

Заняття 42.

Тема 5.8. Проектування піднімальних установок.

5.8.1. Загальна характеристика розрахунку.

5.8.2. Розрахунок основних елементів піднімальної установки.

1. Вихідні дані для розрахунку

Вихідними даними для розрахунку піднімальної установки є:

- тип підйому (одно-, багатоканатний);
- тип піднімальної судини (скіп, кліть);
- число піднімальних судин n_c ;
- призначення піднімальної установки (вугільна, породна, людська, вантажо - людська);
- ДЕСТ на підйомні канати, маркувальна група міцності;
- ДЕСТ на врівноважуючі канати, маркувальна група міцності;
- кількість одночасно розроблюваних горизонтів n_z ;
- глибина кожного горизонту H_z ;
- параметри піднімальної судини (висота судини та підвісних пристроїв);
- відстань між осями судин у стовбурі L_c ;
- число годин роботи підйому на добу $t_{добу}$;
- параметри тахограми по горизонтах (основні прискорення та уповільнення, початкове прискорення, уповільнення при стопорінні);
- швидкість проходження проміжних горизонтів (у разі потреби зниження швидкості при проході горизонту).

Додаткові дані для одноканатної піднімальної установки:

- схема розташування шківів одноканатної піднімальної машини;
- максимально допустима відстань від осі барабана піднімальної машини до виска каната (за умовами шахтної поверхні).

Додаткові дані для багатоканатної піднімальної установки:

- висота протиметанної камери $h_{ш}$;
- висота вільного перепідйому h_{nn} ;
- висота вільного опускання $h_{nn} + 1$;
- максимальне уповільнення при спуску судин [а];
- допустимий питомий тиск на футерування [т];
- тип копра.

Додаткові дані для скіпової піднімальної установки:

- річна продуктивність для кожного горизонту $A_{рікг}$;
- кількість робочих днів на рік n_{δ} ;
- висота від позначки навколоствольного двору до позначки завантаження скіпу у підземного бункера h_{ϵ} ;
- висота кромки приймального бункера h_p ;
- перевищення розвантажувального лотка скіпу в період розвантаження над кромкою приймального бункера на поверхні h_{in} .

Додаткові дані для піднімальної кліткової установки:

- добовий обсяг робіт по горизонтах (не потрібно, якщо задана швидкість підйому);
- параметри вагонетки;
- число вагонеток у кліті з породою, вугіллям, матеріалом n_{ϵ} ;
- маса вантажу у вагонетки (порода, вугілля) m_{ϵ} ;
- режим роботи шахти (кількість змін $n_{см}$);
- швидкість дотяжки кліті до приймального майданчика v ;
- шлях дотяжки кліті до приймального майданчика h ;
- відстань від гирла ствола до рівня приймального майданчика в надшахтному будинку h_n ;

- кількість людей, що одночасно розміщуються в кліті.

Додаткові дані для перевірки наявної установки:

- висота підйому H_n ;
- довжина схилу підйомного каната H_o ;
- кут відхилення каната від вертикалі шківом, що відхиляє, і висота перепідйому (для багатоканатної піднімальної установки) α і h_{nn} .

3. Визначення ваги вантажу піднімальної установки

Добова продуктивність піднімальної установки

$$A_{\text{доб}} = \frac{A_p \cdot k_1}{n_d}, \text{ т/сут}, \quad (1)$$

де A_p – річна продуктивність шахти, т/р., рядового вугілля;

k_1 – коефіцієнт переведення

$k_1 = 1,1-1,15$ – рядового вугілля в гірську масу;

$k_1 = 1$ – для породного підйому;

$n_d = 300$ – кількість робочих днів на рік.

Годинна продуктивність піднімальної установки

$$A_{\text{год}} = \frac{c a A_p}{n_d n_q}, \text{ т/год}, \quad (2)$$

де $c = 1,5$ – коефіцієнт нерівномірності роботи скіпового підйому;

$n_q = 18$ – час роботи скіпового підйому на добу;

$a = 1$ – коефіцієнт враховуючий тип підйому;

$n_d = 300$ днів – кількість днів роботи скіпового підйому на рік.

Оптимальна вантажопідйомність (кг), при якій сумарні річні експлуатаційні витрати на підйомній установці будуть мінімальними, дорівнює:

для одноканатних установок

$$Q_{\text{опт}} = A \cdot \frac{4\sqrt{H} + t_n}{3,6}$$

для багатоканатних установок

$$Q_{\text{опт}} = A \cdot \frac{2,9\sqrt{H} + t_n}{2,1} \quad (3)$$

Розрахункова геометрична ємність скіпу

$$Q_{\text{вр}} = \frac{Q_p}{\kappa_3 \cdot \gamma_{\text{гр}}}, \text{ м}^3, \quad (4)$$

де $\kappa_3 = 0,85$ – коефіцієнт завантаження скіпу;

$\gamma_{\text{гр}}$ – об'ємна маса вугілля (породи), т/м.

Маса противаги

$$Q_{\text{пр}} = Q_c + \frac{Q_{\text{макс}}}{2} \text{ кг}. \quad (5)$$

4. Розрахунок і вибір піднімальних та врівноважуючих канатів

Вибір підйомного каната слід проводити з урахуванням сумарного розривного опору підйомного канату та визначенням ваги одного метра підйомного каната і його діаметру.

При установках з рівноважним врівноважуючим канатом

$$p = \frac{Q_{II} + Q_C}{\frac{\sigma_B}{gz\rho_0} - H_K} \quad (6)$$

При установках з важким врівноважуючим канатом($q > p$)

$$(Q_{II} + Q_C + pH_K)g = \frac{\sigma_B}{z\rho_0} p \quad (7)$$

Позначивши $q / p = \mu$

$$p = \frac{Q_{II} + Q_C}{\frac{\sigma_B}{gz\rho_0} - \mu H_K} \quad (8)$$

де $\rho_0 = \rho\beta$ - умовна питома вага каната, приймається рівною :

для круглорядних канатів подвійної звивки 9400 кг/м^3 ;

для триграннопрядних 9200 кг/м^3 ;

для канатів закритої конструкції 8700 кг/м^3 .

Вибираємо стандартний канат та перевіряємо його на запас міцності:

при установках без врівноважуючого та з рівноважним врівноважуючим канатом:

$$z = \frac{Q_p}{g(Q_{II} + Q_C + pH_K)}; \quad (9)$$

при установках з важким врівноважуючим канатом:

$$z = \frac{Q_p}{g(Q_{II} + Q_C + qH_K)}. \quad (10)$$

Для багатоканатних піднімальних установок визначається кількість канатів.

Число піднімальних канатів багатоканатного підйому:

$$n_K = p \left(\frac{\varphi_K \psi}{D_{m.m.}} \right)^2 \quad (11)$$

де φ_K - коефіцієнт, що залежить від конструкції канатів (Додаток 1);

$$\psi = \frac{D_{m.m.}}{d_K} - \text{ПБ}$$

для системи без відхиляючих шківів $\psi \geq 79$;

з відхиляючими шківками $\psi \geq 95$;

для канатів закритої конструкції $\psi \geq 100$.

$D_{m.m.}$ - діаметр шківа тертя, м

Запас міцності вибраних канатів при $n_{y.K} q_K \geq p$ (з рівноважним врівноваженим канатом)

$$z = \frac{n_K Q_p}{g(Q_{II} + Q_C + n_K p H_K)} \quad (12)$$

Якщо $n_{y.K} q_K > p$, то запас міцності підйомного каната з важким врівноважуючим канатом:

$$z = \frac{n_K Q_p}{g(Q_{II} + Q_C + n_{y.K} p H_K)} \quad (13)$$

5. Врівноваження системи

Статичний момент $M_{ст} (Н*м)$ про осі обертання барабана в піднімальних системах з органами навивки постійного радіуса R і без врівноважує каната буде зразковим:

$$M_{ст} = F_{ст} R, Нм \quad (17)$$

де $F_{ст}$ - статистичне зусилля піднімальної системи на колі органу навивки, H .

Нехтуємо різними шкідливими опорами в стовбурі та установці і так як $R = const$ на початку підйому:

$$F_{ст} = F_{під} - F_{оп} = g (Q_{п} + Q_{с} + pH) - gQ_{с} = g (Q_{п} + pH) \quad (14)$$

в кінці підйому:

$$F_{ст} = F_{під} - F_{оп} = g (Q_{п} + Q_{с}) - g (Q_{с} + pH) = g (Q_{п} - pH) \quad (15)$$

Врівноваження піднімальної системи за значенням ступеня статистичної неуврівноваженості:

$$\delta = \frac{pH}{kQ_{п}} \quad (16)$$

де k – коефіцієнт шкідливих опорів у стволі та установці.

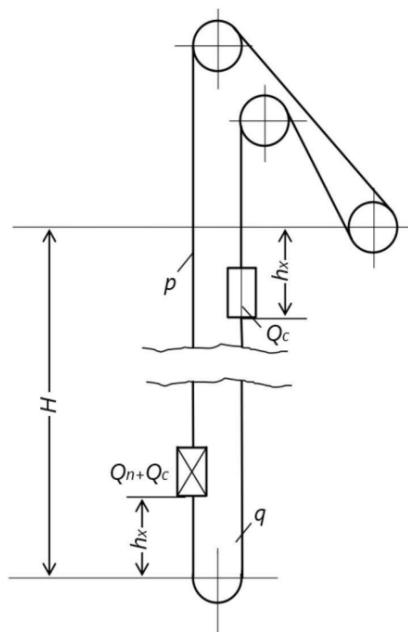


Рис.1 - Схема до висновку основного рівняння піднімальних систем з органами навивки постійного радіусу

6. Розрахунок та вибір піднімальних машин

Органи навивки. Приймаємо одинарний циліндричний розрізний барабан

$$D_B = 79 * d_k \quad (17)$$

Ширина барабана при багатошаровій навивці визначається за формулою

$$B_K = \left(\frac{H + l_H}{h_c \cdot \pi \cdot D_{p.б}} + n_{B.T} + n_{в.н} \right) (d_K + b_3), \text{ мм} \quad (18)$$

Ширина барабана при одношаровому навиванні визначається за формулою

$$B_K = \left(\frac{H + l_H}{\pi \cdot D_B} + n_{B.T} \right) (d_K + b_3), \text{ мм} \quad (19)$$

де $b_3 = 2 \dots 3$ мм – зазор між канатами, щоб уникнути тертя;

$l_i = 30 - 35$ м- довжина каната для випробувань;

$n_{в.н.} = 4$ – число витків на пересування критичної ділянки каната;

n_c - число шарів навивки каната на барабан;

$n_{B.T}$ - кількість витків тертя;

$n_{B.T} \geq 3$ - при футерованих барабанах;

$n_{B.T} \geq 5$ – при нефутерованих барабанах.

$\pi \cdot D_{p.б.}$ - розрахункова середня довжина витка каната

$$\pi \cdot D_{p.б.} = \pi [D_{б.} + (n_c - 1)d_k] \quad (20)$$

Один циліндричний барабан обслуговує два підйомні канати, причому при звивці з барабана одного каната на нього навивається інший канат.

Ширина одного барабана, що обслуговує обидва канати,

$$B_K = \left(\frac{H + 2l_i}{\pi \cdot D_{p.б}} + 2n_{B.T} + n_{в.з} \right) (d_K + b_3), \text{ мм} \quad (21)$$

де $n_{в.з.} = 2$ витка – зазор між канатами, що звивається і навивається.

За знайденим значенням B_K і за заводськими даними остаточно приймаємо ширину барабана.

Перевіримо барабан на статичні навантаження.

Максимальний статичний натяг каната за формулою

$$T_{CTMAX} = (Q_{II} + Q_C + pH_K)g, \text{ Н} \quad (22)$$

Максимальна різниця статичних натягу канатів за формулою

$$F_{CTMAX} = (Q_{II} + pH)g, \text{ Н} \quad (23)$$

Якщо T_{CTMAX} і F_{CTMAX} менше допустимих значень, то за розрахунковими даними для орієнтовно вибраного барабана остаточно зупиняємося попередньо обраною машиною.

7. Розташування піднімальної машини відповідно ствола шахти

Вибрану піднімальну машину слід розташовувати відносно осі ствола шахти з урахуванням об'ємно - компоновальних рішень будівлі піднімальної машини та копра, довжини струни каната, кута нахилу струни до горизонту, кутів відхилення каната (кутів девіації).

Одноканатні і барабані двоканатні піднімальні машини розташовуються в будівлі на рівні землі, багатоканатні у машинному залі на копрі. Для того, щоб будівля машини не заважала розвантажувальним операціям на поверхні, вона повинна бути розташована в стороні, протилежній напрямку руху завантажених вагонеток за умови використання клітей, а при скіпах і перекидних клітях – напрямку їх розвантаження.

В одноканатних установках направляючі шківів на копрі в залежності від способу розташування піднімальних судів в стволі, місця розташування будівлі машини і типу органу навивки канатів можуть бути встановлені або на одній горизонтальній, або в одній вертикальній площині.

Висота копра h_k – це відстань від гирла шахти до осі прямого шківів.

Складається з:

h_v – висоти від гирла шахти до верхньої приймальної площадки; для кліткових установок $h_v = 6...12$ м, для скіпових $h_v = 11...25$;

– висоти h_c від рівня верхньої приймальної площадки до верхнього елементу підвісного пристрою, коли піднімальний посуд знаходиться в стані розвантаження;

для неперекидних клітей вказана відстань h_c приймається від основи кліті; для скипів і перекидних клітей – від верхньої приймального краю бункера;

– h_n висоти пере підйому, на яку може вільно піднятись підйомний посуд від нормального положення при розвантаженні на верхній приймальній майданчик до зіткнення верхнього затискача або верхнього елементу підвісного пристрою з ободом напрямного шківів або окремих частин посуду з елементом копра;

при перекидних клітях, крім вказаного повинна бути врахована висота пере підйому при спуску та підйому людей – відстань на яку може підніматись від положення при посадці людей на рівні землі до початку повороту платформи кліті.

відповідно ПТЕ для кліткових установок $h_n \geq 6$ м, для вантажних установок зі скипами і перекидними клітями - $h_n \geq 3$ м;

– додаткової відстані $0,75 \cdot R_{нш}$ ($R_{нш}$ – радіус напрямного шківів), (враховується дотик верхнього затискача канату або верхнього елементу підвісного пристрою зі шківом відбудеться на відстані $0,75 \cdot R_{нш}$ до центру останнього.

При розташуванні напрямних шківів в одній геометричній горизонтальній площині

$$h_k = h_v + h_n + h_c + 0,75 R_{нш}, \text{ м}; \quad (24)$$

При розташуванні напрямних шківів в одній вертикальній площині

$$h_k = h_v + h_n + h_c + 0,75 R_{нш} + D_{нш} + 1, \text{ м}; \quad (25)$$

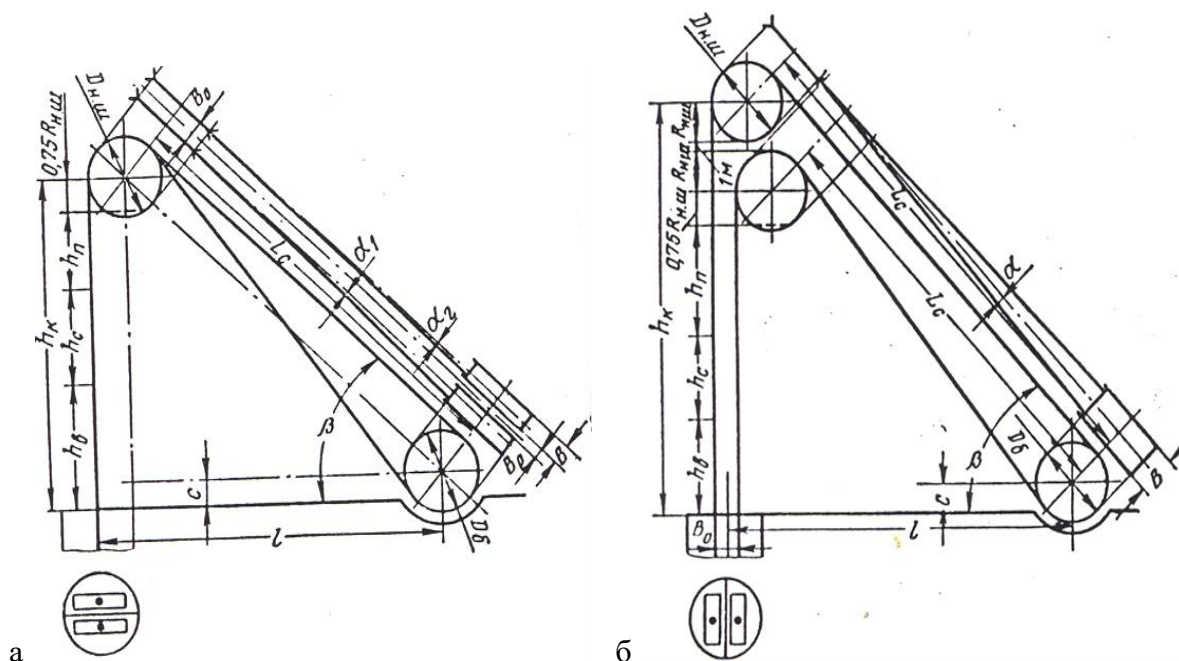


Рис. 2. - Схема розташування шківів а) на одній горизонтальній осі; б) розташування шківів на одній вертикальній осі

Відстань між віссю ствола і барабана

$$l = (h_k - c) \cdot \operatorname{ctg} \beta + R_{нш} \quad (26)$$

де $c = 1...2$ м – відстань від рівня землі до осі вала барабана;

β - кут нахилу струни каната до горизонту; згідно ПТЕ $30^\circ \leq \beta \leq 50^\circ$.

Максимальна довжина L_c струни, тобто відрізка канату від напрямного шківів до барабану відповідно до ПТЕ не повинно перевищувати 60 метрів щоб уникнути вібрації канату, яка може потягнути за собою вискакування канату з реборд напрямних шківів, допускається збільшення L_c до 75 метрів, якщо $\beta > 45^\circ$.

При розташуванні напрямних шківів на одній геометричній горизонтальній осі рис.5.2.1 (а)

$$L_c = \sqrt{(h_k - c)^2 + (1 - R_{н.ш.})^2} \quad (27)$$

Кут β між струною канату та її проекцією на горизонтальну площину, відповідно до ПТЕ повинен бути не менше 30° . Найменше значення кута β лімітується і розмірами фундаментальної рами машини: зменшення кута може викликати подовження рами, бо інакше зачіпатиме канат. Виходячи з цього $\beta \geq 30^\circ$. Вища межа кута β пов'язана з копром: при надмірному збільшенні β збільшується рівнодіючий натяг канатів і виникає утруднення в улаштуванні фундаменту машини, що недопустимо. Враховуючи це $\beta \leq 50^\circ$.

Кути відхилення (девіації) струни канату. Необхідно розрізняти кути відхилення струни канату на напрямному шківі та на барабані.

Кутом відхилення на напрямному шківі називається кут, утворений струною і її проекцією на площину обертання шківу. Кут відхилення на барабані утворюється струною і її проекцією на вертикальну площину, яка проходить перпендикулярно до осі барабану крізь точку дотику з ним струни. Ці кути будуть максимальними при крайніх положеннях струн. Якщо площа обертання шківів перпендикулярна до осі барабану, кути відхилення на напрямному шківі і на барабані мають однакові значення.

Щоб уникнути вискакування канату з реборд напрямного шківів, надмірного зносу, а також набігання витків канату один на одного, кути відхилення на напрямних шківів і на барабанах відповідно до ПТЕ не повинні перевищувати $1^\circ 30'$. На біциліндроконічних барабанах допускається збільшення цього кута до 2° зі сторони малого циліндра барабана при виконанні його з жолобчатою поверхнею.

Кути відхилення α на напрямному шківі визначається за їх тангенсами, які уявляють собою відношення відстані по осі барабану від крайніх положень струни канату до площини обертання шківів, до проекцій струни на вказану площину. Через незначну величину кута цю проекцію приймають рівною довжині струни.

Кут відхилення струни на напрямному шківі при закріпленні каната у реборди нерозрізного одинарного барабана дорівнює (рис. 2., а)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{B - 2n_{BT}(d_k + b_s)}{2L_c} \quad (28)$$

де $n_{BT} = 4$ - число витків на пересування критичної ділянки каната; n_c - число верств навивки каната на барабан;

$b_s = 2 \dots 3$ мм – зазор між вітками канату.

Кут відхилення цього канату при переході струни у крайнє становище в протилежну сторону буде менше і тому не перевіряється.

При двобарабанних машинах розрізняють зовнішній α_1 і внутрішній α_2 кути відхилення канатів на напрямному шківі (рис.2,б)

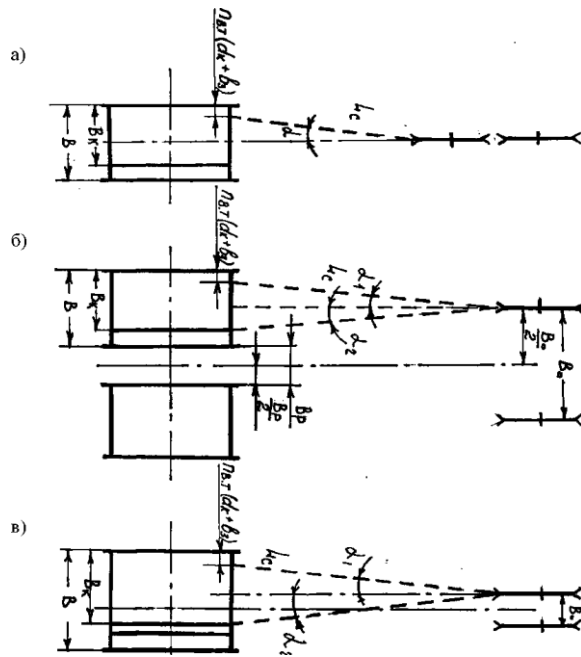


Рис. 3. - Кути відхилення канату на барабанах піднімальних машин

При закріпленні канатів у зовнішніх реборд барабанів ці кути в залежності від будівельної ширини B барабана і ширини B_k , яка зайнята канатом, складають:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{2B + B_p - B_o - 2n_{BT}(d_k + b_3)}{2Lc} \quad (29)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{B_o - B_p - 2(B - B_k)}{2Lc} \quad (30)$$

де B_p - відстань між внутрішніми ребордами барабанів, яка для машин з діаметром барабана 3,5 м становить 220 мм;

для машин з діаметрами барабанів 4; 5; 6 м – 60 мм; B_o – відстань між напрямними шківками; $n_{в.м.}(d_k + b_3)$ – ширина барабану, яка зайнята вітками тертя.

При одинарному розрізному барабані та розташуванні напрямних шківів на одній геометричній горизонтальній осі (рис.3,в)

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{B - B_o - 2n_{BT}(d_k + b_3)}{2Lc} \quad (31)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{2B_k - (B - B_o)}{2Lc} \quad (32)$$

В установках з одноканатним ведучим шківом тертя для усунення кутів відхилення канату шків тертя і напрямні шківки розташовують в одній вертикальній площині.

При розташуванні в одному стволі піднімальних судів двох піднімальних установок останні відносно ствола можуть бути розташовані одна за другою (рис.3,а), одно проти одного (рис. 3,б), під кутом 90° (рис.3,в) і віялоподібно (рис. 3, г).

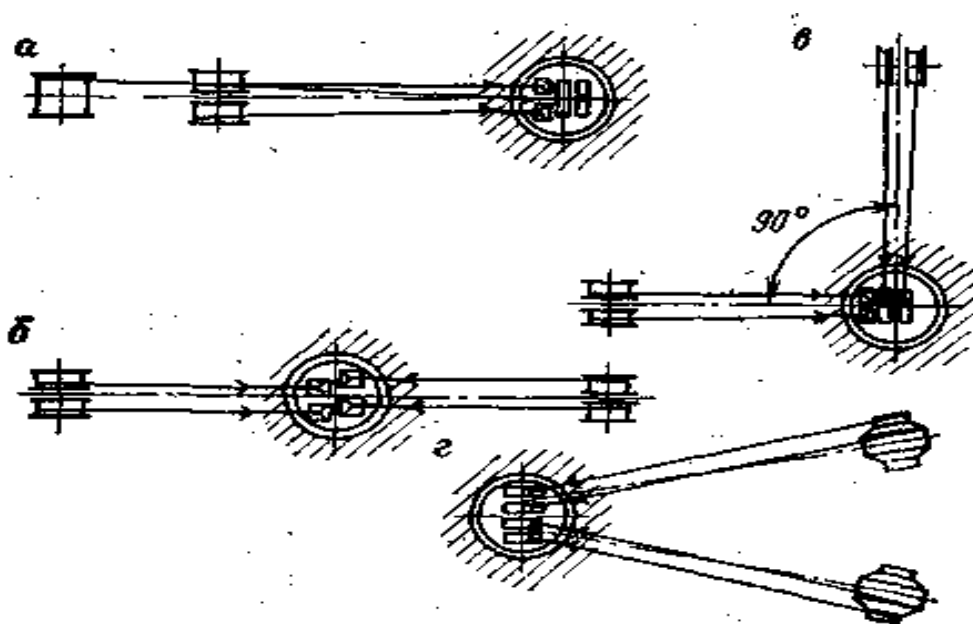


Рис. 4. – Схеми розташування двох одно канатних піднімальних установок, обслуговуючих один ствол

В багатоканатних піднімальних установках висота копра складається (рис.4):

$h_{в.} = 25 \dots 30$ м – висота кромки приймального бункера, м;

h_n - висота вільного перепідйому згідно ПТЕ – не менше 3м, м;

h_c - висота судини, м ;

$h_a = 6 \dots 10$ м – довжина робочого та резервного амортизаторів ходу – пристроїв для зупинки судин після відключення піднімальної машини при перепідйомі , величина робочого ходу амортизаторів залежить від типу та вантажопідйомності судини;

h_p - висота, необхідна для розміщення кріплень амортизаційних канатів після їх установки при перепідйомі , що приймається рівною 10м;

$h_{п.к.} = 5 \dots 10$ м – висота машинного залу для розміщення електрообладнання, елементів гальмівної системи та системи змащування;

$h_{п.к.} = 1 \dots 2$ м – висоти протиметанного каналу;

$0,75 R_{м.т.}$ – відстані від підлоги машинного залу до осі шківів тертя машини.

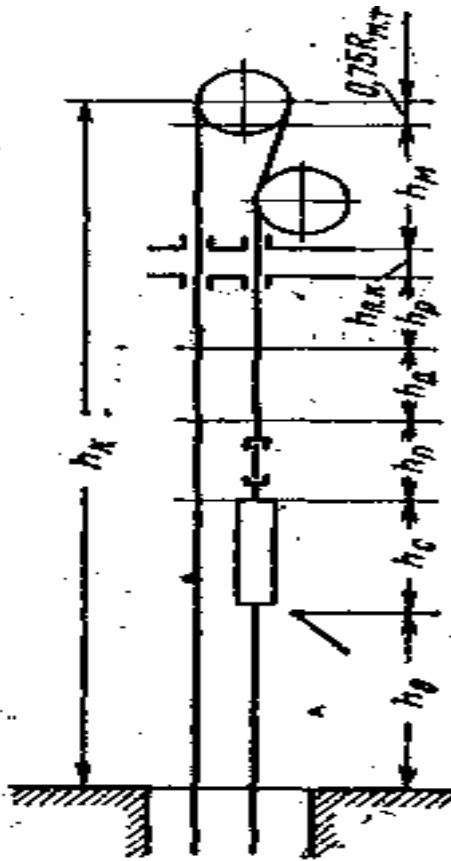


Рис. 5. - Схема до визначення копра багатоканатної піднімальної установки

Висоту баштового копра багатоканатної піднімальної установки слід визначати в залежності від необхідності встановлення шківів, що відхиляє.

Для піднімальної установки:

- за наявності відхиляючого шківів

$$h_k = h_v + h_n + h_c + h_a + h_p + h_s + h_{н.к.} + h_m + 0,75 R_{м.т.} + h_{відх.}, \text{ м}, \quad (33)$$

$$\text{де } h_{відх.} = \frac{D_{ш} + D_{ош}}{2 \sin \alpha_k} - \frac{D_{ш} - D_{ош}}{2 \tan \alpha_k} - \frac{l_o}{\tan \alpha_k}, \text{ м};$$

- за відсутності відхиляючого шківів

$$h_k = h_v + h_n + h_c + h_a + h_p + h_s + h_{н.к.} + h_m + 0,75 R_{м.т.}, \text{ м} \quad (34)$$

8. Кінематика піднімальної установки

Графічне зображення зміни швидкості піднімальних судин, залежно від часу, називається діаграмою швидкості підйому.

Заданими визначення елементів діаграми швидкості є: розрахункова тривалість руху піднімальних судин T_p (с); шлях (висота) підйому H - відстань від нижньої до верхньої приймальної площадки, причому при скіповому підйомі нижньої приймальної площадки відповідає рівень завантаження скіпа в зумпфе, м; прискорення a_1 згідно ПТЕ, при спуску і підйомі людей приймається не більше 1 м/с^2 ; для вантажних підйомів величина прискорення визначається проектом; уповільнення a_3 не має перевищувати $0,75 \text{ м/с}^2$.

Триперіодні діаграми швидкості та прискорення (рис.6) застосовують при клітинному підйомі,

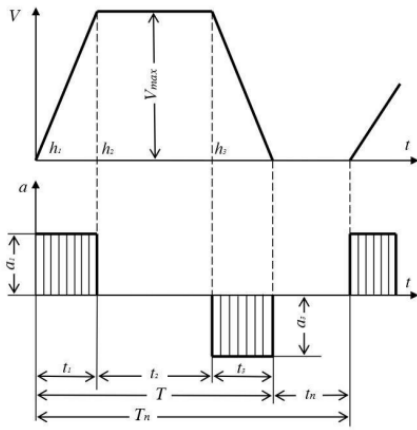


Рис. 6 - Триперіодні діаграми швидкості (а) та прискорення (б)

Максимальна швидкість підйому. Шлях піднімальних судин під час однієї піднімальної операції складається із шляхів h_1 , h_2 і h_3 , пройдених судинами відповідно під час прискореного t_1 рівномірного t_2 і уповільненого t_3 руху, тобто.

$$H = h_1 + h_2 + h_3 \quad (35)$$

Виразивши шлях через максимальну розрахункову швидкість $v_{p.m.}$ і тривалості руху t_1 , t_2 і t_3 маємо:

$$H = \frac{v_{p.m.} t_1}{2} + v_{p.m.} t_2 + \frac{v_{p.m.} t_3}{2} = v_{p.m.} \frac{t_1 + 2t_2 + t_3}{2}$$

Так як тривалість руху піднімальних судин під час однієї піднімальної операції $T_p = t_1 + t_2 + t_3$, тоді

$$H = \frac{2T_p - \frac{v_{pm}}{a_1} - \frac{v_{pm}}{a_3}}{2} v_{pm} \quad (36)$$

Отже,

$$v_{pm}^2 \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \right) - 2T_p v_{pm} + 2H = 0 \quad (37)$$

Позначимо

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{a_m} \quad (38)$$

звідки модуль прискорень (м/с²)

$$a_m = \frac{a_1 a_3}{a_1 + a_3} \quad (39)$$

Далі на підставі формул (37)-(39)

$$v_{pm}^2 - 2a_m T_p v_{pm} + 2a_m H = 0$$

та остаточно (м/с)

$$v_{pm} = a_m T_p \sqrt{(a_m T_p)^2 - 2a_m H} \quad (40)$$

За даними про підйомні машини визначають фактичну максимальну швидкість v_{max} піднімальних судин, причому для забезпечення заданої продуктивності необхідно, щоб $v_{max} > v_{pm}$

Тривалість (с) та шлях (м) прискореного руху

$$t_1 = \frac{v_{\max}}{a_1} \quad (41)$$

$$h_1 = \frac{v_{\max} t_1}{2} \quad (42)$$

Те ж, уповільненого руху

$$t_3 = \frac{v_{\max}}{a_3} \quad (43)$$

$$h_3 = \frac{v_{\max} t_3}{2} \quad (44)$$

Шлях h_2 та тривалість рівномірного руху

$$h_2 = H - h_1 - h_3 \quad (45)$$

$$t_2 = \frac{h_2}{v_{\max}} \quad (46)$$

Тривалість руху піднімальних судин (с)

$$T = t_1 + t_2 + t_3 \quad (47)$$

З іншого боку, якщо формулу (45) підставити t_1 і t_3 з (39) і (41), а замість t_2 - його значення з (44), то

$$T = \frac{H}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{2} \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3} \right) \quad (48)$$

При правильному розрахунку величина T за формулами (47) та (48) однакова.

Формула (46), так само як і наведені нижче формули, використовують не тільки для перевірки правильності розрахунку діаграм швидкості, але і для визначення в установках, що експлуатуються, величини T , що необхідно при перебування можливої пропускної здатності піднімальної установки.

Так як $v_{\max} > v_{pm}$, то $T < T_p$ і тому фактичний коефіцієнт резерву продуктивності піднімальної установки буде рівною або більше розрахункового.

$$c_{\phi} = C \frac{T_p + t_n}{T + t_n} \quad (49)$$

П'ятиперіодні діаграми швидкості та прискорення (рис. 7) застосовують під час підйому в неперекидних скіпах.

Наявність першого та п'ятого періодів у діаграмі швидкості пояснюється тим, що для зменшення динамічного навантаження на розвантажувальні криві, розвантажувальний ролик і затвор скіпа при русі скіпа при ході ролика по розвантажувальним кривим має бути зі зменшеним прискоренням a' та уповільненням a'' .

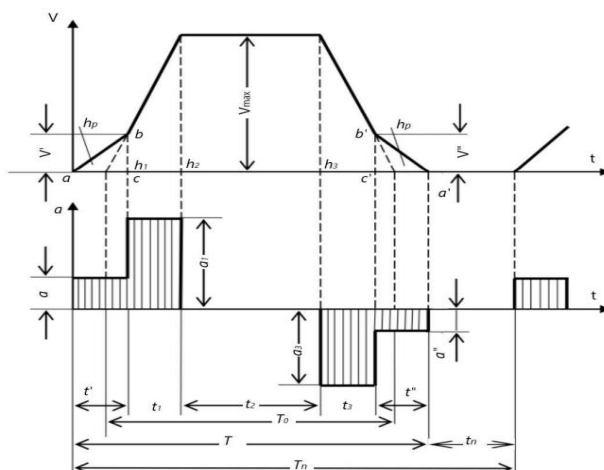


Рис. 7 - П'ятиперіодні діаграми швидкості та прискорення

Швидкість порожнього скіпа при виході його ролика з розвантажувальних кривих v' і v'' швидкість завантаженого скіпа при виході ролика в розвантажувальні криві v приймають рівними $v' = 1 \dots 1,5 \text{ м/с}$ і $v'' = 0,5 \dots 1,2 \text{ м/с}$ з таким розрахунком, щоб прискорення a' і уповільнення a'' у розвантажувальних кривих не перевищувало $0,3 \dots 0,5 \text{ м/с}^2$.

Максимальна швидкість при п'ятиперіодній діаграмі

$$v_{P.M} = a_M T_0 - \sqrt{(a_M T_0)^2 - 2a_m H_0} \quad (50)$$

При редукторі з передатним числом і потрібна частота обертання двигуна за формулою

$$n = \frac{60v_{P.M}}{\pi D_B} \quad (51)$$

Фактична максимальна швидкість

$$v_{MAX} = \frac{\pi D_B n}{60i} \quad (52)$$

Прискорення та уповільнення у розвантажувальних кривих та тривалість руху в них знаходимо за формулами:

$$a' = \frac{v'^2}{2h_p} \quad (53)$$

$$a'' = \frac{v''^2}{2h_p} \quad (54)$$

$$t' = \frac{v'}{a'} \quad (55)$$

$$t'' = \frac{v''}{a''} \quad (56)$$

Тривалість та шлях руху скіпу з прискоренням a_1 за формулами:

$$t_1 = \frac{v_{max} - v'}{a_1} \quad (57)$$

$$h_1 = \frac{v' + v_{MAX}}{2} t_1 \quad (58)$$

З уповільненням a_3 за формулами:

$$t_3 = \frac{v_{MAX} - v''}{a_3} \quad (59)$$

$$h_3 = \frac{v_{MAX} + v''}{2} t_3 \quad (60)$$

Шлях та тривалість рівномірного руху за формулами:

$$h_2 = H - 2h_p - h_1 - h_3 \quad (61)$$

$$t_2 = \frac{h_2}{v_{MAX}} \text{ с.} \quad (62)$$

Тривалість руху піднімальних судин за формулою:

$$T = t' + t_1 + t_2 + t_3 + t'' \quad (63)$$

9. Динаміка піднімальної установки

Вага (кг) всіх рухомих частин піднімальної установки, доведена до кола навивки канату,

$$m_{np.} = Qn + 2Qc + 2L_{п.к} p + 2 m'_{H.ш} + m'_B + m'_{3.п} + m'_p \quad (64)$$

Наведена маса напрямного шківів

$$m'_{H.ш} = \frac{(GD^2)_{H.ш}}{gD^2_B} \quad (65)$$

Наведена маса барабана

$$m'_B = \frac{(GD^2)_B}{gD^2_B} \quad (66)$$

Наведена маса редуктора

$$m'_{3.п} = \frac{(GD^2)_{3.п}}{gD^2_B} \quad (67)$$

Наведена маса роторів

$$m'_p = 2 \frac{(GD^2)_p}{gD^2_B} i^2 \quad (68)$$

Рухаючі зусилля

$$F = [kQ_{II} + (H - 2h_x)p]g \pm m_{np.} a, H \quad (69)$$

Обертний момент $M_{вр}$, (H^*m), який створюється підйомним двигуном відносно осі обертання органів навивки каната, витрачається на подолання статичного $M_{ст}$ і динамічного $M_{дин}$ моментів піднімальної системи щодо тієї ж осі:

$$M_{вр} = M_{ст} + M_{дин} \quad (70)$$

При підйомній системі з органами навивки постійного радіусу

$$FR = F_{ст}R + m_{II}aR \quad (71)$$

або

$$F = F_{ст} + m_{II}a \quad (72)$$

де F , $F_{ст}$ і $m_{II}a$ - відповідно зусилля двигуна, статичне та динамічне зусилля піднімальної системи, прикладені до кола навивки каната, Н; R - радіус навивки каната, м; m_{II} - вага всіх частин піднімальної системи, що рухаються, приведена до кола навивки каната, кг; a - лінійне прискорення каната, м/с².

Статичне зусилля піднімальної системи являє собою різницю статичних натягів каната піднімаючої $F_{під}$ і спускаючої $F_{сп}$ гілок.

Піднімальна система з рівноважним канатом, що врівноважує ($q = p$), відповідно (69) основне динамічне рівняння такої системи

$$F = kQ_n g + m_{II}a \quad (73)$$

Тут зміна довжини виска (отвес) підйомного каната не пов'язана з величиною рушійного зусилля, так як вплив підйомного каната усувається рівноважним врівноважним канатом.

Рушійні зусилля (F) у характерних точках триперіодної трапецеїдальної діаграми швидкості:

на початку та наприкінці прискореного руху

$$F_1 = F_2 = kQ_n g + m_{II}a_1, \text{ ГН}$$

на початку та наприкінці рівномірного руху

$$F_3 = F_4 = kQ_n g, \text{ Н}$$

на початку та наприкінці уповільненого руху

$$F_5 = F_6 = kQ_n g - m_n a_3, \text{ Н}$$

При цій системі рушійні зусилля протягом усього періоду уповільненого руху можуть дорівнювати нулю. Якщо позитивні рушійні зусилля вказують на необхідність працювати двигуном, а негативні - гальмом, то при рушійних зусиллях, рівних нулю, не буде місця робота двигуном або гальмом. При цьому рух піднімальних судин у третьому періоді діаграми швидкості відбуватиметься за рахунок сил інерції, що називається вільним вибігом. Робота з вільним вибігом може бути досягнута під час уповільнення:

$$a_3 = \frac{kQ_n}{m_n} \quad (74)$$

У зв'язку з неможливістю абсолютно точного дозування завантаження піднімальної судини він може зупинитися нижче або вище приймального майданчика. І в одному і в іншому випадку необхідне додаткове включення двигуна, що збільшує тривалість піднімальної операції, тому робота з вільним вибігом практично не застосовується.

При підйомній системі з важким врівноважним канатом $[(g-p) > 0]$ рушійні зусилля в характерних точках діаграми швидкості визначаються аналогічно до визначення зусиль при системі без врівноваженого каната. При цьому зміна статичного зусилля F_{cm} зобразиться висхідною прямою – статично переврівноважена піднімальна система, необхідність якою виникає в установках зі шківками тертя на шахтах малої глибини.

У піднімальних системах з перекидними судинами на початку піднімальної операції порушується врівноважування власних мас судин, оскільки кузов судини, що опускається, в цей момент спирається на розвантажувальні криві і лише частково навантажує канат. Тому зусилля (Н) на початку піднімальної операції

$$F_n = [kQ_n + k_y Q_c + (pq) H] g + m_n a', \quad (75)$$

де $k_y = 0,35$ - коефіцієнт, який враховує порушення врівноважування.

Аналогічно наприкінці піднімальної операції

$$F_n = [(k-1) Q_n - k_y Q_c - (pq) H] g - m_n a''. \quad (76)$$

Зміна рушійних зусиль під час руху ролика піднімальної судини по розвантажувальним кривим досить складно, оскільки змінюватиметься ступінь порушення врівноважування власної ваги судин (коефіцієнт k_y). Для простоти приймають, що зусилля у період змінюються згідно із законом прямої лінії.

Потужність (кВт) на валу підйомного двигуна у будь-який момент руху піднімальних судин

$$N_x = \frac{F_x v_x}{1000 \eta_n} \quad (77)$$

При негативних значеннях зусиль η має бути перенесений з знаменника в чисельник.

За формулою (77) визначають потужності у характерних точках діаграми швидкості і потім будують діаграми потужностей на валу підйомного двигуна, які зображені на рис. 8. Штриховими лініями показана зміна потужності у третій період діаграми швидкості за позитивних зусиль. Максимальна потужність (пік потужності) буде до кінця періоду прискореного руху, що обумовлюється максимальним зусиллям в цей час і максимальною швидкістю піднімальних судин.

Орієнтовна потужність підйомного двигуна

$$N_{o.p} = \frac{kQ_n H g}{1000 T \eta_n} \rho \quad (78)$$

$$\frac{M_{MAX}}{M_{НОМ}}; (GD^2)_p = 29000 \text{ Нм}^2 \quad (79)$$

Крутний момент на тихохідному валу редуктора, що створюється двигунами

$$M = 2 \left[\frac{8300 N \eta_{\Pi}}{n} \lambda_H - 0,25 \frac{(GD^2)}{9,8R} i \right] i \quad (80)$$

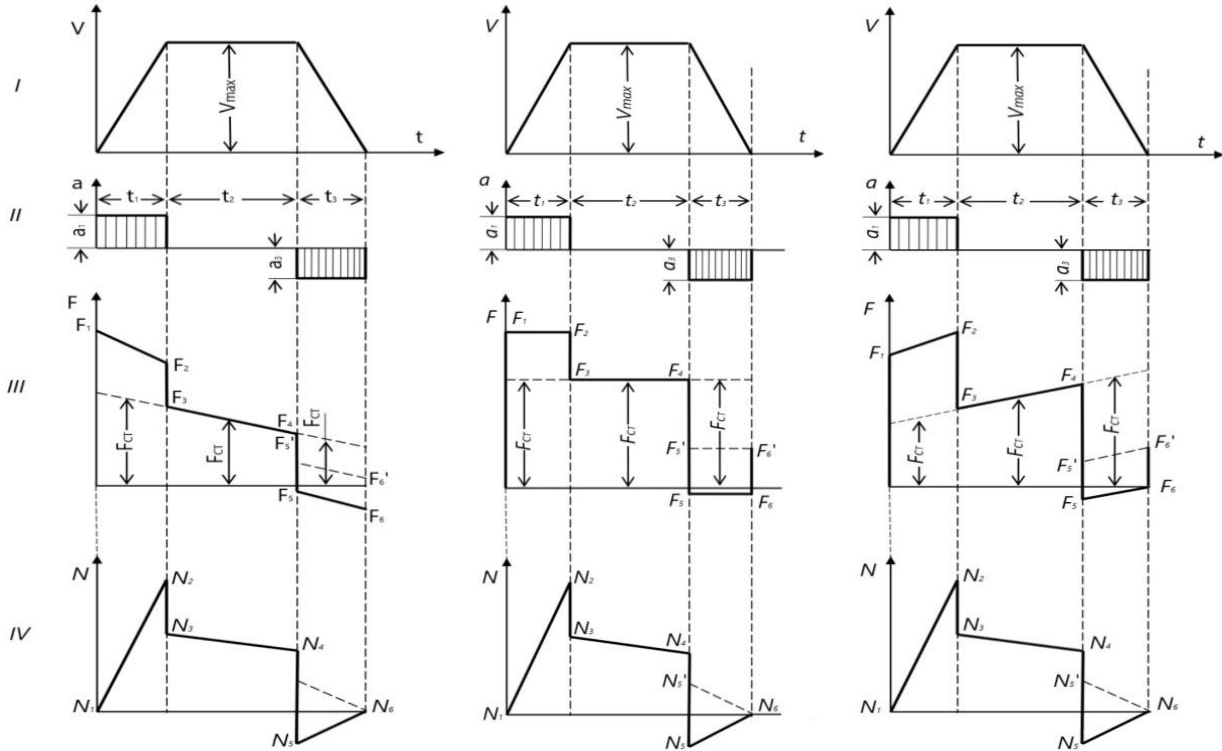


Рис.8 – Діаграми піднімальних систем з органами навивання постійного радіусу: I – швидкості; II – прискорення; III – рушійних зусиль; IV – потужності на валу двигуна.

10. Розрахунок і вибір електродвигуна

Еквівалентна потужність підйомного двигуна (кВт):

$$N_{\text{экв}} = \frac{F_{\text{экв}} v_{\text{max}}}{10^3 \eta_n} \quad (81)$$

При піднімальних системах з органами навивки постійного радіусу, статично врівноважених та триперіодній діаграмі швидкості еквівалентне зусилля (Н)

$$F_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{F_1^2 t_1 + F_3^2 t_2 + F_5^2 t_3}{T_n'}} \quad (82)$$

Знаменник підкореного виразу формули (74)

$$T_n' = k_{y.d} (t_1 + t_3) + t_2 + k_{n.t} t_n \quad (83)$$

де $k_{y.d}$ та $k_{n.t}$ - коефіцієнти, які враховують погіршення умов охолодження під час відповідно прискореного та уповільненого руху, а також паузи між рухом піднімальних судин; за даними акад. М. М. Федорова $k_{y.d} = 1$ і $k_{n.t} = 0,33$; ХЕМЗ рекомендує $k_{y.d} = 0,5$ і $k_{n.t} = 0,25$.

При піднімальних системах з органами навивки постійного радіусу без врівноважуючого та з важким врівноважуючим канатом, коли протягом кожного періоду піднімальної операції змінюються F_1 до F_2 , F_3 до F_4 і т.п. і при триперіодній діаграмі швидкості еквівалентне зусилля

$$F_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{(F_1^2 + F_1 F_2 + F_2^2) \frac{t_1}{3} + (F_3^2 + F_3 F_4 + F_4^2) \frac{t_2}{3} + (F_5^2 + F_5 F_6 + F_6^2) \frac{t_3}{3}}{T_n'}} \quad (84)$$

У загальному випадку для підйому систем з органами навивки постійного радіусу за будь-яких діаграм швидкості

$$F_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum F^2 t}{T_n'}} \quad (85)$$

Витрата енергії (кВт* год) на шинах електропідстанції на 1 т вантажу, що піднімається, при вантажі, що одночасно піднімається Q_n

$$W_m = \frac{k_{mT} 1000W}{3600 \eta_o \eta_c Q_n} = \frac{k_{mT} W}{3,6 \eta_o \eta_c \eta_e \eta_{\text{дв}} \eta_6 Q_n} \quad (86)$$

де $k_{mT} \approx 1,03$ - коефіцієнт, що враховує витрату енергії під час маневрів та при гальмуванні; η_d -

к.к.д. двигуна; $\eta_c = 0,95$ - к.к.д. електромережі. Витрата енергії (кВт* год) на 1 т*км при висоті підйому Н.

$$W_{Tkm} = \frac{1000W_T}{H} \quad (87)$$

Річна витрата енергії установкою на підйом корисних копалин та породи

$$W_z = a A_z W_T, \text{кВт} \cdot \text{ч} \quad (88)$$

Привід із двигуном постійного струму (система Г-Д). Струм у цьому приводі змінюється відповідно до зміни крутного моменту (рушійного зусилля при системах постійного радіусу навивки), а напруга - відповідно до зміни швидкості, оскільки регулювання частоти обертання двигуна здійснюється зміною напруги.

Діаграма споживаної потужності при системі Г-Д зобразиться діаграмою потужності на валу підйомного двигуна з урахуванням втрат у перетворювальній групі та в самому підйомному двигуні. Площа діаграми потужності на валу підйомного двигуна є енергією W (кВт с), що витрачається ним.

Енергія (кВт*год), що споживається на шинах електропідстанції на 1 т вантажу, що піднімається,

$$W_T = \frac{k_{mt}}{3,6 \eta_o \eta_c \eta_{\text{дв}} \eta_3 \eta_c Q_n} \quad (89)$$

де $\eta_o = 0,9$ - к.к.д. підйомного двигуна; $\eta_c = 0,93 \dots 0,94$ - к.к.д. генератора; $\eta_{\text{дв}} = 0,9$ - к.п.д. двигуна перетворювальної групи; $\eta_6 = 0,97$ - к.п.д. збудження; $\eta_c = 0,95$ - к.к.д. електромережі.

Витрата енергії на 1 т вантажу, що піднімається, на 1 т*км і за один рік визначається так само, як і при асинхронному двигуні.

11. Витрата енергії і ККД піднімальної установки

Корисна потужність (кВт) для підйому 1 т вантажу

$$N_n = \frac{1000Hg}{1000T} = \frac{Hg}{T} \quad (90)$$

Корисна витрата енергії (кВт -ч) за одну підйомну операцію протягом Т (с) на підйом 1 т вантажу

$$W_{II} = N_{II} T = \frac{Hg}{3600T} T = 0,00272H \quad (91)$$

К.к.д. піднімальної установки (без урахування втрат в електромережі)

$$\eta_y = \frac{W_n}{W_T \eta_c} \quad (92)$$

К.к.д. піднімальної машини буде більше к.к.д. установки, оскільки у своїй не враховуються опору в стволі, направляючих шківів, і жорсткість каната, тобто.

$$\eta_{\text{маш}} = k \eta_{\text{в}} \quad (93)$$

13. Особливості розрахунку кліткових підйомів

Вихідними даними для розрахунку є:

глибина шахти $H_{\text{г}}$;

добова продуктивність шахти $A_{\text{добу}}$;

продуктивність на одного підземного робітника $q_{\text{см}}$;

ємність вагонетки.

13. 1 Вибір кліті

Основною вимогою до допоміжного підйому є забезпечення спуску-підйому зміни за 40 хв. Цим визначається максимальна швидкість та кількість поверхів у кліті.

Розрахунок максимальної швидкості підйому слід проводити в наступній послідовності:

- кількість людей, які опускаються в шахту за зміну,

$$N_{\text{см}} = \frac{A_{\text{см}}}{n_{\text{см}} q_{\text{см}}}, \text{ чол/зм.}, \quad (94)$$

де $n_{\text{зм}}$ - число змін на добу;

- кількість необхідних рейсів для спуску зміни

$$n_{\text{рейс}} = \frac{0,2 N_{\text{см}}}{S_{\text{н.кл}}}, \quad (95)$$

де $S_{\text{н.кл}}$ – площа підлоги одного поверху м^2 для відповідної вагонетки (додаток 4);

0,2 – розрахункова площа підлоги кліті на одну особу, м^2 максимально допустимий час одного циклу підйому за умовою спуску-підйому максимальної зміни за 40 хв

$$T_{\text{ц}} = \frac{40 * 60}{n_{\text{рейс}}}, \text{ с} \quad (96)$$

час руху кліті

$$T_{\text{дв}} = T_{\text{ц}} - \theta, \text{ с} \quad (97)$$

де θ – пауза на посадку-вихід людей із кліті.

Тривалість пауз на посадку та вихід людей із кліті слід приймати:

для одноповерхових клітей рівною в секундах числу людей у кліті плюс 10с.

для двоповерхових клітей дорівнює кількості людей в обох поверхах кліті плюс 25с.

Подальший розрахунок максимальної швидкості підйому виконується аналогічно до розрахунку для скіпових підйомів.

Максимальна швидкість спуску-підйому людей за вертикальними виробками не повинна перевищувати 12 м/с.

Коли розрахункове значення максимальної швидкості перевищить допустиме, необхідно приймати кліть більшої поверховості або переходити на інший типорозмір кліті, якщо це можливо.

При розрахунку до вибору основного обладнання підйому клітини в якості розрахункового навантаження слід приймати масу вагонеток з породою, встановлених в багатоповерховій кліті.

Добову витрату енергії по допоміжному підйому можна визначити за виразом

$$W_{\text{добу}} = (0,6 \dots 0,7) N_{\text{н}} t_{\text{добу}}, \text{ кВт} * \text{год}, \quad (89)$$

де $(0,6 \dots 0,7)$ - коефіцієнт, що враховує середнє завантаження підйомного двигуна;
 $t_{\text{добу}} = (8 \dots 9) \text{ год}$ – час роботи піднімальної установки на добу щодо виконання допоміжних операцій;
 $N_{\text{н}}$ - Номінальна потужність встановленого двигуна.