

Типовой парашют сибирских копей с точки зрения безопасности при подъеме.

(К статье 2 стр. чертежей).

Парашют—это чрезвычайно распространенная принадлежность подъемных клетей, употребляемых в горном деле. Его назначение—остановить подъемную клеть в случае обрыва подъемного каната и тем предупредить смерть или искалечение целого ряда лиц, которые в такой момент находились бы в клетке (спуск и подъем рабочих и служащих) но ввиду того, что почти всегда одна и та же клеть служит и для пассажирских, и для грузовых поездок, парашют принято теперь устанавливать на всех клетях. Несмотря на это, парашют очень мало изучен теоретически и в особенности в русской литературе. Поэтому на практике случается видеть парашюты, которые никогда не будут действовать в нужных обстоятельствах и представляют своим весом только излишнюю нагрузку каната. Здесь я попытаюсь дать более или менее точную характеристику парашюта с непосредственным действием пружины, который наиболее распространен на Сибирских коях.

I. Идея парашюта.

Схематически парашют представлен на рис. 1. Подъемный канат прикрепляется к болту А, которые посредством рычагов Д передают вращение 2-м валам, расположенным поперек клетки. Концы этих валов несут упоры К—последние во время работы будут прижаты к шахтовым проводникам. Тот же болт А служит осью винтовой пружины, которая одной плоскостью обреза опирается на верхние скрепления клетей, а другой на шайбу болта.

В работе подъемный канат действует на болт А и сжимает пружину. Одновременно тяги В поворачивают валы и отжимают упоры от шахтных проводников. В случае обрыва каната болт А оттягивается пружиной вниз, тяги В поворачивают валы упоров и нажимают последние к проводникам. Развивающееся трение останавливает клеть. Таков же по идее парашют на рис. 2, с одной конструктивной разницей, что пружина имеет свою ось тот же вал, на котором насажен упор, почему отпадает надобность в шарнирном соединении этого вала с болтом А: он соединен цепью В. В том и другом парашюте подъемный канат действует на пружину лишь до тех пор, пока не будут натянуты поддерживающие цепи (в углах клетки).

II. Возбуждение силы парашюта.

Из этого описания ясно, что действующей силой парашюта является пружина, и, разумеется, также ясно, что силой тяжести (весом груза) воспользоваться здесь нельзя, невозможно. Представим себе, что вместо пружины был бы взят груз. Тогда при обрыве каната клеть и связанный с ней парашют с грузом находились бы в состоянии свободного падения с ускорением «g» (грубо говоря); относительное положение частей, в частности и груза, совершенно не изменилось бы, и, следовательно, упоры парашюта свободно повесили бы в воздухе в полном бездействии. Я останавливаюсь на этом вопросе потому, что до сих пор встречаются парашюты, где роль возбуждающей силы отводится грузу, и конструкторы подобных парашютов, очевидно, еще не свободны от заблуждения.

III. Детали парашюта.

Соответственно схеме 1, парашют состоит из следующих деталей: 1. стержня (или болта) парашюта «А», 2. 2-х тяг «В» (соединяющих болт «А» с валами упоров). 3. 2-х рычагов «Д», 4. 2-х валов, на обоих концах которых насажены упоры (с необходимыми опорами), 5. этих упоров «К», 6. пружины, 7. 2-х деревянных проводников, прикрепленных к стволу шахты.

Соответственно схеме 2-й, парашют состоит из тех же деталей с следующими изменениями: 1) тяги «В» заменяются цепями, 2) пружины расположены на тех же валах, что и упоры и стало быть, имеют горизонтальную ось.

Весь смысл первого изменения (замена тяг цепями) совершенно ясен, так как пружины здесь непосредственно поворачивают валы упоров (а не через болт «А» и тяги «В») — и в жестком соединении нет никакой нужды.

IV. Запас прочности при расчете парашюта и его деталей.

Согласно Горных Правил (см. Правила для ведения горных работ в валах их безопасности Изд. М. Т. II. 1911 г. §§ 116, 117, 118 и 128), металлические канаты для подъема должны представлять не меньше, как 6-ти кратную прочность по отношению к наибольшему поднимаемому грузу, включая и вес самого каната. Там же указывается, что предельное (временное) сопротивление разрыву проволок должно быть не менее 18000 kg/cm². Таким образом для целей подъема указывается пользоваться лишь материалом высокого качества и при обязательном условии 6 кратного запаса прочности (не менее!).

Исходя из соображений равнопрочности всех деталей конструкции, одинаково ответственных в работе, полагаю необходимым принять запас прочности при расчете парашюта также 6.

Таким образом для металлов обязательно высокого качества должно быть принято:

1. Для железа не более 700 кгр/см².
2. » стали » » 1000 кгр/см².

V. Силы, действующие на парашют.

а. Подъем (Спуск) на канате.

Во время подъема или спуска на канате на клеть действуют силы, которые схематически изображены на рис. 3.

Равнодействующая всех сил «Р» равна

$$1. P = G + G_1 + G_0 \pm m \frac{d^2 x}{dt^2} + \Sigma T;$$

здесь G — вес клетки,

G_1 — вес полезного груза с тарой вагонетки,

G_0 — вес хвостового каната,

m — масса движущихся частей, равная

$$m = \frac{G + G_1 + G_0}{g}$$

$\frac{d^2 x}{dt^2}$ — ускорение движения (знак $+$ для подъема — для спуска) ΣT — сила трения

в проводниках, всегда направленная против движения.

При полном уравнивании G_0 должно быть принято равным 0 (в выражении массы G_0 останется и тогда).

Сила трения ΣT равняется 4% от суммы всех движущихся весов, включая и вес подъемного каната¹⁾

$$2. \Sigma T = 0,04 (G + G_1 + G_0 + G_k), \text{ где } G_k \text{ — вес под. каната.}$$

Ускорение $\left(\frac{d^2 x}{dt^2}\right)$ м. б. определено следующим образом.

Примерная диаграмма скорости клетки для парового подъема представлена на рис. 4 и является совершенно типичной.

Пунктирная кривая отвечает тем условиям работы, при которых живая сила системы полностью переходит в работу вредных сопротивлений—условие, выполнимое лишь при шахте большой глубины²⁾. Полная кривая соответствует обычным условиям, когда силам инерции системы противодействуют наряду с вредными сопротивлениям сила тормажения парового или ручного тормоза и иногда контр-пар. Периоды ускорения (t_1) обычно короче периода замедления (t_2) и особенно, как показывают опыты, при цилиндрических барабанах без хвостового каната³⁾. По абсолютной величине эти периоды равны при паровом подъеме: период ускорения 3—10 сек., период замедления 12—40 сек. без хвостового каната и при наличии последнего 6—20 сек.⁴⁾. Кривая OA с достаточной точностью м. б. принята за параболу. Тогда ускорение (в период ускорения t_1) будет найдено таким образом.

Площадь параболического A OAK равна пройденному пути, т. е.

3. $St = \frac{2}{3} V_m t_1$, а для какого-нибудь произвольного момента «t» в этот период аналогично.

4. $St = \frac{2}{3} V t_1$ где «V»—будет скорость в этот момент.

Беря производную, получаем

$$\frac{ds}{dt} = \frac{2}{3} (V + t \frac{dv}{dt}), \text{ но } \frac{ds}{dt} = V, \text{ отсюда}$$

$$V - \frac{2}{3} V = \frac{2}{3} t \frac{dv}{dt} \text{ и далее}$$

5. $w = \frac{dv}{dt} = \frac{V}{2t}$. Здесь «w»—уже ускорение для произвольного момента времени (в период ускорения).

Для начала этого периода ($t=0$) $w \rightarrow \infty$ имеет наибольшее значение, для конца

$$6. wt = t_1 = \frac{V_m}{2t_1}$$

Среднее ускорение

$$7. W_m = \frac{V_m}{t_1}. \text{ Ясно; что движение начинается ударом, несомненно крайне}$$

вредным для всех частей механизма. В качестве расчетного ускорения мы возьмем все-же среднее и, стало быть, должны для этого определить скорость периода равномерного движения. Эта скорость движения в шахте устанавливается достаточно определенно правилами производства горных работ и представляет известную дробь от глубины шахты.

¹⁾ См. Маковский, Описание рудничных подъемов.

²⁾ См. Behr, Winding Engines, изд. 1912.

³⁾ См. Enters, »

⁴⁾ ibidem p. 127.

Именно:	для шахт глубиною	75м	скорость =	1/25	глуб. т.-е.	3м/с
»	»	»	105»	»	»	3,5 »
»	»	»	150»	»	»	4,3 »
»	»	»	225»	»	»	5,6 »
»	»	»	300»	»	»	6,6 »
»	»	»	450»	»	»	8,2 »
»	»	»	900»	»	»	10,6 »
»	»	»	более»	»	»	до 16 »

Отсюда среднее ускорение (в период ускорения) для парового подъема определится от 0,3 до 1,2 m/s^2 , что вполне согласуется и с давними опыта как лично моими, так и обширными опытами Futers'a ¹⁾.

В случае электрического подъема диаграмма скорости клетки имеет типичный вид рис. 5.

Периоды ускорения (t_1), и замедления (t_3) здесь равны, и изменение скорости следует закону прямой линии.

Длительность того и другого периода колеблется в пределах от 3 до 20 сек. в зависимости от глубины шахты.

Ускорение постоянно, очевидно, и равно также от 0,3 до 1,2 m/s^2 .

Ввиду бесконечно больших значений ускорения вначале движения при паровом подъеме следует в расчетах в качестве среднего ускорения принимать наибольшее возможное, т. е. 1 m/s^2 ; при электрическом же подъеме ускорение м. б. всякий раз индивидуализировано с изменениями в указанных выше пределах.

Во время спуска или подъема на канате парашют удерживается в совершенном бездействии частью этой силы «Р» (см. оборот ниже) таким образом это—период пассивного состояния парашюта.

В. Подъем (спуск) при обрыве каната.

1. Канат обрывается при спуске.

В этот момент движущиеся массы клетки обладают значительной кинетической энергией, которую и должен поглотить парашют.

Ясное дело, что израсходованная потенциальная энергия пружины парашюта как раз д. б. равна кинетической энергии движущихся масс. Самое явление остановки клетки м. б. схематически представлено т. о. (см. № 6, 7 и 8)

Из рисунков очевидно, что угол поворота упора во время процесса торможения равен разности полного угла поворота и угла свободного хода ($a_2 + \varphi_1$). На практике всегда можно достигнуть равенства $a_2 = \varphi_1$ и т. о. сделать $a_0 = 2\varphi_1$. Полный угол поворота обычно бывает различным, в зависимости от того, какова инерция частей парашюта. При малой величине этого угла парашют приходит в действие даже при перемене хода клетки (в начале подъема и спуска при снятии клетки с кулаков). Поэтому его сле-

дует делать не менее $\frac{\pi}{2} \left(\frac{\pi}{2} \right)$ Но во всех случаях угол торможения (φ_2) колеблется в пределах около $\frac{\pi}{4}$ В дальнейшем и можно принять его равным

$$8. \varphi_2 = \frac{\pi}{4}$$

Нажатие упоров вызывает силу трения между упором и проводником, которая, работая на известном пути (s), останавливает клеть (см. рис. 8). Соот-

¹⁾ См. Правила для ведения горных работ М. Т. и П. 1911.

¹⁾ Futers, Winding Engines.

ношение между действующими силами м. б. получено на основании закона живых сил:

$$9. \quad mgS + \frac{mv^2}{2} = \int_0^s F ds = \int_0^s N \mu ds, \text{ где}$$

m — масса движущихся частей (см. выше)

N — нормальная сила

T — сила трения

μ — коэффициент трения скольжения

Состояние пружины во время торможения будет следующее:

а) Пружина с вертикальной осью (см. рис. I)

Пружина, освобожденная от действия подъемного крана, выпрямляется и вместо прежней высоты « h », получает высоту « h_1 ». Между силой, действующей на пружину и ее деформацией, существует линейная зависимость, именно ¹⁾:

круглые сечения—для цилиндрической пружины

$$10. \quad f = \frac{64 P n R^3}{G \delta^4},$$

конической

$$11. \quad f = \frac{16 P n R^3}{G \delta^4}$$

P — действующая сила

n — число винтов

R — средний радиус пружины (для конической в наиболее удаленной) части

G — модуль сдвига

δ — диаметр проволоки

прямоугольные сечения
цилиндрической

$$12. \quad f = \frac{7,2 \Pi n R^3 (b^2 + h^2)}{b^3 h^3} \frac{P}{G};$$

конической

$$13. \quad f = 1,8 \Pi R^3 n \frac{b^2 + h^2}{b^3 + h^3} \frac{P}{S};$$

f — деформация в направлении силы

« b и h » — стороны прямоугольного сечения (b — меньшая h — большая)

Всем формулам может быть придан один и тот же вид:

$$14. \quad P = A f.$$

где « A » означает постоянную величину.

Графический эта зависимость выразится прямой, проходящей через начало координат (в осях P и f см. рис. 9). На рис. 9 начало координат соответствует совершенно свободной пружине, точка « M » максимальному сжатию пружины при действии каната (f_{\max}) точка « A » сжатию при начале торможения и « D » конец торможения.

¹⁾ См. Hütte 1902, 419.

Если приведенное передаточное число от пружины до упора обозначим через « k », сила « N » (см. рис. 8) выразится для каждого момента торможения.

$$15. N = k P_x \quad \text{где } P_x \text{ — сила пружины}$$

А интеграл

$$\int_0^s N \mu ds = \int_0^s \mu k P_x ds = \int_0^{fs} \mu k P_x \frac{df}{k_1} \text{ и}$$

$$16. \int_0^s N \mu ds = \mu \frac{k}{k_1} S_{ABCD} \left(k_1 \text{ — отношение } \frac{fs}{S} \right),$$

т. е. будет пропорционален площади трапеции S_{ABCD} , которая выражает разность значений потенциальной энергии для начала и конца торможения.

$\left(\frac{1}{k_1} \text{ — отношение пути к деформации } fs \right)$. Величина силы « P_e » — конца торможения — совершенно очевидна. Она д. б. равна (учитывая передачи) общему весу клетки, т. е.

$$17. N_1 \mu = p_e k = mg, \text{ отсюда}$$

$$18. p_e = \frac{mg}{\mu k}$$

Площадь трапеции S_{ABCD} будет равна

$$19. S_{ABCD} = \frac{(p_e + p_b) fs}{2} = \frac{mg}{2\mu k} fs + \frac{p_b fs}{2}$$

Уравнение живых сил после подстановки перейдет в следующее:

$$mg \frac{fs}{k_1} + \frac{mv^2}{2} = \frac{1}{2} \frac{mg fs}{k_1} + \frac{p_b fs \mu k}{2 k_1}$$

Отсюда

$$20. p_b = \frac{G + G_1 + G_0}{\mu} \left(\frac{v^2}{q fs \frac{k}{k_1}} + \frac{1}{k} \right)$$

Наибольшая сила, действующая на пружину, превышает « p_b » не более, чем на 10%, так как свободный ход пружины делается из конструктивных соображений 0.1 fs

$$21. P_{max} = 1.1 p_b = 1.1 \frac{(G + G_1 + G_0)}{\mu} \left(\frac{v^2}{b fs \frac{k}{k_1}} + \frac{1}{k} \right)$$

Передаточные числа « k и k_1 » могут быть определены на основании таких соображений.

На рис. 10 изображены передаточные тяги в двух положениях при пассивной пружине и в конце торможения. На основании начала возможных перемещений:

$$22. P \delta fs = N l_1 \frac{1}{\cos \alpha_1} \delta \alpha_1 \quad (\text{для любого угла поворота}).$$

При бесконечно малом повороте движ. дуги радиуса « l_2 » можно считать равной « fs » — вертикальному перемещению точки приложения силы, P т. е.

$$23. \delta fs = l_2 \delta \alpha_1$$

После постановки

$$P l_2 = N l_1 \frac{1}{\cos \alpha_1} \text{ и}$$

$$24. K = \frac{N l_2 \cos \alpha_1}{P l_1}$$

Соответственно с прежними рассуждениями, угол « α » принимает значения от « φ_1 » до « φ_2 », т. е. от 0 до $\alpha = \frac{\pi}{4}$. Следовательно, « K » изменяется от

$$K = \frac{l_2}{l_1} \cdot 1 = \frac{l_2}{l_1} \text{ до } K = \frac{l_2}{l_1} \frac{V_2}{2} = 0,7 \frac{l_2}{l_1}$$

Отношение $\frac{l_1}{l_2}$ обычно равно 1:2

Тогда

$$K = 1 \cdot 2 = 2 \quad \text{в начале тормажения}$$

$$K = 9,7 \cdot 2 = 1,5 \quad \text{в конце } \quad \text{»} \quad \text{т. е.}$$

становится к концу тормажения менее благоприятным « K_1 » найдем аналогичным путем. Движение на пути « S » можно считать равномерно-замедленным, ускорение которого, очевидно, будет $\frac{V}{T}$, где V —скорость падения, T —время замедления до 0. Поэтому

$$25. S = \frac{V T}{2}$$

Время замедления при употребительных скоростях не должно быть большим, иначе остановка произойдет слишком поздно, чтобы спасти людей от удара. Согласно опытов Австралийской Горной инспекции ¹⁾, время остановки при помощи парашютов столь незначительно, что остановку можно считать мгновенной. Будем считать время равным 1. Тогда

$$26. S = \frac{V}{2}$$

Ход пружины из экономических соображений, также и конструктивных не делается более 50 мм ²⁾.

Отсюда

$$27. K_1 = \frac{fs}{S} = 2 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = \frac{1}{10 V}$$

Выражение для силы P_{\max} будет

$$28. P_{\max} = 1,1 \cdot \left(\frac{G + G_1 + G_0}{2 \mu} \left(\frac{2v}{g} + 1 \right) \right)$$

Коэффициент трения « μ » можно считать равным 0,5, как среднее между коэф. трения с водой и насухо, так как хотя проводники сухими почти не бывают, но упоры имеют острые зубцы, что несомненно очень благоприятно для тормажения. Подставляя это значение, имеем окончательно

$$29. P_{\max} = 1,1 \cdot \left(\frac{2v}{g} + 1 \right) (G + G_1 + G_0)$$

¹⁾ Fufrs Mining Engines

²⁾ См. в работу «Подъем на Судженских конях».

В) Пружина с горизонтальной осью (см. рис. 2)

Здесь пружины действуют непосредственно на упоры; число их не менее 2, чаще 4. Как видно из рис. 12, сила пружины и нормальная сила находятся в следующем соотношении:

$$30. i P l_2 = N l_1, \text{ где } i \text{ число пружин на валу.}$$

Количество валов обычно 2, поэтому $2 P i l_2 = 2 N l_1$, следовательно передаточное число.

$$k = \frac{N}{g} = \frac{i l_2}{l_1} = i \left(\text{Здесь } \frac{l_2}{l_1} = 1 \right).$$

Сила «Р» определится следующим образом: угол деформации при изгибе равен.

$$d \Delta \varphi = \frac{M ds}{E J} = \frac{P(l_2 - y)}{E J} l_2 d \varphi \text{ и}$$

$$l_2 - y = l_2 (1 - \cos \varphi)$$

Тогда.

$$\Delta \varphi = \int_0^{\varphi} \frac{2 \pi n P l_2^2 (1 - \cos \varphi) d \varphi}{E J}, \text{ где «n» — число витков}$$

$$\Delta \varphi = \frac{P l_2^2 2 \pi n}{E J} \text{ или}$$

$$31. P = A \Delta \varphi \left(A = \frac{E J}{2 \pi n l_2^2} \right), \text{ т. е.}$$

зависимость также линейная (см. рис. 13).

Точке «М» соответствует максимальное натяжение пружины во время подъема на канате, точка А — начало торможения, Д — конец, разность между углами деформациями для А и Д, как выше было указано, $\frac{\pi}{4}$

Тогда интеграл

$$32. \int_0^S N \mu ds = 2 i \mu A \int_0^S \Delta \varphi ds$$

Пути торможения «S» соответствует изменению угла деформации на $\frac{\pi}{4}$. Если считать пути и углы поворота пропорциональными, тогда.

$$\int_0^S N \mu ds = \frac{(P_b + P_e)}{2} S 2 i \mu = (P_b + P_e) S i \mu$$

$$\text{Но } S = \frac{U}{2}$$

$$33. \int_0^S N \mu ds = \frac{(P_b + P_e) v i \mu}{2}$$

Уравнение живых сил перейдет в следующий вид:

$$34. m g \frac{V}{2} + \frac{m v^2}{2} = \frac{(P_b + P_e) v i \mu}{2}$$

Сила «р₁» в конце торможения д. б. равна

$$35. p_1 \geq \frac{(G + G_1 + G_0)}{2 \mu i}$$

Окончательно

$$36. p_b = \frac{(G + G_1 + G_0)}{i} \left(\frac{2v}{g} + 1 \right)$$

$$37. P_{\max} = 1,1 p_b = \frac{1,1 (G + G_1 + G_0)}{i} \left(\frac{2v}{g} + 2 \right)$$

(на каждую пружину!)

При одной пружине на валу ($i=1$) P_{\max} , очевидно, вдвое больше при вертикальной пружине чем при горизонтальной. Отсюда следует, что вертикальная пружина находится в более выгодных условиях работы и всегда д. б. предпочитаема горизонтальной.

2. Канат обрывается при подъеме.

В этом случае клеть сначала продолжает свое движение по инерции, тормозящая сила парашюта замедляет это движение и, наконец, уничтожает инерционное движение клетки, приводя ее в состояние покоя.

Ясно, что сила парашюта д. б. равна в начале торможения

$$38. T_{\text{торм}} \mu N = \mu k P = m \frac{d^2 x}{dt^2} - \Sigma T - G - G_1 - G_0$$

$$P = \frac{1}{\mu k} \left[m \frac{d^2 x}{dt^2} - \Sigma T - G - G_1 - G_0 \right];$$

в конце торможения

$$39. P \approx \frac{1}{\mu k} [G + G_1 + G_0], \text{ т. е.}$$

Самое большое значение силы парашюта в взятом случае меньше, чем при обрыве во время спуска.

VI. Расчет деталей.

А. Парашютный болт.

Размер « δ » определяется диаметром стержня крюка безопасности (« δ_0 ») и бывает равен

$$\delta = 1,05 \delta_0$$

Размер, « k » определяется свободным ходом крюка безопасности и зависит от величины нагрузки. Эти размеры удобно взять по таблице М. Кетчума¹⁾. Средняя их величина для нагрузок

до 4t 12t

$$\delta_0 = 1\frac{1}{2}'' \quad 3\frac{7}{16}''$$

$$k = 7'' \quad 17\frac{1}{4}''$$

1) М. Ketchum, Mining Structures p. 37.

Размер «а» и «S» равны

$$a = 1,5 \delta^2$$

$$\delta = 1,2 \delta$$

«b» найдется по формуле:

$$(b - \delta) S k_2 = P$$

$$40. b = \frac{P}{k_2 1,2 \delta} + \delta.$$

Длина «L» определяется из следующих соображений. 1. к ней удобно д. б. присоединен крюк безопасности, 2 д. б. удачно распределены валики для тяг и цепей. Этим условиям удовлетворит.

$$L \approx 20 d$$

Диаметр «d» устанавливается в зависимости от силы, действующей на парашют

$$41. \frac{\pi d^2}{4} k_2 = 2 P_{\max}^1)$$

Длина болта «L₁¹» определяется свободной длиной пружины (см. ниже)
Диаметры отверстий для тяг «δ» и для цепей равны

$$42. \delta_1 = \frac{d}{2}$$

В Тяги (см. р. I).

Тяга находится под действием силы пружины. Наибольшая сила, действующая на нее, очевидно, равна

$$43. P_1 = P_{\max} \cos \alpha$$

Обычно угол «α» равен 30° и всегда конечно м. б. определен чертежом при данных размерах клетки и расположении частей парашюта. Длина тяги также удобнее всего определяется чертежом, но для предварительных расчетов м. б. взята

$$44. l = (10 - 15) d, \text{ где } d \text{ — диаметр парашютного болта.}$$

Диаметр тяги определяется на сжатие по формуле:

$$45. \frac{\pi d_1^2}{4} k_2 = P_1$$

проверяется на продольной изгиб, как стержень с свободными концами, при запасе прочности 6.

(конечно при $l_1 = 35 d_1$)

С Рычаги Д (см. рис. I.)

Рычаги «Д» подвергаются изгибу под действием силы, равной 2 N

(при $\frac{l_1}{l_2} = 1$), причем, очевидно,

$$46. 2 N = P_{\max}$$

¹⁾ См. Бобарыков Д. М.

На один рычаг действует сила

$$47. P_1 = \frac{P_{\max}}{2}$$

При длине рычага $l_2 = (4 - 6) d$ уравнение прочности для прямоугольного сечения рычага

$$48. \frac{b h^2}{6} k_6 = P_{\max} (3 - 2) d.$$

Отношение $\frac{b}{h}$ обычно равно $\frac{1}{2}$, тогда размеры будут известны.

Д. Упоры К (см. рис. I)

Упоры также подвергаются изгибу и, стало быть, д. б. рассчитаны подобно рычагам «Д». Ввиду того, что удар непосредственно приходится на них, размеры упоров следует определять при допускаемом напряжении не свыше половины того же для рычагов т. е.

$$K_1 = K_2 = 300 \text{ кг/см}^2$$

Е. Вал.

Вал (точки ось) подвергается изгибу сосредоточенной силой $P_1 = \frac{P_{\max}}{2}$

Расстояние между опорами его равно клету (обычно $a = 1,2 - 1,5 m$)

Диаметр его равен

$$0,1 d^3 = \frac{P_{\max} l}{24 k_6}$$

При $k_6 = 700 \text{ кг/см}^2$ и $l = 1,2 m$

$$49. d \text{ в м} = 0,5 \sqrt[3]{P_{\max}}$$

И. Пружина.

1. С вертикальной осью.

Поперечное сечение чаще прямоугольник, редко круг.

Размеры поперечного сечения определяются из условий прочности на кручение по формуле:

$$50. \text{ для прямоугольника } P_{\max} R = \frac{2}{9} b^2 h k_s,$$

$$51. \text{ для круга } P_{\max} R = \frac{1}{5} d^3 k_s$$

Здесь «R» средний радиус пружины и может быть принят равным (приблизительно) радиусу парашютного болта при цилиндрической пружине; для конической «R» будет означать наибольший радиус, равный «d» (диаметр болта)

Напряжение, ввиду отличного материала для пружин м. б. взято

$$P_s = 4500 - 8000 \text{ кг/см}^2.$$

первое для легких конструкций, второе для тяжелых. Число винтов (n) пружины определится по формуле:

$$52. n = \frac{G d^3 h^3 f}{7,2 n R^3 (d^2 + h^2) P}$$

для прямоугольной конической R_0 — радиус верхнего основания, остальные обозначения прежние.

$$53. n = \frac{Gb^3 h^3 f}{1,8 \pi P (d^2 + h^2) (R^2 + R_0^2) (R + R_0)}$$

для круглой цилиндрической $n = \frac{gd^4 f}{64 R^3 P}$

для круглой цилиндрической $n = \frac{Gd^4 f}{16 R^3 P}$.

Стрела прогиба « f » как выше было указано, равна

$$f = 50 \text{ м/м. Таков обычный ход пружины.}$$

В процессе конструирования стрела указывается ходом упоров и других деталей парашюта и удобно выясняется из чертежа, так, что 50 м/м следует считать размером предварительным и наибольшим.

2. С горизонтальной осью.

Форма поперечного сечения чаще круг.

Размеры определяются по формуле:

$$54. 2 P_{\max} R = \frac{1}{10} \delta^3 kb$$

причем « R » равен диаметру вала, на котором находится пружина, кв. = 6500 к/см²).

Число витков определяется по формуле

$$55. n = \frac{\Delta \varphi E \pi \delta^4}{P \cdot 2 \pi R^2 64} \quad (\text{не } P_{\max}!).$$

$\Delta \eta$ — полный угол поворота, который соответствует силе « P » Очевидно, для P_{\max} « $\Delta \eta$ » будет больше. Обычно, как выше сказано, при подъеме на канате упор поворачивается на угол $\frac{3\pi}{4}$

Отсюда м. б. установлено число витков.

$$\text{Действительно } \Delta \varphi_{\max} = \frac{P_{\max} 2 \pi R^2 n}{E I}$$

$$(\Delta \varphi)_P = \frac{P 2 \pi R^2 n}{E I}, \text{ отсюда}$$

$$\Delta \varphi_{\max} - (\Delta \varphi)_P = \frac{3\pi}{4} = \frac{(P_{\max} - P) 2 \pi R^2 n}{E I} \quad \text{и}$$

$$56. n = 3,75 \frac{E I}{P R^2}$$

Таким образом

$$57. n = \frac{3,75 \cdot 1,1 \cdot E I}{P_{\max} R^2}$$

¹⁾ Напряжения см. Hütte.

Вместе с тем угол, на который нужно закрутить пружину при установке, будет

$$58. \Delta \varphi = \frac{P \cdot 2 \pi R^2 n}{E I}$$

От дополнительного угла закручивания под действием каната возникает значительное дополнительное напряжение. Можно его вперед оценить и в зависимости от его величины выбрать число витков.

Представим себе, что мы закрутили пружину на угол φ_0 моментом M . Тогда, по закону сохранения энергии, имеем

$$\frac{M \varphi_0}{2} = \frac{M^2 2 \pi R n}{2 E I} \quad \text{и отсюда}$$

$$59. M = \frac{E I \varphi_0}{2 \pi R n} \quad \text{Из уравнения прочности}$$

$$k b = \frac{M}{I} \frac{\delta}{2} \quad \text{и предыдущего}$$

получим
$$60. k b = \frac{E \varphi_0 \delta}{4 \pi R n}$$

Обычно $\varphi_0 = \frac{3 \pi}{4}$, в этом случае дополнительное напряжение

$$61. k b = \frac{3 E d}{16 R n}$$

При $d=25$ м/м $n=30$ $R=70$ м/м $E=2 \cdot 0.10^6$ кг/см² $k b \approx 4000$ кг/см².

Отсюда следует, что дополнительный угол поворота очень велик его следует по возможности уменьшать. Иначе необходимо увеличивать число витков. Во всяком случае, принимая определенный % напряжения на дополнительный угол, из предыдущей формулы мы получим число витков.

Лучше всего взять дополнительное $k b$ доп. = (30—35) % K_d допустимого, именно 1500 клг/см²

VII. Характеристика типового парашюта.

Рассмотрим парашют с вертикальной пружиной для двух этажной клетки при глубине шахты 100 саж. (200м) (одна вагонетка на этаже).

I Вес клетки двухэтажной колеблется от 1,2^t для стальной клетки до 2,0^t для железной клетки ¹⁾

Мы находимся в Сибирских условиях, где стальных клеток пока нет. Отсюда.

$$G = 2000 \text{ клгр.}$$

Допустим, далее, как то обычно, что парашют должен работать при пассажирских поездках; при грузовых он будет выключен. Тогда при одно временном спуске не более 4-х человек,

$$G_1 = 80.4 = 320 \text{ клг. Возьмем}$$

$$G_1 = 350 \text{ клр.}$$

¹⁾ М. Ketchum M. S. ст. 30.

Хвостового каната пока также не устраивается, след. = 0

Таким образом

$$G + G_1 + G_0 = 2350 \text{ kg.}$$

Средняя скорость движения клетки (по пред. таблице)

$U = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ m/s}$, так как скорость пассажирских поездов в два раза меньше грузовых.

Сила, действующая на пружину, равна

$$P_{\max} = 1,1 \left(\frac{2 \cdot 2,5}{9,81} + 1 \right) 2350 = 3900 \text{ kg. } P_{\max} = 3900 \text{ пер.}$$

Парашютный болт.

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{7755}{700} = 12,3$$

$$d = 35 \text{ м/м}$$

Тяги.

$$\frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{0,8 \cdot 3900}{700} = 4,5$$

$$d_1 = 30 \text{ м/м.}$$

Проверка на продольный изгиб при $l = 10 d = 350 \text{ м/м.}$

$$f_{\min} = \frac{6,0 \cdot 8 \cdot 3900 \cdot 35^2}{10 \cdot 2 \cdot 10} = 2,56 \text{ см}^4$$

Для $d = 30 \text{ м/м. } f_{\min} = 3,97 \text{ см}^4$

Рычаги.

$$\frac{h^3}{12} = \frac{3900 \cdot 20}{2 \cdot 700} (l_2 = 4 d = 200 \text{ м/м.})$$

$$h = 150 \text{ м/м.}$$

$$b = 75 \text{ м/м.}$$

Упоры.

Так как передаточное число от рычагов к упорам 2, размеры первых изменятся лишь в отношении напряжений, увеличенных вдвое.

$$h = 150 \sqrt{2} = 200 \text{ м/м.}$$

$$b = 100 \text{ м/м.}$$

Вал.

$$d = 0,5 \sqrt[3]{3900} = 75 \text{ м/м.}$$

$$d = 75 \text{ м/м.}$$

Пружина.

Радиус пружины пусть b . равен, как обычно,

$$R = d = 35,0 \text{ м./м.}$$

Тогда из уравнения прочности при $k b = 8000 \text{ кг/см.}^2$.

$$\frac{1}{9} b^2 h = \frac{3900 \cdot 3,5}{8000} = 1,75$$

$$\text{при } b = 5 \text{ м./м.} = 0,5 \text{ см.}$$

$$h = \frac{1,75 \cdot 9}{2 \cdot 0,25} = 315 \text{ м./м.}$$

Высота употребляемых пружин колеблется

$$\text{от } h = 120 \text{ м./м. и } b = 2 \text{ м./м.}$$

$$\text{до } h = 200 \text{ м./м. и } b = 5 \text{ м./м.}$$

Таким образом придется поставить не менее двух пружин.

Число витков при $f = 25 \text{ м./м.}$ (величина пружинения).

$$n = 8.$$

Отсюда видно, как велики d . b . размеры пружины даже при этих легких условиях, чтобы торможение было надежным при спуске. При подъеме положение будет значительно благоприятнее.

При подъеме.

$$P_{\max} = \frac{1,1(g + g_1 + g_0)}{2\mu}$$

« μ » можно принять равным 1 (Трение в покое).

$$P_{\max} = \frac{1,2 \cdot 2250}{2} = 1200 \text{ кггр.}$$

Далее

$$2/9^2 b h = \frac{1200 \cdot 3,5}{8000} = 0,2$$

$$h = \frac{0,2 \cdot 9}{2 \cdot 0,25} = 4,5 = 5 \text{ м./м.}$$

Соответственно при том же « n » величина пружинения.

$$f = \frac{2,5}{3} = 0,8 = 8 \text{ м./м.}$$

VIII. Заключение.

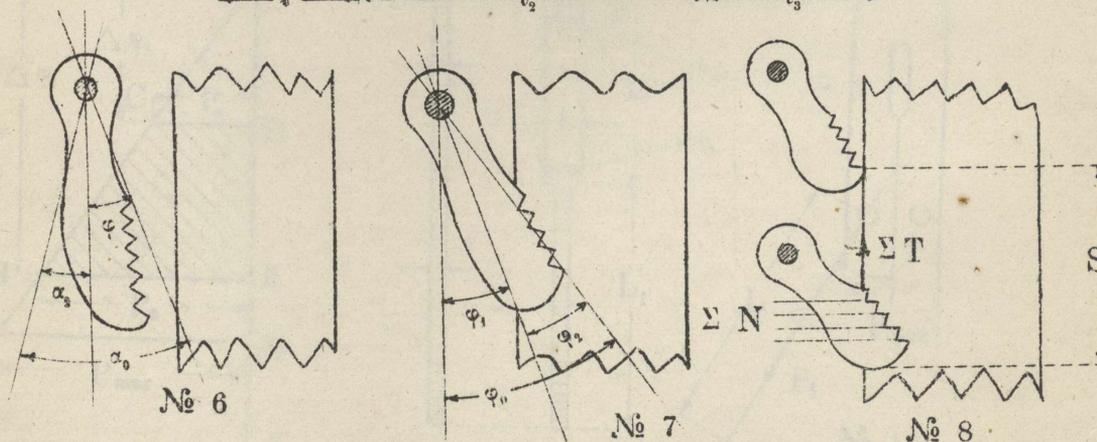
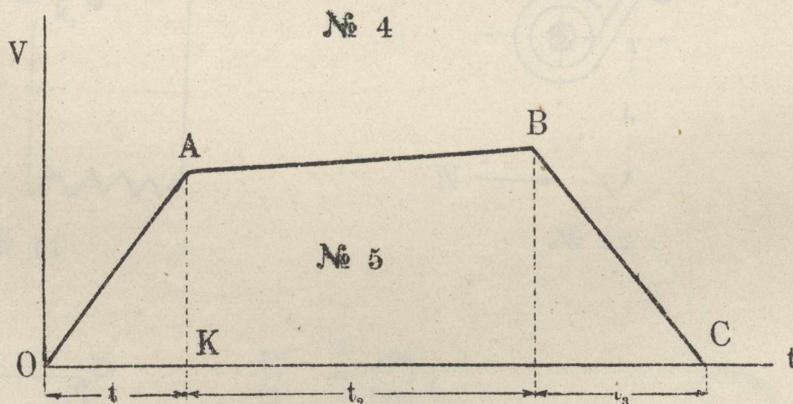
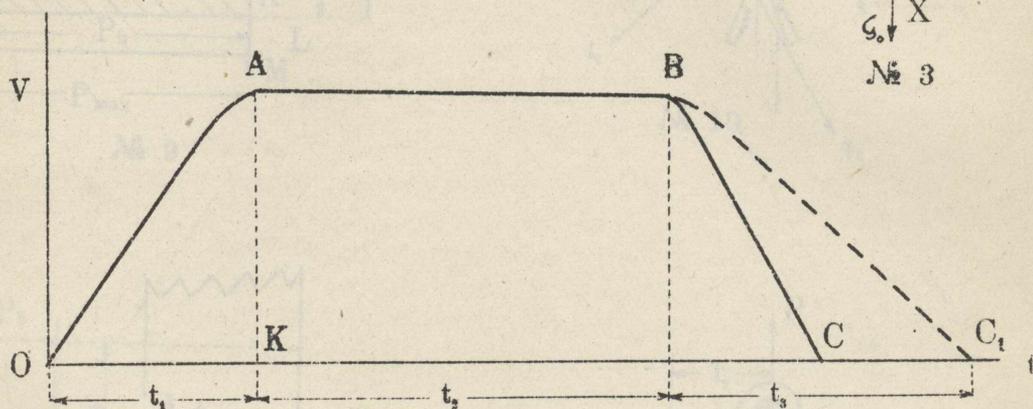
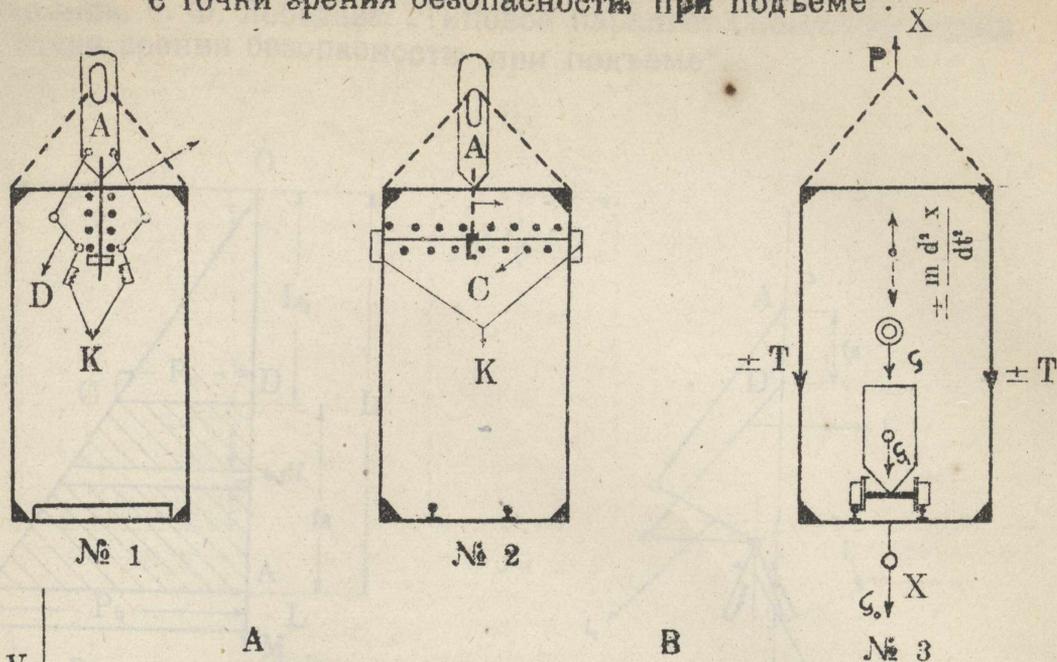
Из вышеизложенного с очевидностью следует, что действие типового парашюта при обычных размерах является надежным только при подъеме. Увеличивать размеры представляется в виду вероятного выпучивания пружины при возрастании ее высоты конструктивно невозможным, — увеличивать число пружин затруднительным, так как это крайне осложняет аппарат и делает его тяжелым, вследствие чего значительно понижается общий коэффициент полезного действия.

Поэтому нужно указать машинистам, обслуживающим машины с такими парашютами, наблюдать сугубую осторожность при спуске людей в шахту и конечно решительно запретить им устраивать прогулки «с ветерком».

Во всяком случае настоящее исследование показывает, что задача надежного торможения парашютом с непосредственным действием пружины не разрешается. Необходимо переконструировать парашют так, чтобы пружина играла роль лишь начального возбудителя силы, во время же процесса торможения вся сила и значение должно быть передано надежным механическим тормозом и—лучше всего—без всякого участия пружины.

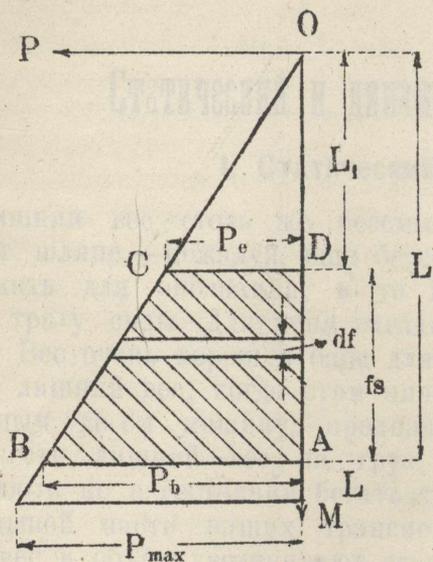
Значение парашюга (его пружины) очень важное, хотя и косвенное с другой стороны. Оно заключается в том, что неизбежные в работе подъемной машины удары (перемена хода, внезапные остановки и т. п.) ослабляются действием пружины (особенно с большим числом витков), и влияние ударов на состояние каната очень ничтожно—они почти не увеличивают напряжения в канате, если пружина имеет достаточное количество витков и необходимые размеры.

К статье инж. С. Ф. Лебедева: „Типовой парашют Сибирских копей с точки зрения безопасности при подъеме“.

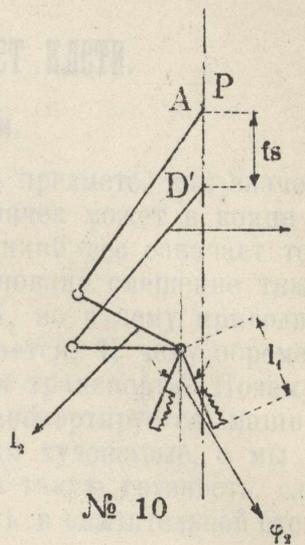


Взаимное положение проводника и упоров
при обрыве в конце торможения.

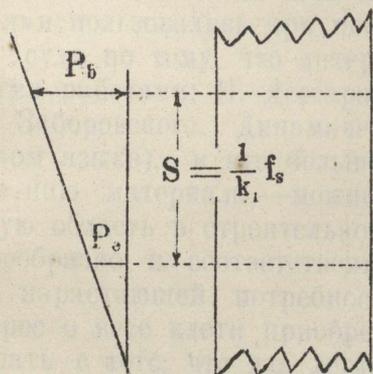
К статье инж. С. Ф. Лебедева: „Типовой парашют Сибирских копей с точки зрения безопасности при подъеме“.



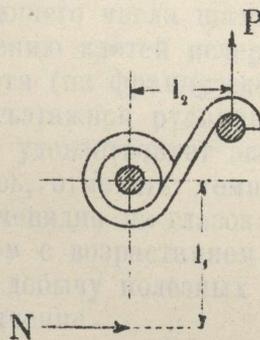
№ 9



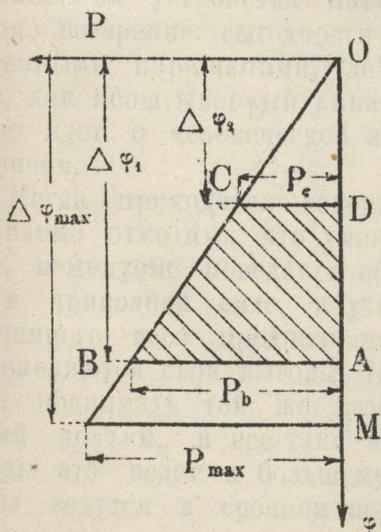
№ 10



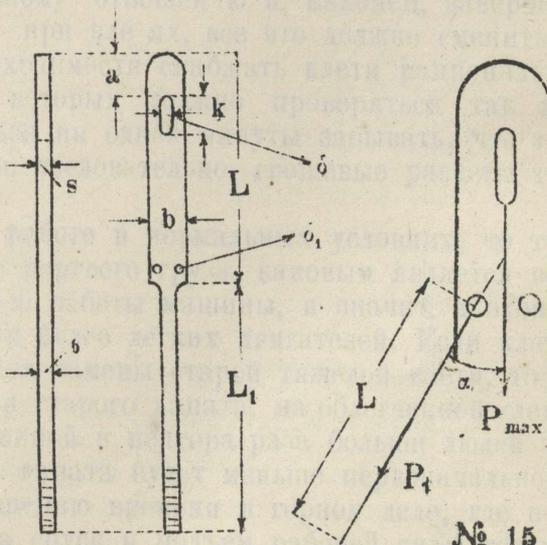
№ 11



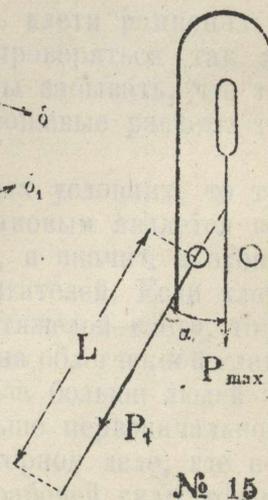
№ 12



№ 13



№ 14



№ 15