

Приклади розрахунку рухаючих зусиль

Задача №1. Визначити рухаючі зусилля, потужність на валу підйомного двигуна в характерних точках трьохперіодної діаграми швидкості. Побудувати діаграми зусиль і потужностей для підйомних систем: без врівноважуючого канату, з рівноважним врівноважуючим канатом, з тяжким врівноважуючим канатом. Висота підйому $H=730$ м, корисна маса $Q_n=5000$ кг, час прискореного, рівномірного та сповільненого рухів $t_1=13,33$ с; $t_2=59,66$ с; $t_3=13,33$ с.

Довжини шляхів, пройдених в ці періоди, $h_1=h_3=66,7$ м, $h_2=596,6$ м. Тривалість руху $T=86,32$ с; лінійна маса підйомного канату $p=8,37 \frac{\text{кг}}{\text{м}}$; лінійна маса врівноважуючого канату $q=9,43 \frac{\text{кг}}{\text{м}}$; приведена маса рухаючих частин підйомної установки до окружності барабана $m_n=80000$ кг; прискорення та сповільнення $a_1=a_2=0,73 \text{ м/с}^2$; максимальна швидкість руху підйомних сосудів $v_{\max}=10 \text{ м/с}$; к.к.д. передачі редуктора $\eta_n=0,94$.

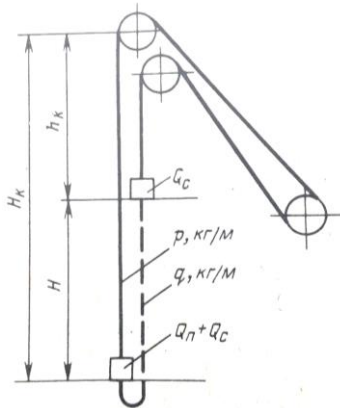


Рис. 1 – Схема до динамічного рівняння піднімальної системи з постійним радіусом навивки

Рішення:

Рухаючі зусилля (H), здійснюючі двигуном на окружності барабана двоклітьової (двоскіпової) установки

$$F = [kQ_n - (H - 2h_x)(q - p)]g + m_n a.$$

Для одноклітьової (односкіпової) установки з противагою

$$F = [kQ_n + Q_c - Q_{np} - (H - 2h_x)(q - p)]g + m_n a,$$

де k – коефіцієнт шкідливих опорів (для клітей $k=1,2$; для скіпів $k=1,15$);

h_x – миттєве позначення шляху, м;

m_n – маса всіх рухаючих частин установки, приведена до окружності навивки, кг;

Q_{np} – маса противаги, кг.

1. Система без врівноважуючого канату ($q=0$).

$$F_1 = (kQ_n + Hp)g + m_n a_1 = (1,2 \cdot 5000 + 730 \cdot 8,37)9,81 + 80000 \cdot 0,75 = 17,88 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

$$F_2 = [kQ_n + (H - 2h_1)p]g + m_n a_1$$

$$= [1,2 \cdot 5000 + (730 - 2 \cdot 66,7)8,37]9,81 + 80000 \cdot 0,75 = 16,78 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

На початку та в кінці рівномірного руху:

$$F_3 = [kQ_n + (H - 2h_1)p]g = [1,2 \cdot 5000 + (730 + 2 \cdot 66,7)8,37]9,81 = 10,78 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

$$F_4 = \{kQ_n + [H - 2(h_1 + h_2)]p\}g = \{1,2 \cdot 5000 + [(730 - 2)66,7 + 596,6]8,37\}9,81 = 0,987 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

На початку сповільненого руху та в кінці підйому:

$$F_5 = \{kQ_n + [H - 2(h_1 + h_2)]p\}g - m_n a_3 = \{1,2 \cdot 5000 + [730 - 2(66,7 + 596,6)]8,37\}9,81 - 80000 \cdot 0,75 = -5,01 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

$$F_6 = (kQ_n - Hp)g - m_n a_3 = (1,2 \cdot 5000 - 730 \cdot 8,37)9,81 - 80000 \cdot 0,75 = -6,01 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

Потужності (кВт) на валу підйомного двигуна в характерних точках діаграми швидкості

$$N_x = \frac{F_x v_x}{1000 \eta_n}.$$

При наших данных

$$N_1=0;$$

$$N_2 = \frac{F_2 v_{\max}}{1000 \eta_n} = \frac{16,78 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0,94} = 1985 \text{ кВт};$$

$$N_3 = \frac{F_3 v_{\max}}{1000 \eta_n} = \frac{10,78 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0,94} = 1147 \text{ кВт};$$

$$N_4 = \frac{F_4 v_{\max}}{1000 \eta_n} = \frac{0,987 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0,94} = 105 \text{ кВт};$$

$$N_5 = \frac{F_5 v_{\max} \eta_m}{1000} = \frac{-5,01 \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot 0,94}{1000} = -470 \text{ кВт};$$

$$N_6=0.$$

2. Система з рівноважним врівноважуючим канатом ($q=p$).

- при прискореному русі

$$F_1 = F_2 = kQ_n g + m_n a_1 = 1,2 \cdot 5000 \cdot 9,81 + 80000 \cdot 0,75 = 11,88 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

- при рівномірному русі

$$F_3 = F_4 = kQ_n g = 1,2 \cdot 5000 \cdot 9,81 = 5,88 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

- при сповільненому русі

$$F_5 = F_6 = kQ_n g - m_n a_3 = 1,2 \cdot 5000 \cdot 9,81 - 80000 \cdot 0,75 = -0,1 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

Потужності на валу підйомного двигуна

$$N_1=0;$$

$$N_2 = \frac{11,88 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0,94} = 1260 \text{ кВт};$$

$$N_3 = N_4 = \frac{5,88 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0,94} = 626 \text{ кВт};$$

$$N_5 = \frac{-0,1 \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot 0,94}{1000} = -10,3 \text{ кВт};$$

$$N_6=0.$$

3. Система з тяжким врівноважуючим канатом ($q-p=9,43-8,37=1,06 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$).

$$F_1 = [kQ_n - H(q-p)]g + m_n a_1 = (1,2 \cdot 5000 - 730 \cdot 1,06)9,81 + 80000 \cdot 0,75 = 11,12 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

$$F_2 = [kQ_n - (H - 2h_1)(q-p)]g + m_n a_1 = [1,2 \cdot 5000 - (730 - 2 \cdot 66,7)1,06]9,81 + 80000 \cdot 0,75 = 11,26 \cdot 10^4;$$

$$F_3 = [kQ_n - (H - 2h_1)(q-p)]g = [1,2 \cdot 5000 - (730 - 2 \cdot 66,7)1,06]9,81 = 5,26 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

$$F_4 = \{kQ_n - [H - 2(h_1 + h_2)](q-p)\}g = \{1,2 \cdot 5000 - [730 - 2(66,7 + 596,6)]1,06\}9,81 = 6,5 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

$$F_5 = \{kQ_n - [H - 2(h_1 + h_2)](q - p)\}g - m_n a_3 = \{1,2 \cdot 5000 - [730 - 2(66,7 + 596,6)]1,06\}9,81 - 80000 \cdot 0,75 = 0,5 \cdot 10^4 H;$$

$$F_6 = [kQ_n + H(q - p)]g - m_n a_3 = (1,2 \cdot 5000 + 730 \cdot 1,06)9,81 - 80000 \cdot 0,75 = 0,64 \cdot 10^4 H.$$

Потужності на валу підйомного двигуна

$$N_1 = 0;$$

$$N_2 = \frac{11,26 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0,94} = 1198 \text{ кВт};$$

$$N_3 = \frac{5,26 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0,94} = 560 \text{ кВт};$$

$$N_4 = \frac{6,5 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0,94} = 691 \text{ кВт};$$

$$N_5 = \frac{0,5 \cdot 10^4 \cdot 10}{1000 \cdot 0,94} = 53,2 \text{ кВт}.$$

$$N_6 = 0.$$

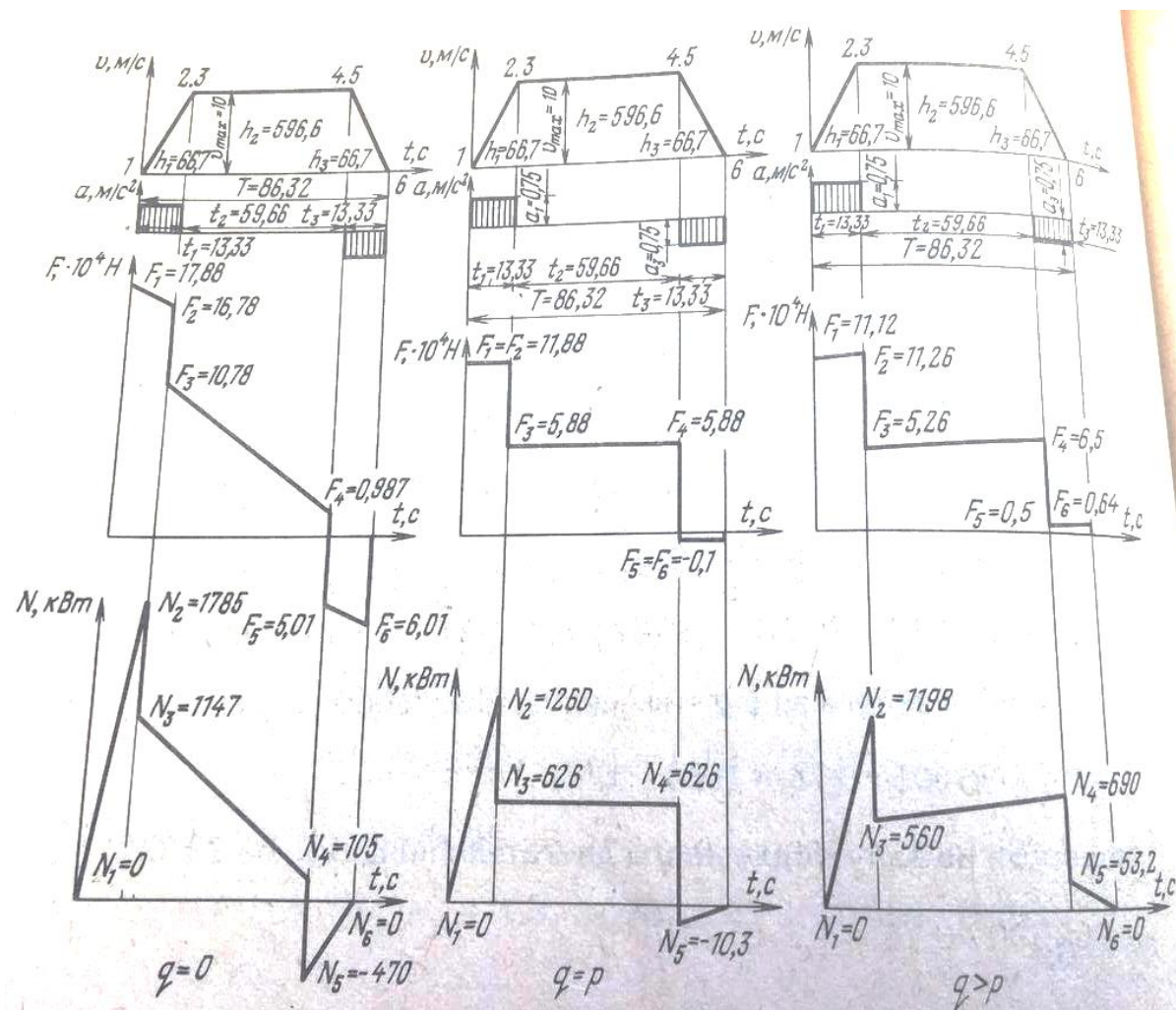


Рис. 2 – до задачі 1

Задача 2. Визначити рухаючі зусилля на колі навивки барабана, потужності на валу підйомного двигуна в характерних точках п'ятиперіодної діаграми швидкості і побудувати діаграми зусиль (навантажувальні діаграми на двигун) та потужностей для скіпової установки без врівноважуючого канату. Висота підйому $H=550\text{м}$, корисна маса скипу $Q_n=8500\text{кг}$. Тривалість руху по розвантажувальних кривих $t'=3,94\text{с}$, з прискоренням $a'=0,279\text{ м/с}^2$, $t_1=6,13\text{с}$ з прискоренням $a_1=1\text{м/с}^2$;

рівномірного руху $t_2=67,23\text{с}$ з прискоренням $a_1=1\text{м/с}^2$, $t_3=8,17\text{с}$ з уповільненням $a_3=0,75\text{ м/с}^2$;

По розвантажувальним кривим $t''=3.94\text{с}$ з уповільненням $a''=0,279\text{ м/с}^2$ відповідно указаним періодам шляху $h_0=2,17\text{м}$ (шлях розвантаження скипу); $h_1=25,53\text{ м}$; $h_2=486,1\text{ м}$; $h_3=34,03\text{м}$; швидкість виходу ролика скипу з розвантажуючих кривих $v'=1.1\text{ м/с}$, входу $v''=1,1\text{м/с}$;максимальна швидкість $v_{\text{max}}=7,23\text{ м/с}$; $T=89,41\text{с}$; приведенна до кола барабана маса рухомих частин установки $m_{\text{п}}=103590\text{ кг}$; к.п.д. редуктора $\eta_{\text{п}}=0,93$.

Рішення.

Рухомі зусилля на початку підйому і в кінці руху з прискоренням a' :

$$F1=(kQ_{\text{п}} + H_{\text{р}}) g+m_{\text{п}} a' =(1.15*8500+550*8.47)9.81+103590*0.279=17.05*10^4\text{Н};$$

$$F2=[kQ_{\text{п}}+(H-2h_{\text{р}})p]g+m_{\text{п}} a' =$$

$$= [1.15*8500+(550-2*2.17)8.47]9.81+103590*0.279= 17.01*10^4\text{Н};$$

Те саме на початку і в кінці руху з прискорюванням a_1 :

$$F3=[kQ_{\text{п}}+(H-2h_{\text{р}})p]g+m_{\text{п}} a_1=$$

$$= [1.15*8500+(550-2*2.17)8.47]9.81+103590*1=24.55*10^4\text{Н};$$

$$F4=\{kQ_{\text{п}}+[H-2(h_{\text{р}}+h_1)]p\} g+m_{\text{п}} a_1=$$

$$= \{1.15*85000+[550- 2(2,17+25,23)]8,47\}9,81+103590*1=24,06*10^4\text{Н};$$

Те саме на початку і в кінці рівномірного руху:

$$F5=\{kQ_{\text{п}}+[H-2(h_{\text{р}}+h_1)]g=$$

$$=\{1,15*8500+[550-2(2,17+25,53)] 8,47\}9,81=13,7*10^4\text{Н};$$

$$F6=\{kQ_{\text{п}}+[H-2(h_{\text{р}}+h_1+ h_2)]p\}g=$$

$$=\{1,15*8500+[550-2(2,17+25,53+486,1)]8,47\}9,81=5,61*10^4\text{Н};$$

Те саме, на початку і в кінці руху з уповільненням a_3 :

$$F7=\{kQ_{\text{п}}+[H-2(h_{\text{р}}+h_1+ h_2)]p\}g- m_{\text{п}} a_3=$$

$$\{1,15*8500+[550-2(2,17+25,53+486,1)]8,47\}9,81-103590*0,75=-2,15*10^4\text{Н};$$

$$F8=\{kQ_{\text{п}}+[H-2(h_{\text{р}}+h_1+ h_2+ h_3)]p\}g- m_{\text{п}} a_3=$$

$$\{1,15*8500+[500-2(2,17+25,53+486,1+34,03)]8,47\}*9,81-103590*0,75=-2,72*10^4\text{Н};$$

Те саме, на початку руху з уповільненням a'' і в кінці підйому:

$$F9= \{ kQ_{\text{п}}+[H-2(h_{\text{р}}+h_1+ h_2+ h_3)]p\}g- m_{\text{п}} a''=$$

$$\{1.15*8500+[550-2(2.17+25.53+486.1+34.03)]8.47\}*9.81-103590*0.279=2.16*10^4\text{Н};$$

$$F10= \{ kQ_{\text{п}}-H_{\text{р}}\}g- m_{\text{п}} a''= (1,15*8500-550*8,47)9,81-103590*0,279=2,13*10^4\text{Н};$$

Потужності в тих же характерних точках діаграми швидкості:

$$N_1=0;$$

$$N2 = \frac{17.01 * 10^4 * 1.1}{1000 * 0,93} = 201.2\text{кВт};$$

$$N3 = \frac{24.55 * 10^4 * 1.1}{1000 * 0,93} = 290.4\text{кВт};$$

$$N4 = \frac{24.06 * 10^4 * 7.23}{1000 * 0,93} = 1870\text{кВт};$$

$$N5 = \frac{13.7 * 10^4 * 0.23}{1000 * 0,93} = 1065\text{кВт};$$

$$N6 = \frac{5.62 * 10^4 * 7.23}{1000 * 0,93} = 437\text{кВт};$$

$$N7 = \frac{-2.15 * 10^4 * 7.23 * 0.93}{1000} = -145\text{кВт};$$

$$N_8 = \frac{-2.72 * 10^4 * 7.23 * 0.93}{1000} = -27.8 \kappa Bm;$$

$$N_9 = \frac{2.16 * 10^4 * 1.1}{1000 * 0.93} = 25.5 \kappa Bm;$$

$$N_{10}=0.$$

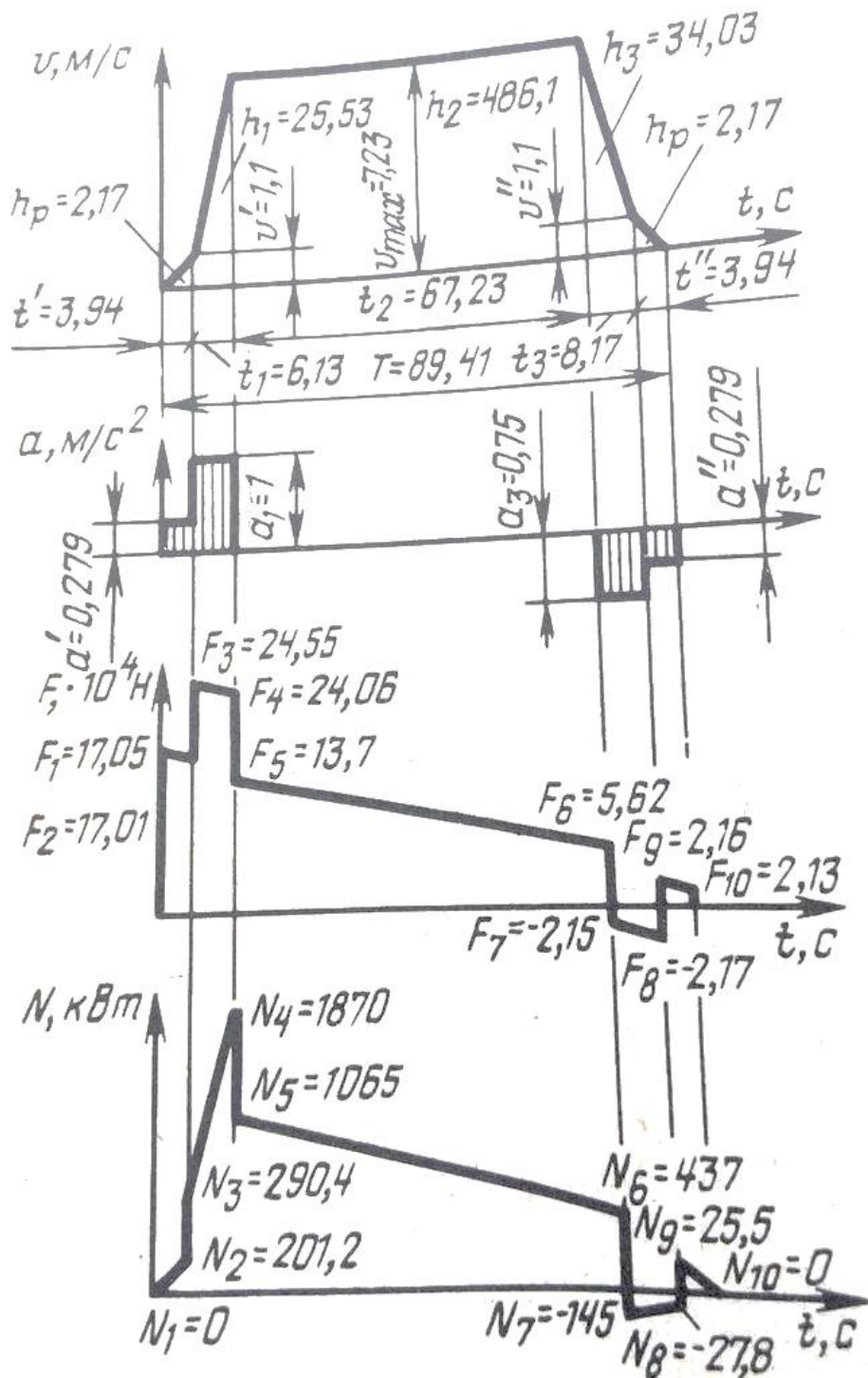


Рис. 3 – до задачі 2