣло съ довольно значительными усилиями; обыкновенно принимаютъ

$$U_1 = U_2 = \text{Max. } U$$

и рассчитываютъ тяги по формулѣ

$$s = \frac{\text{Max. } U}{\cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (32)$$

при чемъ получается, конечно, громадный запасъ прочности. Величину угла  $\alpha$ , въ зависимости отъ поперечныхъ размѣровъ зданія и разстоянія концовъ тягъ  $e$ , можно опредѣлить по формулѣ

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{a-e}{2b}.$$

Разсмотримъ теперь расчетъ нѣкоторыхъ типическихъ сложныхъ фермъ въ условіяхъ ихъ примѣненія въ качествѣ шкивныхъ балокъ.

*Раскосную балку* (черт. 18) можемъ рассчитать какъ неразрѣзную балку, подпертую въ четырехъ точкахъ, то есть въ гнѣздахъ стѣнъ и въ точкахъ соприкосновенія съ раскосами. Въ справочныхъ книгахъ имѣются также эмпирическія и полуэмпирическія формулы для этого случая.

Если въ точкахъ  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  мы вообразимъ шарнирныя соединенія, то тогда напряженія въ частяхъ фермы можно рассчитать слѣдующимъ образомъ. Равнодѣйствующую  $R$  разложимъ на горизонтальную и вертикальную составляющія; тогда часть  $AB$  можно рассчитать какъ балку, подверженную сосредоточенной нагрузкѣ (черт. 18)

$$P = R \sin \epsilon.$$

Въ углахъ  $A$  и  $B$  дѣйствуютъ вертикальныя силы

$$\frac{l_2}{l} R \sin \epsilon, \quad \frac{l_1}{l} R \sin \epsilon;$$

въ виду этого сжимающія напряженія въ подкосахъ будутъ

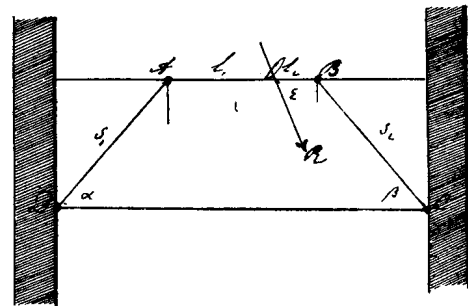
$$s_1 = \frac{l_2}{l} R \frac{\sin \epsilon}{\sin \alpha}, \quad s_2 = \frac{l_1}{l} R \frac{\sin \epsilon}{\sin \beta}.$$

Въ части верхней панели  $AO$  имѣется горизонтальная сила

$$s_1' = \frac{l_2}{l} R \frac{\sin \epsilon}{\operatorname{tg} \alpha},$$

въ части же  $OB$ —

$$s_2' = R \cos \epsilon - \frac{l_2}{l} R \frac{\sin \epsilon}{\operatorname{tg} \beta}.$$



Черт. 18.



Правой опорой воспринимается горизонтальное давление

$$v_1 = \frac{l_2}{l} R \frac{\sin \varepsilon}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{l_1}{l} R \frac{\sin \varepsilon}{\operatorname{tg} \beta} + R \cos \varepsilon$$

Нижняя панель растягивается большей изъ силъ  $s_1'$  или  $s_2'$ , правой же или лѣвой опорой воспринимается разность этихъ силъ, смотря по ихъ относительной величинѣ

$$v_2 = -\frac{l_2}{l} R \frac{\sin \varepsilon}{\operatorname{tg} \alpha} + \frac{l_1}{l} R \frac{\sin \varepsilon}{\operatorname{tg} \beta}$$

Вертикальное давленіе въ точкѣ  $D$  равно давленію въ  $A$ , а давленіе въ  $C$  равно давленію въ точкѣ  $B$ . Выбравъ соответствующимъ образомъ относительные размѣры фермы, можно для даннаго наклона  $R$  перенести горизонтальную силу въ  $C$ ; если предположимъ, что  $v_1 = 0$ , то  $v_2 = R \cos \varepsilon$ ; при этомъ необходимо соблюденіе условнаго уравненія

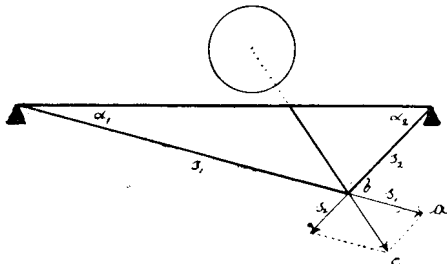
$$\frac{l_2}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{l_1}{\operatorname{tg} \beta} + \frac{l_2 + l_1}{\operatorname{tg} \varepsilon} = 0;$$

обыкновенно дѣлаютъ  $\alpha = \beta$ , тогда

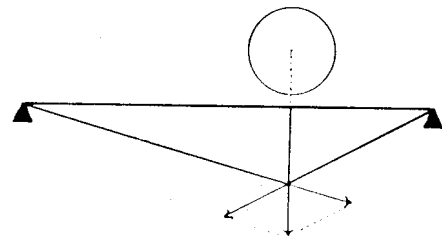
$$\frac{\operatorname{tg} \varepsilon}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{l_1 + l_2}{l_1 - l_2}$$

Это условіе слѣдуетъ принимать во вниманіе для предварительныхъ соображеній при проектированіи.

*Обратная шпренгельная ферма.* Сохранимъ прежнія обозначенія; пусть кромѣ того  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  будутъ углами наклона тягъ къ главной



Черт. 19.



Черт. 20.

балкѣ; натяженія въ тягахъ пусть будутъ  $s_1$  и  $s_2$ ; изъ треугольника  $abc$  въ виду того, что  $\angle bac = \alpha_1 + \alpha_2$ , имѣемъ

$$R_0^2 = s_1^2 + s_2^2 - 2 s_1 s_2 \cos (\alpha_1 + \alpha_2);$$

кромѣ того, натяженія въ верхней части панели равны между собою. Величина ихъ будетъ

$$s' = s_1 \cos \alpha_1 = s'' = s_2 \cos \alpha_2;$$

отсюда опредѣляемъ

$$s_1 = \frac{R_0}{\sqrt{1 + \frac{\cos^2 \alpha_1}{\cos^2 \alpha_2} - 2 \cos (\alpha_1 + \alpha_2) \frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_2}}},$$

$$s_2 = \frac{R_0}{\sqrt{1 + \frac{\cos^2 \alpha_2}{\cos^2 \alpha_1} - 2 \cos (\alpha_1 + \alpha_2) \frac{\cos \alpha_2}{\cos \alpha_1}}},$$
(32)

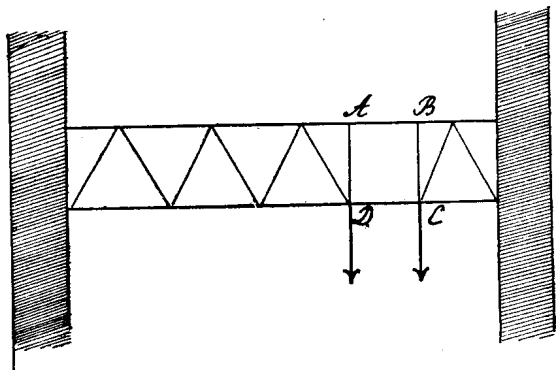
гдѣ  $R_0$ —сила, направленная по стойкѣ; ее можно направить по наклонной равнодѣйствующей силѣ, и тогда  $R_0 \approx R$ ; точнѣе, конечно, вычислить силу, направленную по стойкѣ, разложивъ  $R$  на горизонтальную и направленную по направленію силы  $R_0$ . Преимущество наклонной стойки состоитъ въ томъ, что часть горизонтальныхъ силъ воспринимается тягами. На практикѣ чаще примѣняютъ конструкции съ вертикальной стойкой; тогда понятно

$$R_0 = P + G,$$

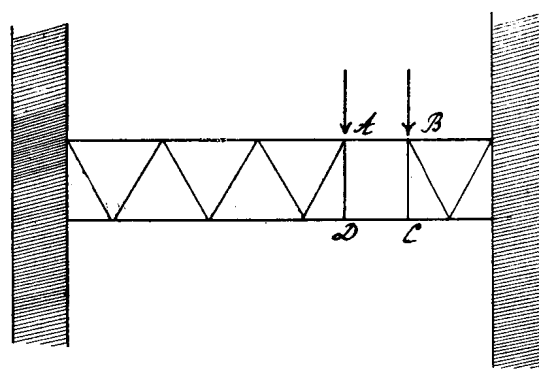
гдѣ  $G$  собственный вѣсъ фермы. Если панель  $DC$  представляетъ изъ себя неразрѣзную балку, то вышеуказанный расчетъ не точенъ: часть давленія воспринимается непосредственно верхней панелью, такъ что на долю тягъ приходится сила меньшая, чѣмъ по формулѣ (32). Практики часто не принимаютъ въ соображеніе деформации и просто а priori распредѣляютъ нагрузку напримѣръ, считая, что верхняя панель принимаетъ на себя одну ея половину, а тяги другую. Въ этомъ случаѣ верхняя панель рассчитывается, какъ балка на двухъ опорахъ, подверженная сосредоточенной нагрузкѣ и собственному вѣсу, и провѣряется на сжатіе отъ силы  $s' = s''$ , являющейся результатомъ перенесенія части груза на тяги и стойку + горизонтальное давленіе  $U$ . Конечно, въ дѣйствительности раздѣленіе нагрузки на части фермы будетъ другое, но въ виду громаднаго запаса прочности, съ которымъ ведется расчетъ надшахтныхъ сооружений, вредныхъ послѣдствій отъ такого упрощенія не бываетъ. Болѣе точный расчетъ неразрѣзной панели, какъ балки на трехъ опорахъ, примѣняется рѣдко.

*При рѣшетчатыхъ фермахъ* подушки помѣщаются на верхней панели. Въ большинствѣ случаевъ фермы этого рода примѣняются съ діагональными перекрещивающимися стержнями и являются въ виду

этого статически неопредѣлимыми. Расчетъ вести можно по упрощенному и приближенному методу, разбивая данную конструкцию на болѣе простыя фермы. Напримѣръ, ферму, изображенную на черт. 12, можно разбить на двѣ, приведенныя ниже на черт. 21 и 22, часть *ABCD*,



Черт. 21.



Черт. 22.

въ которой верхняя панель соединена съ нижней при помощи листового желѣза, представляетъ изъ себя жесткое тѣло, на которое дѣйствуютъ внѣшнія силы, а именно—половина вертикальнаго давления отъ подъема ( $\frac{1}{2} P$ ), половина вѣса шкива ( $\frac{1}{2} G$ ) и вѣсъ части *ABCD*; итакъ, если полная активная сила у насъ  $\frac{1}{2} (G + P + g)$ , то на смежныя узлы, при указанномъ нами способѣ расчета, приходится принять нагрузку

$$\frac{1}{8} (G + P + g);$$

самый же расчетъ можно вести по одному изъ общеизвестныхъ способовъ Кремона, Риттера, Циммермана и т. д. Стержни рассчитываются сообразно съ полученными напряженіями, а верхнія и нижнія панели— по суммѣ обоихъ расчетовъ. Что касается собственнаго вѣса фермы, то мы въ правѣ разбить его на части и считать приложеннымъ въ отдѣльныхъ узлахъ.

Въ башенныхъ сооруженіяхъ примѣняются довольно часто конструкции, показанныя на черт. 9. Въ этомъ случаѣ давленіе *R* передается отчасти шкивнымъ балкамъ, отчасти нижнимъ поперечнымъ. Точный расчетъ конструкции можно обосновать на томъ, что прогибъ обѣихъ системъ балокъ долженъ быть одинаковымъ въ частяхъ, въ которыхъ онѣ соприкасаются. Если опредѣлить въ этихъ точкахъ стрѣлы прогиба по общимъ уравненіямъ и приравнять ихъ соответственно другъ другу, то у насъ получатся уравненія, дающія взаимное соотношеніе размѣровъ рассчитываемыхъ балокъ. Указанный способъ расчета слишкомъ сложенъ и потому не примѣняется на практикѣ. Вмѣсто этого предпочитаютъ просто задаться той нагрузкой, которая

принимается верхними и нижними балками; на примѣръ, раздѣляютъ полную нагрузку на двѣ части и согласно съ этимъ рассчитываютъ поперечные размѣры балокъ. Аналогичный расчетъ мы указали выше для обратныхъ шпренгельныхъ фермъ. Въ рассматриваемой нами конструкціи часть горизонтальныхъ силъ  $U$  передается боковымъ стѣнамъ башни, что говоритъ въ пользу этой конструкціи, кромѣ того поперечныя балки играютъ роль анкерныхъ связей. Впрочемъ опредѣлить, какая именно часть горизонтальныхъ силъ передается боковымъ стѣнамъ, довольно затруднительно.

*Расчетъ стѣны башни и ея фундаментовъ* сводится къ опредѣленію толщины ихъ, достаточной для противодѣйствія вертикальнымъ давящимъ и горизонтальнымъ опрокидывающимъ силамъ. Давленіе опредѣляется по максимальному вертикальному усилію, являющемуся при разрывѣ нижняго каната, и опредѣляемое по формуламъ (18). Къ давленію, передаваемому стѣнѣ при помощи чугунныхъ плитъ, прибавляютъ давленіе вѣса части стѣны, находящейся выше шкивныхъ балокъ, толщина которыхъ можетъ быть сравнительно незначительной. Сумма этихъ давленій, распределенныхъ на единицу площади, опредѣляетъ намъ толщину стѣны въ точкахъ закрѣпленія шкивныхъ балокъ, и, хотя въ другихъ частяхъ передней и задней стѣны можно было бы принять и меньшую толщину, но, сообразуясь съ существованіемъ горизонтальной опрокидывающей силы и сотрясеніями отъ періодическаго подъема и переменнѣй величины дѣйствующихъ силъ вообще, придаютъ имъ чаще всего одинаковые размѣры. Къ низу толщину увеличиваютъ уступами, какъ во всѣхъ зданіяхъ. Основаніе зданія и фундаменты должны быть надлежащихъ размѣровъ. Въ виду сотрясеній, о которыхъ говорилось раньше, а также въ виду ослабленія грунта шахтой, коэффициентъ сопротивленія грунта не лишнее уменьшить вдвое противъ обыкновеннаго. Боковыя стѣны, если въ нихъ не задѣлываются поперечныя балки, могутъ имѣть нормальные размѣры, обусловленные высотой зданія и проч.

Пусть  $H$ —высота укрѣпленія шкивныхъ балокъ,  $H_1$ —высота до центра давленія вѣтра; тогда наибольшій моментъ, стремящійся опрокинуть зданіе (черт. 22) есть

$$M_a = \text{Max } UH + vH_1, \quad (33)$$

гдѣ  $\text{Max}$ .  $U$  опредѣленъ согласно формулѣ (18), а  $v$ —горизонтальная слагающая давленія вѣтра. Ось вращенія находится въ  $O$ . Если мы черезъ  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  обозначимъ вѣсъ частей стѣны одинаковой

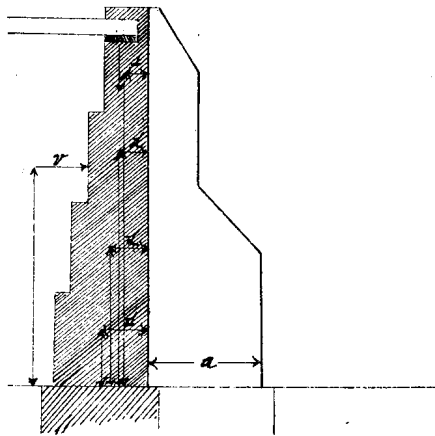
толщины, через  $L_1, L_2, L_3$ —горизонтальныя разстоянія ихъ центровъ тяжести отъ оси вращения, черезъ  $L$ —разстояніе центровъ плитъ, на которыхъ лежатъ концы балокъ, отъ  $O$ , то есть отъ наружнаго края стѣны, обращенной къ машинѣ, и если  $P$  есть вертикальное давленіе, которое имѣетъ мѣсто при  $\text{Max. } U$ , а  $p$ —та часть давленія, которая передается разсматриваемой стѣнѣ, то моментъ, сопротивляющійся опрокидыванію, будетъ

$$M_r = \sum Q_i L_i + p L. \quad (34)$$

Понятно, что зданіе устойчиво, если

$$M_r \geq M_a. \quad (35)$$

Если это условіе не соблюдено, то, вслѣдствіе того, что увеличеніе толщины стѣнъ сопряжено съ крупными расходами, стараются скрѣ-



Черт. 23.

пить анкерными связями все зданіе такъ, чтобы оно представляло изъ себя одно цѣлое; это лучше всего достигается при помощи діагональныхъ связей разсмотрѣнной нами раньше конструкціи, передающей горизонтальное давленіе на боковыя стѣны. Передняя стѣна въ расчетъ не принимается, ибо на нее горизонтальное давленіе передается только въ незначительной части, такъ какъ гнѣзда чаще всего распатаны, а ея конструктивная связь съ прочими стѣнками довольно

слаба. Для большей устойчивости заднюю стѣну снабжаютъ часто контрфорсами, которые получаютъ по направленію шкивныхъ балокъ, а иногда и въ углахъ на продолженіи поперечныхъ стѣнъ. Контрфорсы увеличиваютъ съ одной стороны вѣсъ стѣны, но главная ихъ польза состоитъ въ томъ, что, благодаря имъ, ось вращения отодвигается назадъ, и такимъ образомъ плечо момента сопротивленія вращенію увеличивается на  $a$ —ширину контрфорса внизу. Конечно, толщина стѣнъ въ мѣстѣ закрѣпленія въ нихъ плитъ должна быть провѣрена на сопротивленіе горизонтальной силѣ  $\text{Max. } U$ . Нелишне также провѣрить отношеніе момента опрокидыванія къ моменту сопротивленія для верхнихъ частей стѣны.

## Копровая система.

Надшахтные сооружения этого типа принято подразделять на двухъ, трехъ и четырехножные копры. Если сохранить это подразделение, то сюда надо прибавить еще группу шестиножных копровъ.

Самая простая конструкция двуножнаго копра показана на черт. 24. Въ этой системѣ какъ наклонныя ноги *a*, такъ и вертикальныя *b* упираются въ горизонтальныя лежни *c*. Ригели *d* служатъ для болѣе надежнаго соединенія между собою тѣхъ и другихъ ногъ и, кромѣ того, выступавшія впередъ ихъ части поддерживаютъ площадку подъ шкивами. Вертикальныя ноги соединены между собою перекладинами *e*. Шкивы прикрѣплены при помощи балокъ *f* и перекладинъ *e* и *g* къ вертикальнымъ ногамъ.

На фиг. 25 представленъ деревянный коперъ тоже англійскаго типа. Подъемныя отдѣленія расположены рядомъ; обѣ ноги *a* упираются въ чугунныя башмаки *b*, соединенныя болтами съ каменнымъ фундаментомъ; ноги *a* наверху сближены, связаны крестовиной *h* и устанавливаются приблизительно по направленію равнодѣйствующей силы натяженія. Вѣсь копра передается главнымъ образомъ на двѣ стойки *g*, вертикальныя въ профилѣ и сближенныя наверху; между собою онѣ соединены поперечиной *l* и брускомъ *m*, а съ ногой—наклонными ригелями *i* и чугунными башмаками *r*. Подшипники помѣщаются на четырехъ балкахъ *o*, расположенныхъ въ плоскости ногъ *a*; балки эти поддерживаются подкосами *n*.

На черт. 26 показана конструкция, очень похожая на описанную раньше (см. черт. 24). Здѣсь наклонныя и вертикальныя ноги упираются точно также, какъ на черт. 24, въ лежни. Наклонныя ноги, кромѣ того, подпираются еще укосинами *a*, ригелемъ *b* и стойками *c*.

Въ конструкции черт. 27 наклонныя заднія ноги упираются въ высокій каменный фундаментъ, передняя же *b*,—въ бетонныя фундаменты. Направляющія для клѣтей *c* стоятъ на горизонтальныхъ лежняхъ *e*, подъ концы которыхъ подведены опять таки лежни, покоящіеся на бетонныхъ основаніяхъ. Вверху направляющія примыкаютъ къ ногамъ *b*, которыя здѣсь сближены и соединяются съ ними при помощи ригелей *h* и поперечинъ *k*. Верхніе концы переднихъ и заднихъ

ногъ упираются въ продольныя балки  $l$ , которыя поддерживаются еще подпорками  $m$  съ поперечной балкой  $n$  и раскосами  $r$ , поддерживающими ихъ съ другого конца. На этихъ, а также на среднихъ балкахъ  $i$  лежатъ подушки шкивовъ. Итакъ, въ описываемой нами конструкціи направляющія принимаютъ на себя нѣкоторую, хотя и незначительную роль при поддерживаніи шкивныхъ балокъ. Шкивы расположены такъ, что проходящія черезъ нихъ равнодѣйствующія силы пересѣкаютъ точки соединенія переднихъ ногъ съ задними примѣрно въ  $A$ . Наклонныя ноги связаны между собою при помощи ряда крестовинъ и поперечинъ и стянуты еще анкерными болтами. Переднія ноги соединяются съ задними при помощи укосинъ  $s$  и также анкерныхъ болтовъ.

Если вмѣсто двухъ наклонныхъ ногъ примѣнить три, при чемъ средняя будетъ поддерживать внутренніе подшипники или балки, на которыхъ они лежатъ, то получится треножный коперъ, который въ общемъ не отличается отъ вышеописанныхъ конструкцій.

Перейдемъ къ описанію желѣзныхъ копровъ того же типа. На черт. 28 представленъ двуножный желѣзный коперъ съ расположенными рядомъ отдѣленіями. Нижняя часть ногъ  $a$  сдѣланы здѣсь въ видѣ подпятниковъ и упираются въ чугунные башмаки  $b$ , соединенные съ каменнымъ фундаментомъ болтами. Обѣ ноги  $a$  соединены между собою рядомъ діагональныхъ и поперечныхъ стержней. Онѣ удерживаются со стороны подъемной машины тремя прочными тягами  $c$ , на которыхъ главнымъ образомъ покоится вѣсъ всего сооруженія. Тяги эти со стороны машины проектируются вертикально, дѣлаются изъ полосового желѣза соответствующей толщины и связываются между собою. Для устойчивости сооруженія съ передней стороны имѣются еще двѣ крѣпкія тяги  $k$ , расположенныя по бокамъ и связанныя съ фундаментомъ. Ноги  $a$  нѣсколько сближены вверху, наружные подшипники стоятъ непосредственно на верхнихъ концахъ ногъ, а два внутреннихъ поддерживаются балкой, связанной особыми скрѣпленіями съ ногами.

Черт. 29 изображаетъ англійскій коперъ, всѣ части котораго представляютъ изъ себя рѣшетчатая фермы, или склепаны изъ листового желѣза. Наклонныя ноги  $a$  упираются въ высоко возведенный фундаментъ, служащій одновременно фундаментомъ для подъемной машины. Переднія ноги  $b$ , проектирующіяся сбоку, вертикально соединены съ задними (наклонными) посредствомъ продольныхъ балокъ коробчатого сѣченія  $c$ , склепанныхъ изъ листового желѣза, на которыхъ помѣщаются подшипники шкивовъ. Эти же балки поддерживаются въ

своихъ концахъ укосинами  $e$  и  $d$ . Средніе подшипники прикрѣплены къ колонкѣ  $f$ , упирающейся въ поперечную балку  $g$ .

Ферма наклонныхъ ногъ состоитъ изъ двухъ треугольныхъ фермъ; каждая изъ нихъ играетъ роль ногъ деревянныхъ копровъ. На черт. 29а переднія и заднія ноги соединены между собою укосинами  $h$ .

Коперь, показанный на черт. 30, отличается отъ вышеописаннаго только конструктивными деталями, основная же идея одна и та же.

Черт. 31 представляетъ коперъ того же англійскаго типа, но нѣсколько другой конструкціи, которая имѣетъ нѣкоторое сходство съ деревяннымъ копромъ, изображеннымъ на черт. 26. Ноги наклонной фермы  $a$  и вертикальной  $b$  соединяются при помощи уголка  $c$ ; къ нимъ приклепаны треугольные консоли  $d$  и  $e$ , къ которымъ прикрѣпляются боковые подшипники. Средніе подшипники поддерживаются колонкой  $f$ , которая упирается въ поперечную балку  $g$  и поддерживается подкосами  $h$ . Со стороны наклонной фермы колонка  $f$  распирается консолями  $k$  и прикрѣпляется къ фермѣ при помощи подкосовъ  $h$  и поперечной балки  $g$ . Наклонная ферма подпирается вертикальными стойками  $l$  и  $m$  и соединяется съ ногами  $b$  при помощи укосинъ  $r$  и  $n$ . Направляющія  $s$  связаы съ копромъ, но не играютъ никакой роли въ смыслѣ поддержки шкивовъ и противодѣйствія активнымъ силамъ.

Черт. 33 представляетъ конструкцію, предназначенную для подъема большого количества ископаемаго съ большой глубины. Одновременно могутъ работать двѣ подъемныя машины. Шкивовъ четыре, которые, чередуясь, расположены на двухъ горизонтахъ. Подшипники шкивовъ установлены на консоляхъ  $a$ ; консоли крайнихъ подшиповъ приклепаны къ ногамъ вертикальной фермы, а консоли среднихъ къ—тремъ колонкамъ. Такимъ образомъ каждая колонка поддерживаетъ два шкива. Колонки установлены на горизонтальной фермѣ-перекладинѣ, которая, въ свою очередь, подпирается раскосами, упертыми въ ноги вертикальной фермы. Наклонная подпорная ферма имѣетъ то же самое приспособленіе, такъ что у колонокъ имѣются вторыя точки опоры въ верхнихъ ихъ частяхъ. Какъ наклонныя ноги, такъ и вертикальныя сближены вверху и упираются въ прочные каменные фундаменты. Всѣ части сооруженія представляютъ изъ себя рѣшетчатыя фермы и состоятъ или изъ желѣзныхъ уголковъ, расположенныхъ по вертикали четырехугольника и связанныхъ при помощи діагональныхъ и поперечныхъ стержней, или изъ двухъ корытообразныхъ, связанныхъ такимъ же образомъ. Въ общемъ получаются коробчатыя фермы.



Направляющія соединены съ копромъ, но относительно слабо, такъ что въ случаѣ поломки ихъ клѣтью, почему-либо застрявшей въ нихъ, отнюдь не можетъ пострадать самъ коперъ.

На черт. 34 представлено устройство четырехножнаго копра, въ которомъ двѣ ноги располагаются обыкновенно по направленію равнодѣйствующей и несутъ на себѣ почти всю поднимаемую тяжесть. Обѣ другія ноги  $f$ , на которыя передается главнымъ образомъ вѣсъ сооруженія со шкивами, поставлены такъ, что пересѣкаютъ въ точкѣ  $b$  параллелограммъ силъ. Сообразно съ этимъ ноги  $a$  сдѣланы солиднѣе ногъ  $f$ . Каждая пара ногъ связана наверху поперечной балкой  $g$  съ четырьмя чугунными башмаками  $h$ , на которыхъ помѣщаются подшипникъ. Всѣ четыре ноги упираются своими нижними концами въ чугунные башмаки  $i$ , связанные болтами съ каменнымъ фундаментомъ; наверху ноги сближены и соединены между собою поперечинами и крестовинами въ одно цѣлое. Это устройство можно разсматривать какъ переходную форму отъ двухножнаго къ четырехножному копру. На черт. 35 изображено устройство желѣзнаго четырехножнаго копра съ расположенными рядомъ отдѣленіями для клѣтей. Четыре крѣпкихъ угловыхъ стойки  $a$  соединены между собою и образуютъ какъ бы усѣченную пирамиду; стойки — ноги упираются своими нижними концами на чугунные башмаки  $b$ , связанные болтами съ каменнымъ фундаментомъ; наверху эти стойки соединены балочнымъ четырехугольникомъ  $e$ , на которомъ расположены шкивные балки  $d$ . Угловыя стойки  $a$  связаны, кромѣ того, между собою крестовинами  $f$  и связками  $e$ .

При отдѣленіяхъ, расположенныхъ одно позади другого, усѣченная пирамида получаетъ нѣсколько другія пропорціи. Въ этомъ случаѣ угловыя стойки соединяются двумя балочными четырехугольниками на двухъ горизонтахъ; на каждомъ изъ этихъ четырехугольниковъ находятся по двѣ шкивныхъ балки; разстояніе между этими балочными четырехугольниками немного больше діаметра шкива.

На черт. 36 показанъ деревянный пирамидальный коперъ, въ которомъ отсутствуетъ балочный четырехугольникъ; на переднія стойки  $a$  и заднія  $b$  насажены балки  $c$ , на которыхъ расположены шкивные балки  $d$ . Геометрическая неизмѣняемость всей фермы достигается при помощи продольныхъ и поперечныхъ горизонтальныхъ связокъ  $g$ ,  $h$ ,  $g_1$ ,  $h_1$  и диагональныхъ распоровъ  $k$ ,  $l$ ,  $m$ ,  $n$ . Такъ какъ въ связкахъ могутъ имѣть мѣсто растягивающія усилія, то вдоль ихъ пропущены желѣзные анкерныя связи. Ноги упираются въ каменные фундаменты.

На черт. 37 показанъ деревянный пирамидальный коперъ, снабженный подпорными ногами  $a$ . Въ разсматриваемой конструкціи стойки  $b$

связаны наверху поперечными балками  $c$  и продольными связками  $e$ , такъ что тутъ имѣется балочный четырехугольникъ. Связки  $e$ ,  $e_1$ ,  $e_2$  — двойныя; онѣ обхватываютъ стойки съ двухъ сторонъ и прикрѣплены къ стойкамъ болтами. Въ нихъ упираются діагональныя распорки, тоже приболченныя къ стойкамъ. Подпорныя ноги  $a$  соединены съ ногами  $b$  при помощи ригелей  $f$ . Всѣ ноги стоятъ на каменныхъ фундаментахъ.

Такой же шестиножный коперъ, но нѣсколько другой конструкціи, показанъ на черт. 38. Здѣсь имѣется балочный четырехугольникъ, а именно: на стойки  $b$  наложены поперечныя балки  $c$ , продольныя же  $e$  скрѣплены съ послѣдними въ шипъ; кромѣ того стойки стянуты еще продольными анкерами. На поперечныхъ балкахъ лежатъ шкивныя. Какъ поперечныя, такъ и продольныя балки подперты по срединѣ бабками  $d$  и  $g$ , упирающимися въ нижнія горизонтальныя связки. Кромѣ того имѣются еще діагональныя распорки. Подъ разгрузочной площадкой, подпорными балками для которой служатъ связки  $e_2$  и  $i_2$ , имѣется также система раскосовъ и бабокъ, упирающихся въ стойки  $b$  и связки  $e_3$  и  $i_3$ , которыя въ свою очередь подперты раскосами. Наклонныя ноги  $a$  связаны съ ногами  $b$  при помощи такой же точно фермы. Всѣ ноги упираются въ продольныя лежни  $h$ , подъ которыми имѣются поперечныя лежни  $k$ .

На черт. 39 показана конструкція такого же типа, только ноги  $b$  поставлены здѣсь вертикально. Балочный четырехугольникъ составленъ нѣсколько иначе, а именно—продольныя балки насажены на стойки, къ которымъ приболчены поперечныя, а на этихъ послѣднихъ лежатъ уже шкивныя балки. Подпорныя ноги книзу расходятся.

Иногда подпорныя ноги нѣсколько отодвигаютъ для возможности помѣщенія шкивовъ такъ, чтобы равнодѣйствующая сила проходила возможно ближе къ подпорнымъ ногамъ. Конструкція этого рода показана на черт. 40. Подпорныхъ ногъ три, онѣ упираются своими нижними концами на чугунныя башмаки  $e$ , связанные болтами съ каменнымъ фундаментомъ. Наружныя ноги  $ff$  наверху сближены, а третья нога проектируется спереди вертикально; всѣ три ноги соединены поперечинами  $h$  и крестовинами въ одно цѣлое. Всѣ всего копра передается главнымъ образомъ на вертикальныя ноги; среднія ноги соединены крѣпкими чугунными башмаками  $l$  съ наклонными ногами и съ горизонтальными балками  $m$ , на которыхъ уже лежатъ подшипники.

Желѣзный коперъ, изображенный на черт. 41, принадлежитъ также къ рассматриваемому типу. Подпорныя ноги расширяются книзу; это

расширеніе начинается приблизительно на  $\frac{1}{3}$  полной высоты копра. Какъ вертикальныя, такъ и наклонныя ноги соединены между собою системою поперечныхъ и діагональныхъ связокъ, такъ что всякая пара сосѣднихъ ногъ, отдѣльно взятая, вмѣстѣ со связками образуетъ плоскую рѣшетчатую ферму.

На черт. 42 показанъ коперъ нѣсколько другого типа для подъема большихъ количествъ ископаемаго съ большихъ глубинъ. Подпорныя ноги заходятъ въ пространство между вертикальными ногами, и поддерживаютъ непосредственно шкивныя балки въ мѣстахъ, гдѣ на нихъ помѣщены подшипники. Наклонныя ноги представляютъ рѣшетчатыя фермы, суженныя по краямъ и соединенныя при помощи поперечныхъ и діагональныхъ связокъ въ одно цѣлое. Вертикальныя ноги представляютъ такія же фермы и соединены между собой при помощи такихъ же поперечинъ и крестовинъ. Направляющія (на черт. не показаны) независимы отъ вертикальныхъ ногъ, хотя приклепаны къ нимъ, но такъ, что поломка ихъ не можетъ отразиться на самихъ ногахъ. Панели ногъ состоятъ изъ корытообразнаго желѣза, поперечные и діагональные стержни—изъ углового; поперечины такой же точно конструкціи. Устои каменные; нижнія части ногъ соединены съ ними при помощи чугунныхъ плитъ и такихъ же башмаковъ и прикрѣплены болтами. Арочная ферма, связывающая наклонныя ноги въ нижнихъ ихъ частяхъ, примѣнена для того, чтобы оставить свободный доступъ къ шахтѣ со стороны подъемной машины. Подъемъ совершается при помощи бабокъ.

Этимъ я заканчиваю примѣры конструкцій надшахтныхъ копровъ; конечно, приведенныя типическія схемы далеко не исчерпываютъ всѣхъ разновидностей ихъ, ибо для конструкторовъ въ данномъ отношеніи поле дѣятельности не ограничено. Разсмотримъ еще нѣсколько своеобразныхъ типовъ.

На черт. 43 показана въ общемъ видѣ конструкція, цѣль которой устранить боковыя опрокидывающія усилія при примѣненіи длинныхъ барабановъ. Сзади подъемной машины на каменномъ прочномъ фундаментѣ расположены подшипники шкивовъ, черезъ которые снизу переброшены канаты. Боковыя усилія воспринимаются этими шкивами и фундаментами. Канатъ до направляющихъ шкивовъ и отъ нихъ ведется по роликамъ. Ноги надшахтнаго копра проектируются вертикально на плоскость, перпендикулярную оси всего сооружения. Интересная конструкція предложена фирмой Сименсъ и Гальске для электрическаго подъема (черт. 44). Электродвигатель съ барабанами и всѣми приборами помѣщенъ на солидныхъ балкахъ, прикрѣпленныхъ къ

---

заднимъ ногамъ копра. Весь механизмъ помѣщается въ легкомъ зданіи изъ желѣза и стекла. Подъемъ типа *Копер*. Коперъ такъ называемый двуножный; пара ногъ, къ которымъ прикрѣплено подъемное устройство, проектируется вертикально, вторая пара ногъ расходится книзу. Направляющія построены независимо отъ ногъ.

---

## Смѣшанная копро-башенная система.

Если шкивные балки укрѣплены въ массивныхъ каменныхъ стѣнахъ надшахтной башни и кромѣ того подпираются стойками или ногами, то получается смѣшанная башенно-копровая система, о которой упоминалось раньше. Система эта представляетъ большое число разнообразныхъ формъ надшахтныхъ зданій; чаще всего встрѣчаются устройства, въ которыхъ шкивные балки подпираются четырьмя соединенными между собою ногами. Внизу эти ноги скрѣплены съ контрфорсами или стѣнками при помощи особыхъ балокъ или же чугунныхъ башмаковъ. При такомъ устройствѣ получается соединеніе пирамидальнаго копра съ башней. Такъ какъ при этомъ горизонтальныя силы только отчасти воспринимаются копромъ, то здѣсь часто приходится устраивать контрфорсы для воспріятія части горизонтальныхъ силъ. Эти контрфорсы бываютъ гораздо меньшей толщины, чѣмъ при простой башенной системѣ. Важнымъ недостаткомъ этого устройства надо считать то обстоятельство, что при немъ стѣснено пространство внутри надшахтной башни.

Довольно часто встрѣчаются сооружения, въ которыхъ нижняя часть представляетъ изъ себя башню или прочныя столбы, соединенныя арками, служащими основаніемъ для пирамидальнаго копра. Эта конструкція примѣняется чаще для того случая, когда высота зданія больше длины имѣющагося лѣса, а примѣненіе желѣза не выгодно.

## Теорія надшахтных копровъ.

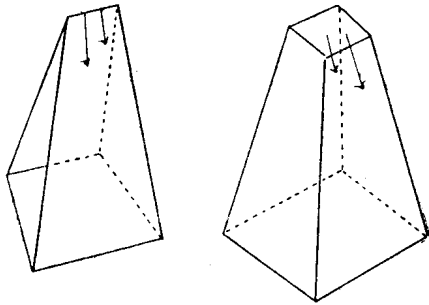
Надшахтные копры, какъ мы могли убѣдиться изъ приведенныхъ выше данныхъ объ ихъ конструкціи, да и безъ этого просто а priori, исходя изъ ихъ назначенія для подъема грузовъ по одному опредѣленному, чаще всего вертикальному направленію, должны представлять изъ себя пространственную, геометрически неизмѣняемую ферму, подверженную активнымъ силамъ  $R_1$  и  $R_2$ , напору вѣтра, и несущую собственный вѣсъ. Конечно, главная ихъ задача—это устойчивость по отношенію къ силамъ  $R_1$  и  $R_2$ , которой обуславливается прежде всего форма и конструкція копровъ; другія силы являются второстепенными и имѣютъ относительно небольшое значеніе при выборѣ и разработкѣ типа и конструкціи сооруженія.

Копры отличаются нѣкоторой симметричностью, и слѣдовательно копры съ рядомъ расположенными подъемными отдѣленіями можно разбить плоскостью, проведенной по серединѣ между этими отдѣленіями и параллельно осямъ ихъ, на двѣ вполне симметричныя части, каждая изъ которыхъ противостоитъ своей силѣ  $R$ , приложенной на оси шкива самостоятельно или при содѣйствіи сосѣдней части. Въ случаѣ отдѣленій, расположенныхъ одно за другимъ, плоскость симметріи проходитъ черезъ оси этихъ отдѣленій; въ этомъ случаѣ коперъ представляетъ изъ себя нѣчто болѣе компактное: объ силы  $R_1$  и  $R_2$  находятся почти въ одной плоскости, иногда даже строго въ одной плоскости, на примѣръ — при подъемѣ Коере.

Если мы станемъ разсматривать одну такую половину копра съ параллельными отдѣленіями или цѣлый коперъ съ отдѣленіями одно за другимъ, упростивъ ихъ до крайняго предѣла, то увидимъ, что въ основаніе всѣхъ безъ исключенія копровъ легли простыя геометрическія фигуры, а именно—треугольникъ и трапеція. Эти фигуры, получаемыя отъ пересѣченія копра плоскостями, параллельными плоскости симметріи, конечно идеальныя, такъ какъ для полученія ихъ приходится игнорировать всякія конструктивныя детали.

Итакъ, существенная часть копра представляетъ изъ себя срезанную по бокамъ призму или усѣченную пирамиду (черт. 45). Имѣются также копры, представляющіе комбинацію призмы съ пирамидой.

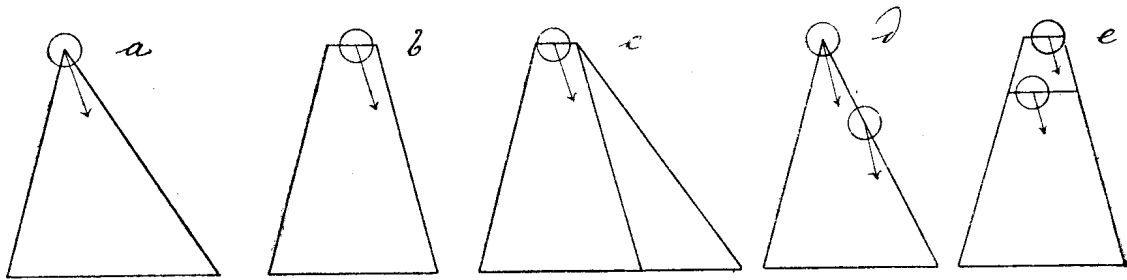
Схематическое сѣченіе копра по указанному раньше направленію даетъ намъ тѣ основныя фигуры плоскихъ фермъ, которыя при соче-



Черт. 45.

таніи по двѣ или по три даютъ намъ окончательную пространственную ферму — копровъ. Для копровъ съ рядомъ расположенными отдѣленіями эти схемы представлены на черт. 46 *d, e*.

Эти схемы фермъ намъ придется разсматривать подробнѣе, раньше чѣмъ перейти къ самымъ копромъ. Итакъ необходимо разобраться въ условіяхъ



Черт. 46.

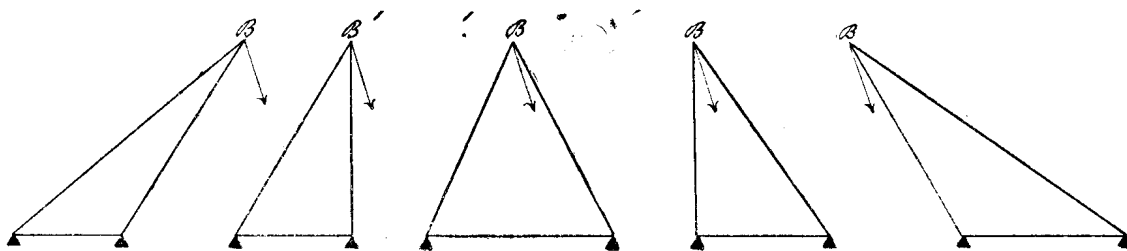
дѣйствія силъ, приложенныхъ въ вершинѣ или одновременно въ вершинѣ и нѣсколько ниже, въ одной изъ сторонъ треугольника; въ трапеціяхъ эти силы приложены у одной верхней стороны или же у верхней стороны и тяги, находящейся нѣсколько ниже. Я считаю необходимымъ сдѣлать оговорку, что все сейчасъ сказанное строго относится къ самому подъемному устройству, а отнюдь не къ направляющимъ клѣтѣй на дневной поверхности, которыя являются продолженіемъ подъемныхъ отдѣленій шахты, хотя въ конструктивномъ отношеніи ихъ приходится связывать съ копромъ.

### Призматическіе копры.

Основной фигурой для трехножныхъ копровъ надо считать треугольникъ, который, какъ извѣстно, представляетъ форму, статически опредѣленную и геометрически неизмѣняемую, если всѣ три узла шарнирные. Надо впрочемъ замѣтить, что при сооруженіи копровъ избѣгаютъ шарнирныхъ соединеній. Мы при нашихъ выводахъ будемъ однако считать въ большинствѣ случаевъ соединенія шарнирными.

Въ зависимости отъ направленія силы  $T$  и рода треугольной формы въ частяхъ ея могутъ господствовать различныя напряженія. Если

назовемъ черезъ  $\varepsilon$  уголъ наклона къ вертикальной линіи силы  $T$ , какъ это принято въ главѣ о силахъ,  $T$  и  $\varepsilon$  имѣютъ нѣсколько дру-



Черт. 47.

гое значеніе, чѣмъ уголъ  $\frac{\alpha}{2}$  и сила  $R$ , обозначимъ черезъ  $\eta$  и  $\xi$ —углы, составляемые направлениемъ сторонъ  $AB$  и  $BC$  съ вертикалью, напряженіе въ  $AB$ —черезъ  $\sigma_1$  и въ  $BC$ —черезъ  $\sigma_2$  тогда уравненія равновѣсія силъ въ узлѣ  $B$  будутъ (см. черт. 47)

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

$$T \sin \varepsilon + \sigma_1 \sin \eta + \sigma_2 \sin \xi = 0;$$

$$\sigma_1 = -T \frac{\sin \xi \cos \varepsilon - \cos \xi \sin \varepsilon}{\sin \xi \cos \eta - \cos \xi \sin \eta} = -T \frac{\sin (\xi - \varepsilon)}{\sin (\xi - \eta)}, \quad (36)$$

$$\sigma_2 = +T \frac{\sin \eta \cos \varepsilon - \cos \eta \sin \varepsilon}{\sin \xi \cos \eta - \cos \xi \sin \eta} = +T \frac{\sin (\eta - \varepsilon)}{\sin (\xi - \eta)}.$$

Это—общія выраженія; въ нихъ углы по правую сторону вертикали слѣдуетъ считать положительными, по лѣвую—отрицательными. Въ частномъ случаѣ, когда равнодѣйствующая силъ  $T$  проходитъ между передними и задними ногами, но съ правой стороны вертикали, у насъ должно быть

$$\xi > 0 \quad \eta < 0, \quad \varepsilon > 0,$$

а потому формулы (36) примутъ видъ

$$\sigma_1 = -T \frac{\sin (\xi - \varepsilon)}{\sin (\eta + \xi)}, \quad (37)$$

$$\sigma_2 = -T \frac{\sin (\eta + \varepsilon)}{\sin (\eta + \xi)}.$$

Оба напряженія—сжимающія, при томъ по величинѣ  $\sigma_2 > \sigma_1$ ; если  $\xi = \varepsilon$ , то  $\sigma_1 = 0$ , чего однако на практикѣ достигнуть нельзя.

\*) На чертежахъ вмѣсто  $T$  поставлено греческое ро большее.



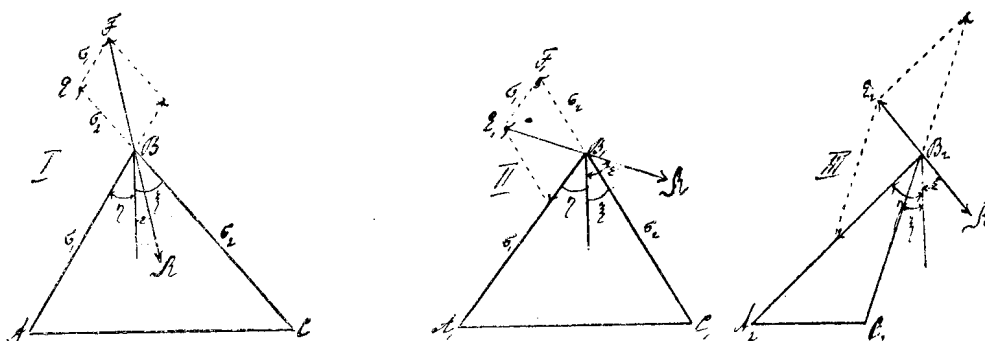
Если равнодѣйствующая  $T$  проходить съ внѣшней стороны заднихъ ногъ, такъ что  $\eta < 0$ ,  $\xi < 0$ ,  $\varepsilon > 0$ , то

$$\sigma_1 = +T \frac{\sin(\xi + \varepsilon)}{\sin(\eta - \xi)},$$

$$\sigma_2 = -T \frac{\sin(\eta + \varepsilon)}{\sin(\eta - \xi)};$$
(38)

напряженіе  $\sigma_2$  — сжимающее, а  $\sigma_1$  — растягивающее (см. черт. 48с).

При помощи построения очень легко получить оба напряженія, стоитъ только разложить силу, противоположную  $T$ , по направлениямъ ногъ (черт 48а)



Черт. 48.

Изъ треугольника  $BEF$  (черт. 48а) имѣемъ равенства

$$\frac{\sigma_1}{\sin(\xi - \varepsilon)} = \frac{\sigma_2}{\sin(\eta + \varepsilon)} = \frac{-T}{\sin(180 - \eta - \xi)},$$

тождественныя съ формулой (37), изъ треугольника  $B_2 E_2 F_2$  (черт. 48с) —

$$\frac{-\sigma_1}{\sin(\xi + \varepsilon)} = \frac{\sigma_2}{\sin(\eta + \varepsilon)} = \frac{-T}{\sin(\eta - \xi)};$$

это равенство тождественно съ формулой (38).

Итакъ, обѣ ноги будутъ сжиматься, если равнодѣйствующая помѣщается между ними; если же она выходитъ за коперъ, то сжатію подвержена та нога, къ которой равнодѣйствующая ближе, другая же нога растягивается. Такъ какъ съ конструктивной точки зрѣнія не всегда имѣется возможность строить длинныя фермы, работающія на переменное по величинѣ растяженіе, переходящее въ сжатіе во время бездѣйствія сооруженія, или по крайней мѣрѣ это не всегда удободостижимо, то обыкновенно строители стараются располагать

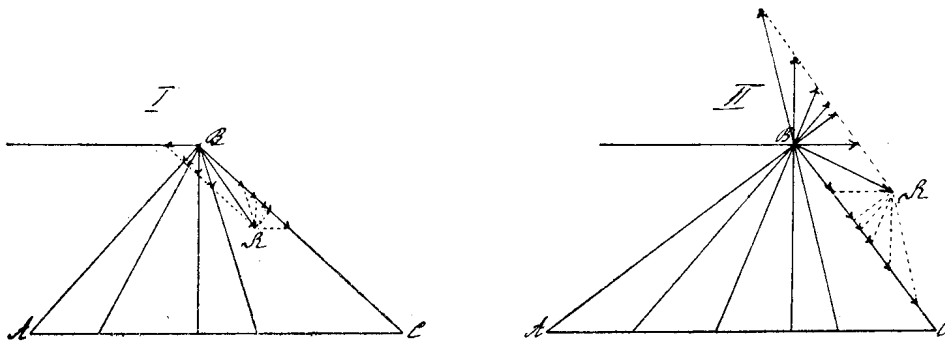
ноги такъ, чтобы онѣ только сжимались. Это замѣчаніе относится прежде всего къ деревяннымъ копрамъ. Разсмотримъ выведенныя нами формулы. Пусть углы  $\xi$  и  $\epsilon$  постоянны; тогда ясно, что съ увеличеніемъ  $\eta$  напряженіе  $\sigma_1$  въ обоихъ указанныхъ случаяхъ уменьшается: мы можемъ написать, что при  $\epsilon = \text{Const.}$  и  $\xi = \text{Const.}$ ,

$$\text{Min } \sigma_1 \text{ будетъ при } \eta + \xi = 90^\circ,$$

или

$$\text{„ „ „ } \eta - \xi = 90^\circ.$$

Сказанное можетъ быть графически представлено слѣдующимъ образомъ (черт. 49):



Черт. 49.

На приведенныхъ графическихъ изслѣдованіяхъ мы разлагаемъ непосредственно силу  $T$  по направлениямъ ногъ, получая такимъ образомъ не напряженія, а силы, направленныя по этимъ ногамъ, и вызывающія равныя имъ, но противоположныя по направленію реакціи.

Черт. 49 (I) даетъ намъ возможность вывести слѣдующее заключеніе: если желательно разгрузить переднюю ногу за счетъ задней, то слѣдуетъ увеличивать уголъ  $ABC$ , отклоняя переднюю ногу. Предѣлъ этого отклоненія есть  $90^\circ$ , ибо тогда имѣется  $\text{min } \sigma_1$ . Дальнѣйшее отклоненіе ведетъ къ увеличенію  $\sigma_2$ , но съ одновременнымъ увеличеніемъ и  $\sigma_1$ . Одинаковое напряженіе въ обѣихъ ногахъ будетъ въ томъ случаѣ, когда уголъ, составленный ногами, раздѣляется силой  $T$  пополамъ, то есть когда

$$\epsilon = \frac{\xi - \eta}{2}.$$

Во второмъ случаѣ, когда равнодѣйствующая  $P$  проходитъ съ внѣшней стороны, самое неблагоприятное расположеніе имѣетъ мѣсто, когда уголъ  $ABC$  малъ; отодвигая  $AB$ , мы достигаемъ уменьшенія какъ  $\sigma_1$ , такъ и  $\sigma_2$  до тѣхъ поръ, пока

$$\xi - \eta = 90^\circ;$$

дальнѣйшее отклоненіе сопряжено съ уменьшеніемъ  $\sigma_2$ , но одновременно возрастаетъ и  $\sigma_1$ .

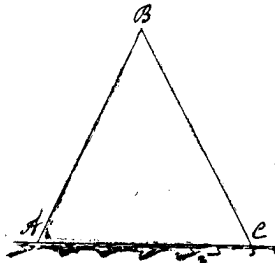
Если бы мы условились считать

$$\eta = \text{Const.}, \quad \varepsilon = \text{Const.},$$

то, полагая  $\xi$  переменнымъ, на основаніи такихъ же соображеній мы бы нашли, что, мѣняя уклонъ  $BC$ , мы мѣняемъ напряженіе въ обѣихъ ногахъ. Собственно говоря, эта задача ничѣмъ не отличается отъ предыдущей. Вообще сдѣланные нами выводы показываютъ, что есть возможность согласовать до нѣкоторой степени конструкцію копра съ имѣющимся подъ рукой матеріаломъ.

Такъ какъ опорамъ передаются усилія по направленію ногъ, то нижняя тяга  $AC$  можетъ быть устранена; въ этомъ случаѣ приходится концы ногъ укрѣплять неподвижно и неизмѣняемо по двумъ направленіямъ (если разсматривать, какъ мы это дѣлаемъ, плоскую ферму). Достигаютъ этого, примѣняя чугунные башмаки или плиты, прикрѣпляемые къ прочнымъ каменнымъ фундаментамъ при помощи анкеровъ. При деревянныхъ небольшихъ копрахъ, во избѣжаніе устройства башмаковъ и фундаментовъ, примѣняютъ часто нижнія тяги въ видѣ деревянныхъ лежней, въ которые впущены концы ногъ (черт. 26 и 38, описанные раньше).

Эти лежни, воспринимая давленіе ногъ  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ , сами подвергаются натяженіямъ  $\sigma'_3$  и  $\sigma''_3$ , направленнымъ вдоль ихъ и стремящимся отколоть части, находящіяся на внѣшней сторонѣ ногъ; при этомъ



Черт. 50.

$$\sigma'_3 = \sigma_1 \sin \eta = T \frac{\sin (\xi - \varepsilon)}{\sin (\eta + \xi)} \sin \eta, \quad (39)$$

$$\sigma''_3 = \sigma_2 \sin \xi = T \frac{\sin (\eta + \varepsilon)}{\sin (\eta + \xi)} \sin \xi.$$

Вертикальныя давленія у точекъ  $A$  и  $C$  (черт. 50) будутъ

$$p_1 = \sigma_1 \cos \eta = T \frac{\sin (\xi - \varepsilon)}{\sin (\eta + \xi)} \cos \eta, \quad (40)$$

$$p_1 = \sigma_2 \cos \xi = T \frac{\sin (\eta + \varepsilon)}{\sin (\eta + \xi)} \cos \xi.$$

Силою  $T$  передается всему устройству стремленіе къ горизонтальному передвиженію

$$T \cos \varepsilon = \sigma''_3 - \sigma'_3 = Q$$

и вертикальное давленіе

$$T \sin \varepsilon = p_1 + p_2 = \Pi$$

Горизонтальная сила можетъ передвинуть коперъ, если лежень прямо положенъ на землю безъ всякихъ укрѣпленій, въ томъ случаѣ, когда она превзойдетъ силу тренія. Выраженіе для аналогичнаго случая нами выведено на стр. 36. Если это условіе устойчивости не соблюдено, то приходится лежень закрѣплять искусственно.

Если бы мы положили лежень не горизонтально, а подъ нѣкоторымъ угломъ  $\delta$  къ горизонту, то напряженія въ этомъ лежнѣ опредѣляются нѣсколько иначе, а именно:

$$\begin{aligned} \sigma_3' &= \sigma_1 \sin (\eta + \delta), \\ \sigma_3'' &= \sigma_2 \sin (\xi - \delta), \\ p_1 &= \sigma_1 \cos (\eta + \delta), \\ p_2 &= \sigma_2 \cos (\xi - \delta). \end{aligned} \tag{41}$$

Интересующее насъ общее передвигающее усиліе вдоль плоскости лежня и нормальное къ ней опредѣляется выраженіями

$$\begin{aligned} s &= T \sin (\delta - \varepsilon), \\ p &= T \cos (\delta - \varepsilon); \end{aligned} \tag{42}$$

при  $\delta = \varepsilon$   $s$  дѣлается равнымъ нулю; однако такая величина  $\delta$  практически не мыслима. Въ дѣствительности можно нѣсколько увеличить устойчивость копра, придавъ грунту легкую покатость отъ подъемной машины путемъ снесенія извѣстной части поверхности или путемъ настилки твердаго матеріала такъ, чтобы онъ не передвигался. Въ разсматриваемомъ случаѣ устойчивость будетъ дана неравенствомъ

$$f \left[ T \cos (\delta - \varepsilon) + \frac{G}{2} \cos \delta \right] T > \sin (\delta - \varepsilon) - \frac{G}{2} \sin \delta,$$

гдѣ  $G$ —вѣсъ копра; приэтомъ предполагается, что половина его включена въ равнодѣйствующую  $T$ , а вторая воспринимается непосредственно опорами.

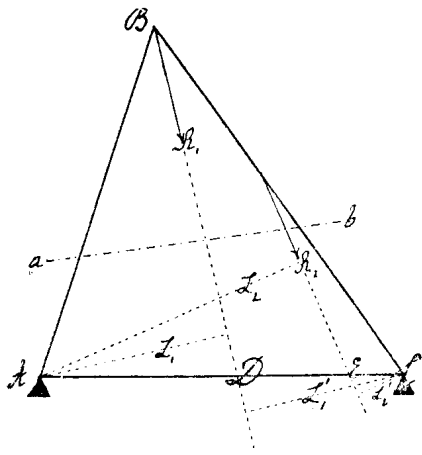
Разсмотримъ теперь случай призматическаго копра для отдѣленій, расположенныхъ одно за другимъ. Основной фигурой фермы такого

копра будетъ треугольникъ съ одной силой, приложенной въ вершинѣ, и другой—непосредственно къ задней ногѣ (черт. 51), такъ какъ шкивы располагаются одинъ у вершины, а другой ниже на ногѣ. Пусть равнодѣйствующая  $T_1$  верхняго шкива наклонена къ вертикали подѣ угломъ  $\varepsilon_1$ , а равнодѣйствующая нижняго  $T_2$ —подѣ угломъ  $\varepsilon_2$ . Высота расположенія шкивовъ надѣ горизонтомъ— $H$  и  $H_1$ ; остальные

обозначенія прежнія. Составимъ уравненія моментовъ по отношенію къ опорамъ  $A$  и  $C$ , не обращая вниманія на направленіе силъ, и согласно сѣченію  $ab$

$$\sigma_1 L \cos \eta + T_1 L_1' + T_2 L_1' = 0,$$

$$\sigma_2 L \cos \xi + T_1 L_1 + T_2 L_2 = 0.$$



Черт. 51.

Въ этихъ уравненіяхъ  $L$  обозначаетъ разстояніе опоръ,  $L_1, L_2, L_1', L_2''$ —перпендикуляры, опущенные съ узловъ по направленію силъ  $T_1, T_2, \sigma_1, \sigma_2$ . Согласно

чертежу онѣ равны

$$L_1 = AD \cos \varepsilon_1, \quad L_2 = AE \cos \varepsilon_2, \quad L_1' = CD \cos \varepsilon_1, \quad L_2' = CE \cos \varepsilon_2.$$

Кромѣ того

$$AD = H(\operatorname{tg} \eta + \operatorname{tg} \varepsilon_1); \quad CE = H_1(\operatorname{tg} \xi - \operatorname{tg} \varepsilon_2); \quad AC = L = H(\operatorname{tg} \xi + \operatorname{tg} \eta);$$

$$CD = H(\operatorname{tg} \xi - \operatorname{tg} \varepsilon_1); \quad AE = H(\operatorname{tg} \xi + \operatorname{tg} \eta) - H_1(\operatorname{tg} \xi - \operatorname{tg} \varepsilon_2).$$

Послѣ подстановокъ наши уравненія примутъ видъ

$$-\sigma_1 H(\operatorname{tg} \eta + \operatorname{tg} \xi) \cos \eta = T_1 H(\operatorname{tg} \xi - \operatorname{tg} \varepsilon_1) + T_2 H_1(\operatorname{tg} \xi - \operatorname{tg} \varepsilon_2) \cos \varepsilon_2,$$

$$-\sigma_1 H(\operatorname{tg} \eta + \operatorname{tg} \xi) \cos \xi = T_1 H(\operatorname{tg} \eta + \operatorname{tg} \varepsilon_1) + T_2 H(\operatorname{tg} \xi + \operatorname{tg} \eta) \cos \varepsilon_2 - \\ - T_2 H_1(\operatorname{tg} \xi - \operatorname{tg} \varepsilon_2) \cos \varepsilon_2.$$

Если вставимъ въ эти выраженія вмѣсто суммъ и разностей тангенсовъ ихъ выраженія въ функціи  $\sin$  и  $\cos$  суммъ угловъ, то послѣ сокращеній получимъ

$$-\sigma_1 H \frac{\sin(\eta + \xi)}{\cos \xi} = T_1 H \frac{\sin(\xi - \varepsilon_1)}{\cos \xi} + T_2 H_1 \frac{\sin(\xi - \varepsilon_2)}{\cos \xi},$$

$$-\sigma_2 H \frac{\sin(\eta + \xi)}{\cos \eta} = T_1 H \frac{\sin(\xi - \varepsilon_1)}{\cos \eta} + T_2 H \frac{\sin(\eta + \xi)}{\cos \xi \cos \eta} \cos \varepsilon_2 - T_2 H_1 \frac{\sin(\xi - \varepsilon_2)}{\cos \xi}$$

и отсюда окончательно

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= -T_1 \frac{\sin(\xi - \varepsilon_1)}{\sin(\eta + \xi)} - T_2 \frac{H_1 \sin(\xi - \varepsilon_2)}{H \sin(\eta + \xi)}, \\ \sigma_2 &= -T_1 \frac{\sin(\eta + \varepsilon_1)}{\sin(\eta + \xi)} + T_2 \frac{H_1 \sin(\xi - \varepsilon_2) \cos \eta}{H \sin(\eta + \xi) \cos \xi} - T_2 \frac{\cos \varepsilon_2}{\cos \xi}. \end{aligned} \quad (43)$$

Если положить  $T_2 = 0$ , то эти выражения переходят въ уравненія (37), выведенныя для случая, когда сила не выходитъ по ту сторону угла, составляемаго ногами; они переходятъ въ эти же формулы, если силу  $T_2$  предположимъ перенесенной въ вершину, то есть положимъ

$$T_1 = 0, \quad H_1 = H.$$

Это можетъ, пожалуй, служить провѣркой справедливости вывода. Если бы обѣ силы выходили по ту сторону копра, то по аналогіи съ выраженіями (38) мы можемъ написать

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= -T_1 \frac{\sin(\xi + \varepsilon_1)}{\sin(\eta - \xi)} + T_2 \frac{H_1 \sin(\xi + \varepsilon_2)}{H \sin(\eta - \xi)}, \\ \sigma_2 &= -T_1 \frac{\sin(\eta + \varepsilon_1)}{\sin(\eta - \xi)} - T_2 \frac{H_1 \sin(\xi + \varepsilon_2) \cos \eta}{H \sin(\eta - \xi) \cos \xi} - T_2 \frac{\cos \varepsilon_2}{\cos \xi}. \end{aligned} \quad (44)$$

Комбинируя соотвѣтственно уравненія (43) и (44) съ (37) и (38), мы можемъ легко безъ новыхъ выводовъ составлять выраженія, опредѣляющія напряженія въ случаяхъ, когда одна изъ силъ помѣщается внутри копра, другая же выходитъ наружу его.

Кромѣ того, не анализируя ближе нашихъ выводовъ, на основаніи только полной аналогіи ихъ съ формулами (37) и (38) мы можемъ сказать, что увеличивая или уменьшая уголъ, составляемый ногами, мы можемъ измѣнять напряженіе и будетъ

$$\text{Min } \sigma_1 \text{ при } \eta + \xi = 90^\circ \text{ или при } \eta - \xi = 90^\circ.$$

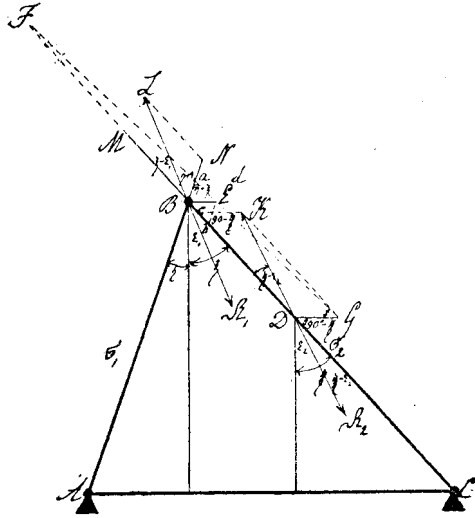
Графическій способъ расчета можно предложить слѣдующій. Продолжимъ  $T_1$  и  $T_2$  (черт. 52, стр. 62) въ противоположныя стороны и отложимъ на этихъ продолженіяхъ равныя величины  $LB$  и  $DK$ . Силу  $LB$  разлагаемъ по продолженіямъ направленій  $AB$  и  $CB$ .

Силу  $DK$  — по направлению ноги  $BC$  и горизонтальному. Въ свою очередь горизонтальную силу  $DG$  разлагаемъ на силу, приложенную въ вершинѣ  $B$  и въ опорѣ  $C$ ; для этого на продолженіи  $BC$  откладываемъ  $BF$ , равное  $DC$ , и соединяемъ  $G$  съ  $F$ . Пересѣченіе горизонтальной прямой, проведенной черезъ  $B$ , съ  $GF$  даетъ намъ искомую длину  $BE$ , ибо

$$\frac{DG}{BE} = \frac{DF}{BF} = \frac{BC}{DB} = \frac{H}{H_1},$$

откуда

$$BE = DG \frac{H_1}{H};$$



Черт. 52.

разлагая наконецъ  $BE$  по направлениямъ  $AB$  и  $BC$ , будемъ имѣть

$$\sigma_1 = BN + Ba,$$

$$\sigma_2 = Dc + BM - Bb.$$

Опредѣлимъ эти силы въ функціи  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $H$ ,  $H_1$  и угловъ; изъ треугольника  $BML$  имѣемъ

$$\frac{ML}{\sin(\xi - \epsilon_1)} = \frac{MB}{\sin(\eta + \epsilon_1)} = \frac{-T_1}{\sin(180 - \eta - \xi)};$$

а такъ какъ  $ML = BN$ , то

$$BN = -T_1 \frac{\sin(\xi - \epsilon_1)}{\sin(\eta + \xi)},$$

$$BM = -T_1 \frac{\sin(\eta + \epsilon_1)}{\sin(\eta + \xi)}.$$

Изъ треугольника  $DKG$  имѣемъ

$$\frac{DG}{\sin(\eta - \epsilon_2)} = \frac{GK}{\sin(90 + \epsilon_2)} = \frac{-T_2}{\sin(90 - \xi)},$$

и такъ какъ  $GK = Dc$ , то

$$Dc = -T_2 \frac{\cos \varepsilon_2}{\cos \xi},$$

$$DG = -T_2 \frac{\sin(\xi - \varepsilon_2)}{\cos \xi},$$

такъ что

$$BE = -T_2 \frac{H_1}{H} \frac{\sin(\xi - \varepsilon_2)}{\cos \xi}.$$

Наконецъ изъ треугольника  $BEa$  слѣдуетъ, что

$$\frac{Ba}{\sin(90 - \xi)} = \frac{Ea}{\sin(90 - \eta)} = \frac{BE}{\sin(\eta + \xi)};$$

опять таки въ виду того, что  $Ea = Bb$ , имѣемъ

$$Bb = -T_2 \frac{H_1 \cos \eta}{H \cos \xi} \frac{\sin(\xi - \varepsilon_2)}{\sin(\eta + \xi)},$$

$$Ba = -T_2 \frac{H_1}{H} \frac{\sin(\xi - \varepsilon_2)}{\sin(\eta + \xi)}.$$

Теперь произведемъ подстановку, чтобы получить раньше выведенныя формулы.

Для опредѣленія опорныхъ сопротивленій составимъ уравненіе моментовъ силъ у вершины  $B$

$$Bd T_2 + \sigma_3 H = 0;$$

но

$$Bd = (H - H_1) \frac{\sin(\xi - \varepsilon_2)}{\cos \xi},$$

а слѣдовательно у насъ будетъ имѣться горизонтальная сила

$$\sigma_3 = -T_1 \left(1 - \frac{H_1}{H}\right) \frac{\sin(\xi - \varepsilon_2)}{\cos \xi},$$

кромѣ, конечно, силъ  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ .

При помощи построения легко найти какъ силу  $\sigma_3$ , такъ и равнодѣйствующую ея съ  $\sigma_2$ . Способъ, показанный на чертежѣ 53 (стр. 64), понятенъ:  $Cg = DB$ —это та часть силы  $DG$ , которая при разложеніи

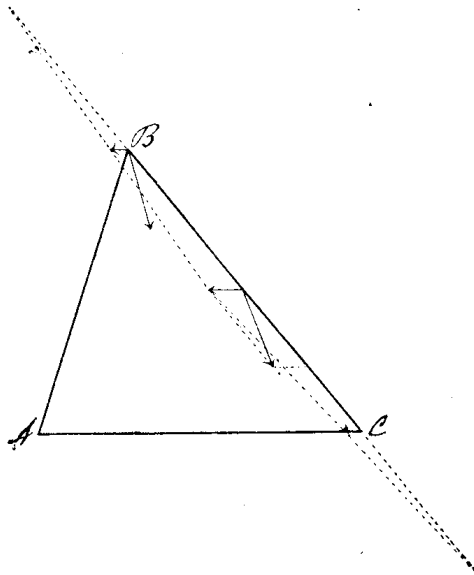


$T_2$  предполагалась воспринятой непосредственно опорой  $C$ . Если нижняя тяга отсутствует, что, впрочем, имѣетъ мѣсто при всѣхъ серьезныхъ сооруженіяхъ, то фундаменты приходится рассчитывать такъ, чтобы они воспринимали силы: 1) въ опорѣ  $A$  по величинѣ  $\sigma_1$  и 2) направленную по ногѣ въ опорѣ  $C$  силу

$$\rho = \sqrt{\sigma_3^2 + \sigma_2^2 - 2\sigma_3\sigma_2\sin\eta} \quad (45)$$

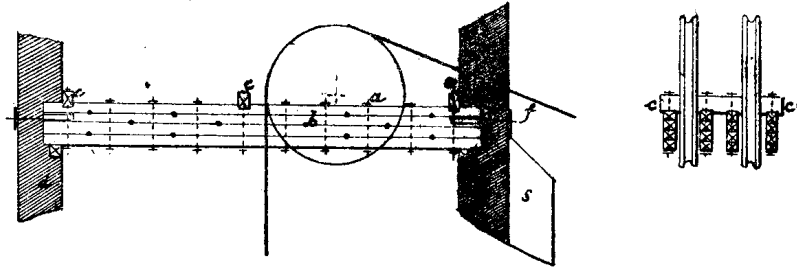
подъ угломъ къ горизонту  $\gamma$ , определяемымъ изъ равенства

$$\sin\gamma = \frac{\sigma_3}{\sigma_2}\cos\eta \quad (46)$$

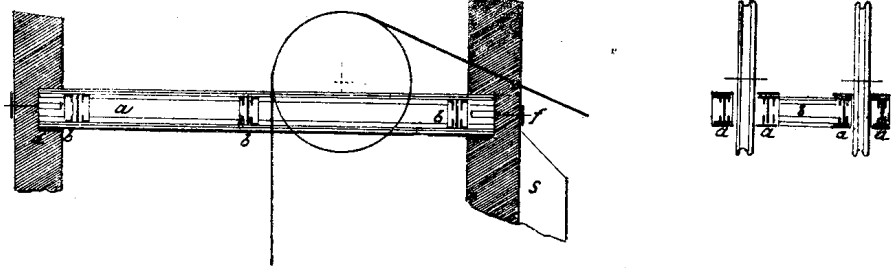


Черт. 53.

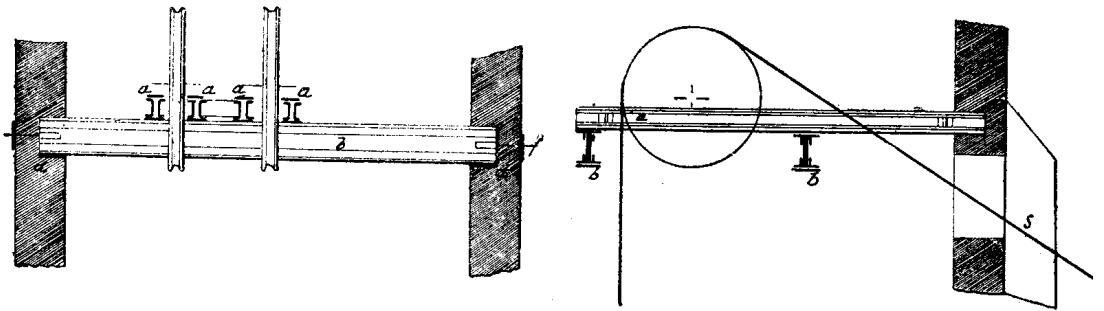
Чер. 7.



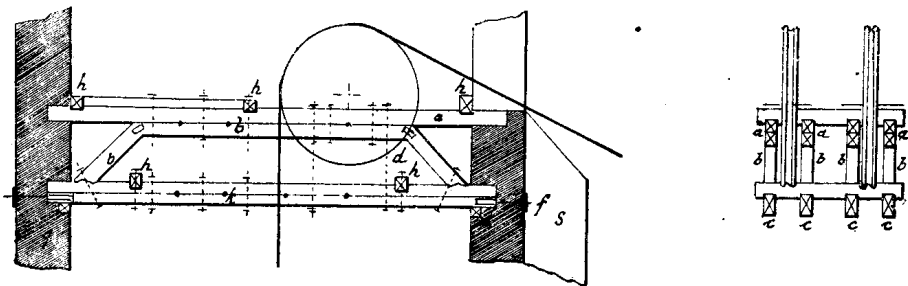
Чер. 8.



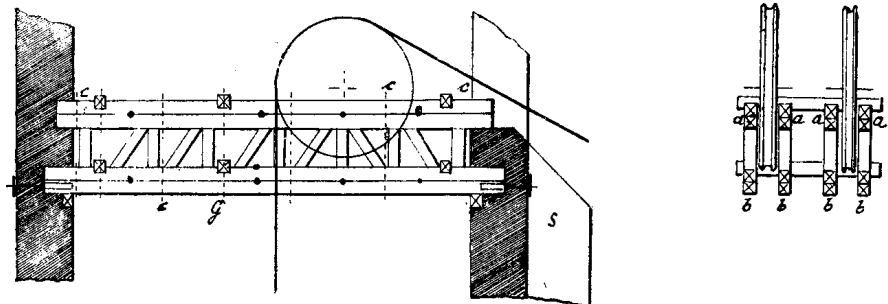
Чер. 9.



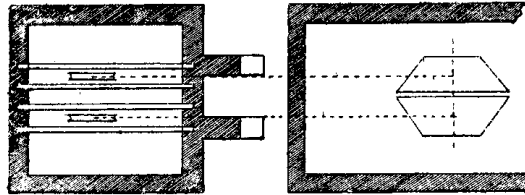
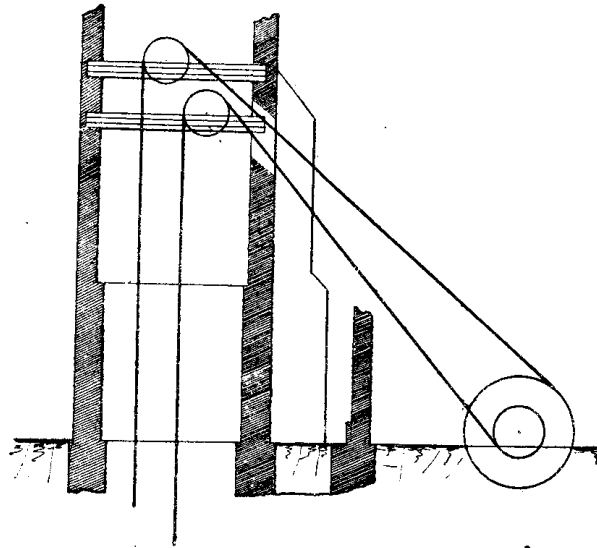
Чер. 10.



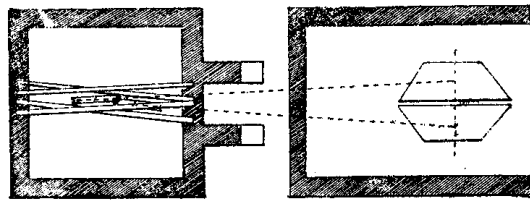
Чер. 11.



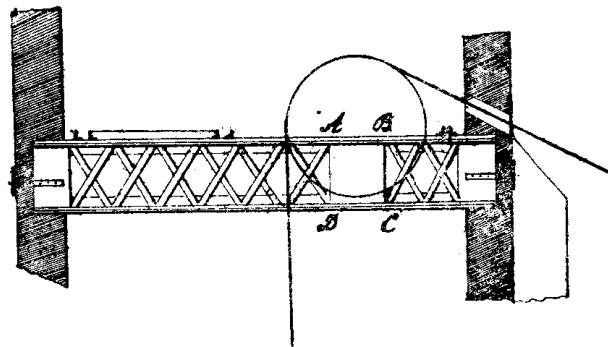
Чер. 14.



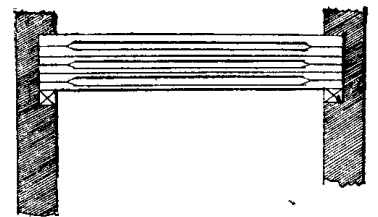
Чер. 15.



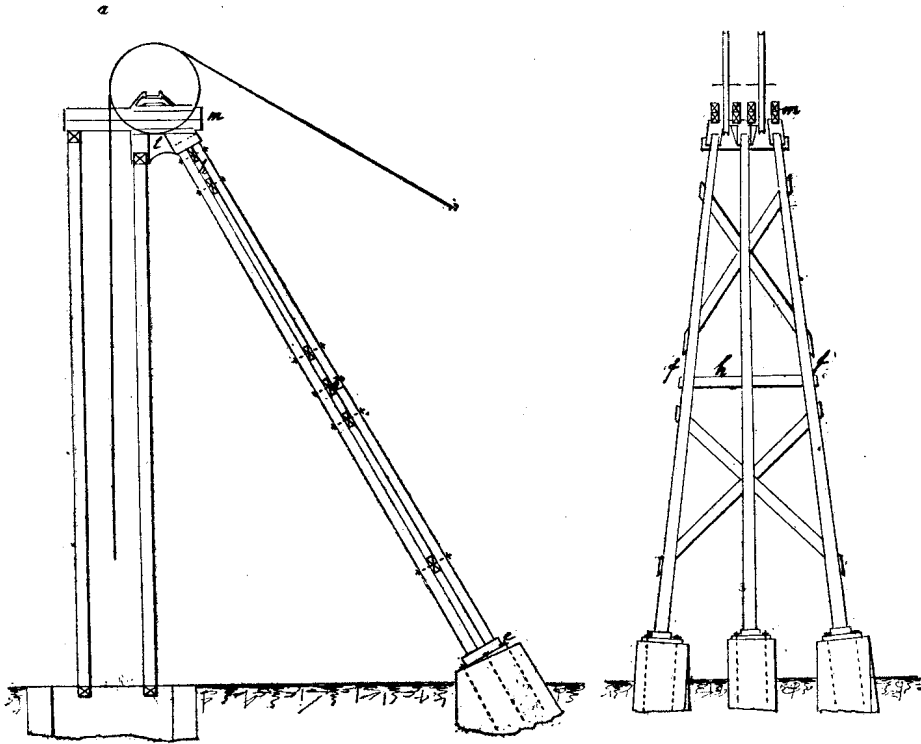
Чер. 12.



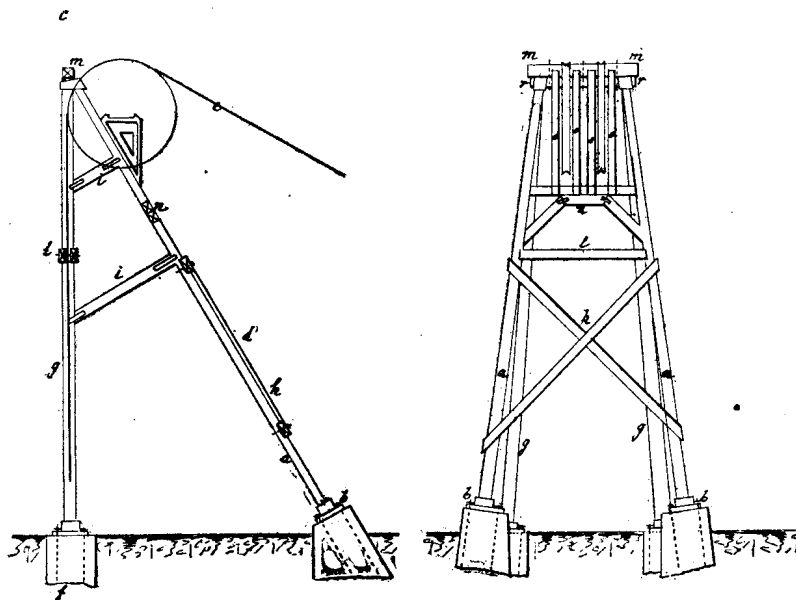
Чер. 6.



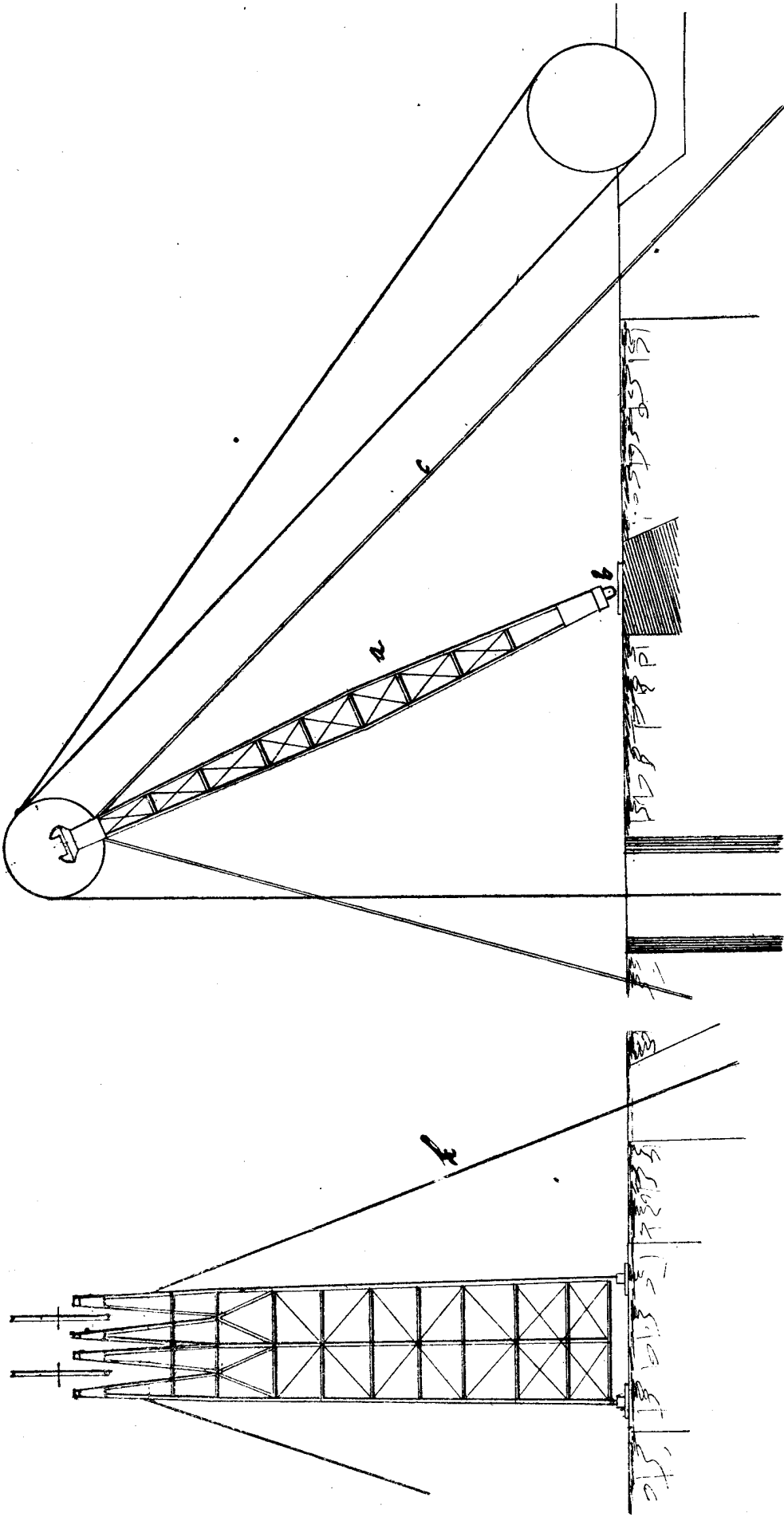
Чер. 25.



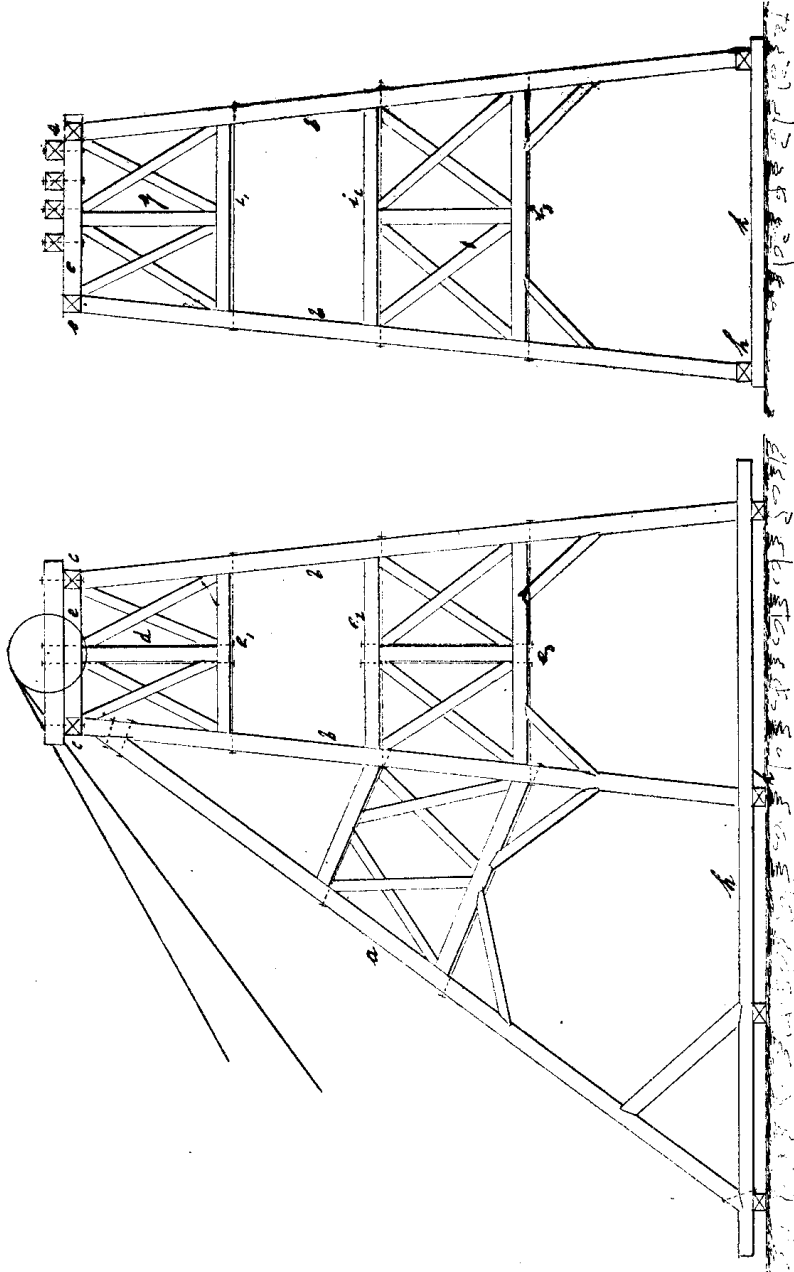
Чер. 40.



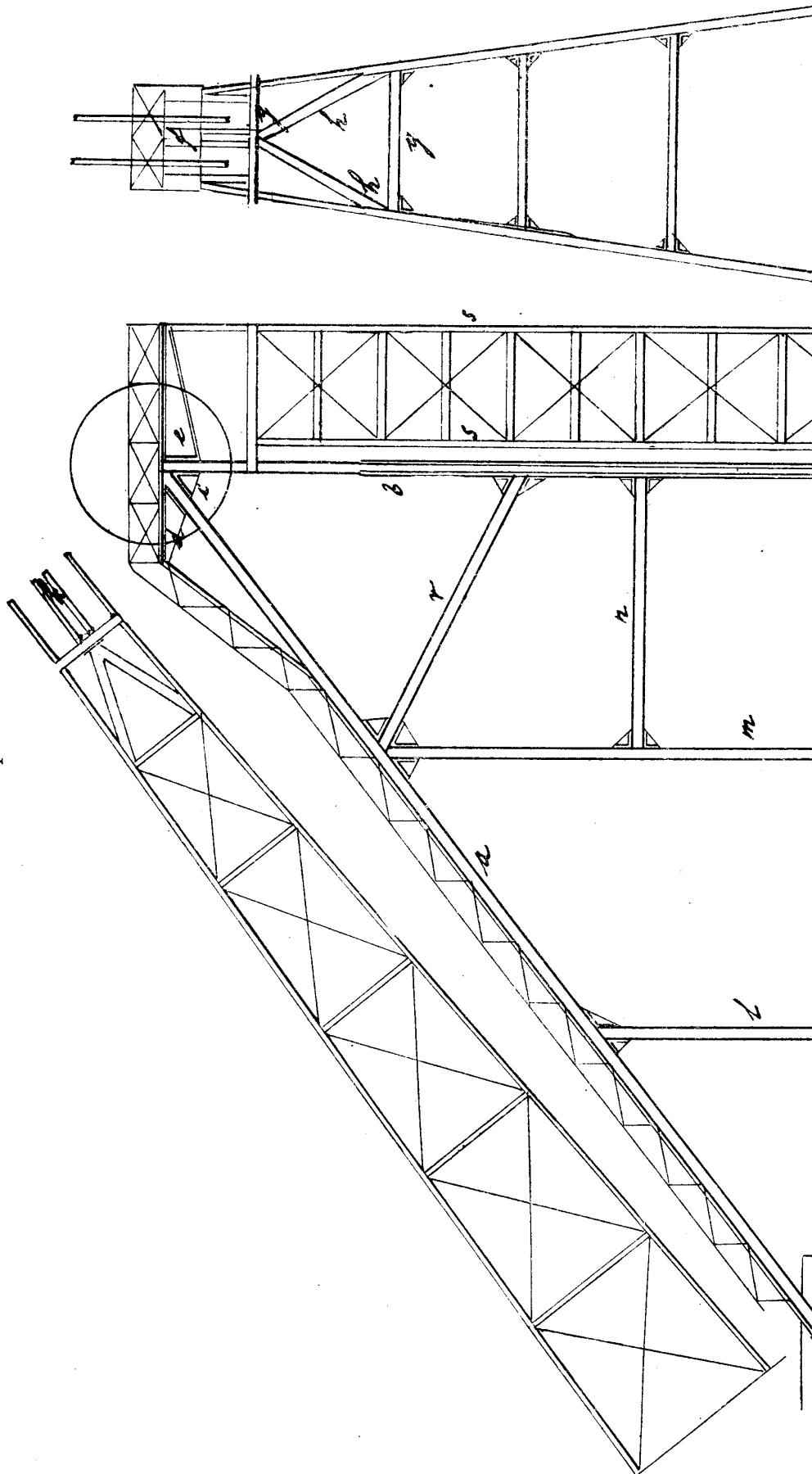
Чер. 2б.



Чер. 38.



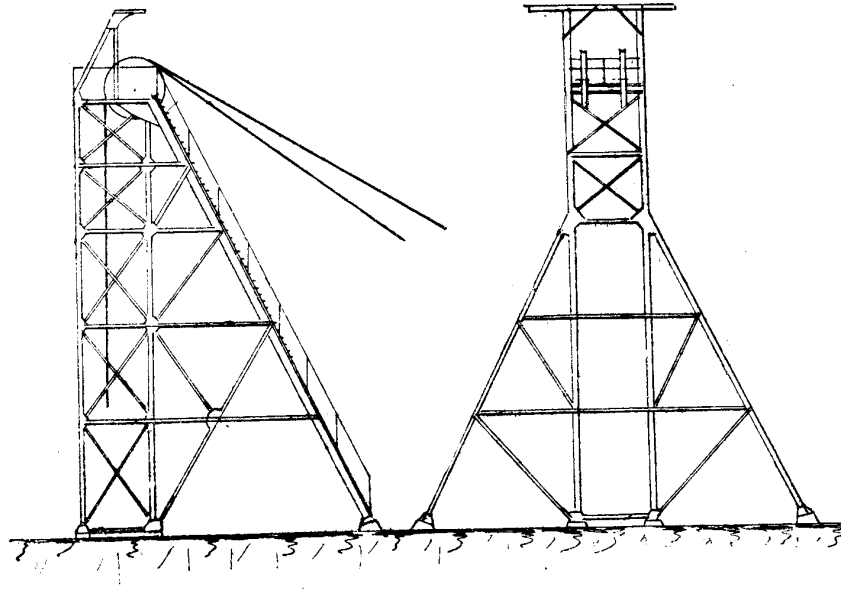
Чер. 31.







Чер. 41.



Чер. 13.

