

О РЕЖИМЕ РАБОТЫ НЕУРАВНОВЕШЕННОЙ СКИПОВОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ

И. К. ХРУСТАЛЕВ

(Представлено проф., докт. техн. наук Балашевым И. А.)

Рациональный режим работы подъемной установки должен отвечать следующим условиям.

1. При заданных производительности и высоте подъема подъемная установка должна иметь максимальный к. п. д. или, что то же самое, иметь минимальный расход энергии.

2. При тех же условиях иметь минимальную строительную мощность подъемного электродвигателя.

Краткий анализ этих требований дает возможность судить о их противоречивости.

К. п. д. подъемной установки приближенно можно определить из следующей зависимости [10]

$$\eta_y = \frac{\eta_g \cdot \eta_{зп}}{\alpha k}, \quad (1)$$

где η_g — к. п. д. электродвигателя, $\alpha = \frac{v_{max}}{v_{cp}}$ — множитель скорости,

$\eta_{зп}$ — к. п. д. зубчатой передачи, k — коэффициент шахтных сопротивлений.

Из (1) видно, что к. п. д. подъемной установки растет с уменьшением α , но при этом сокращается период пуска в ход подъемной установки, а следовательно, растет ускорение j движущейся системы. Последнее, в свою очередь, приводит к увеличению строительной мощности подъемного электродвигателя, так как увеличивается максимальное пусковое усилие ($F_{max} = j$).

С увеличением α ускорения движущейся системы уменьшаются, а следовательно, и уменьшаются максимальные движущиеся усилия в пусковой период, что приводит к уменьшению строительной мощности подъемного электродвигателя, так как

$$\gamma = \frac{F_{max}}{F_{стр}} \leq \gamma_g, \quad (2)$$

где F_{max} — максимальное пусковое усилие,

$F_{стр}$ — строительное усилие подъемного электродвигателя,

γ_g — допустимая перегрузка электрических двигателей.

Но с увеличением α растет максимальная скорость движения сосудов V_{max} , а это вызывает увеличение строительной мощности электродвигателя, так как

$$P_{стр} \geq P_{эф} = \frac{F_{эф} V_{max}}{102 \eta_{зп}}, \quad (3)$$

где $F_{эф}$ и $P_{эф}$ — эффективное движущее усилие и мощность.

Таким образом, анализируя режимы работы подъемной установки, надо найти такой рациональный режим, при котором будут выполнены в наибольшей степени указанные условия в комплексе.

Режим работы подъемной установки определяет главным образом диаграмма скорости движения сосудов, поэтому решение задачи о наивыгоднейшем режиме работы сводится к выбору рациональной диаграммы скорости.

Автором проанализированы режимы работ большого количества скиповых подъемов шахт Кузбасса [4; 7] и ни один подъем, на наш взгляд, не отвечает полностью вышеуказанным условиям. Так, например, на одной из скиповых подъемных установок треста „Анжероуголь“ по заданным производительности, высоте подъема и емкости сосуда получается средняя скорость движения скипов $V_{cp} = 6$ м/сек. Там принята максимальная скорость $V_{max} = 10,6$ м/сек и установлен подъемный электродвигатель со строительной мощностью $P_{стр} = 1050$ квт. Здесь можно было бы принять $V_{max} = 7,8$ м/сек; при этом будет $P_{стр} = 800$ квт.

На одной из скиповых подъемных установок треста „Кагановичуголь“, при $V_{cp} = 2,45$ м/сек принято $V_{max} = 5,2$ м/сек и $P_{стр} = 1200$ квт. В этом случае надо было бы принять $V_{max} = 3,2$ м/сек и $P_{стр} = 750$ квт. Эти два примера показывают, насколько неэкономично работают подъемные установки. Поэтому вопрос выбора рационального режима является вопросом первостепенной важности.

При проектировании подъемной установки обычно задана ее годовая производительность и глубина шахты. По указанным значениям $A_{год}$, T и $H_{ш}$ определяется часовая производительность подъемной установки, при этом

$$A_{час} = \frac{c A_{год}}{b t} \left[\text{м/час} \right], \quad (4)$$

где $c = 1,15 - 1,25$ — коэффициент резерва,
 b — число рабочих дней в году,
 t — число часов работы подъема в сутки.

Добавляя к глубине шахты $H_{ш}$ ориентировочную высоту от устья ствола до разгрузочного устройства $h_2 = 15 \div 30$ м и высоту от загрузочного устройства до рабочего горизонта $h_3 = 15 \div 30$ м, получим ориентировочную высоту подъема H в метрах.

По часовой производительности и высоте подъема определяется емкость скипа.

Для определения наивыгоднейшей емкости скипа нами предложена формула [3]:

$$Q_n = 0,005 A_{час} H^{0,237}. \quad (5)$$

Полученная по (5) наивыгоднейшая вместимость скипа в тоннах округляется до ближайшей стандартной. На рис. 1 показан график для выбора скипа, составленный на основании (5).

По $A_{час}$ и Q определяется время цикла работы подъемной установки $T_{ц}$ и время движения сосудов T

$$T_{ц} = \frac{3600 Q}{A_{час}} \quad (6)$$

$$\text{и} \quad T = T_{ц} - \Theta, \quad (6a)$$

где Θ — пауза при работе подъемной установки. Ее можно принимать [4]:
 для скипов емкостью до 4 т — 7 сек,
 6 т — 8 сек,
 8 т — 11 сек.

Далее определяются средняя ориентировочная и максимальная скорости движения сосудов. При этом

$$V_{cp} = \frac{H}{T} \quad (7)$$

и
$$V_{max} = \alpha V_c = \alpha \frac{H}{T} \quad (8)$$

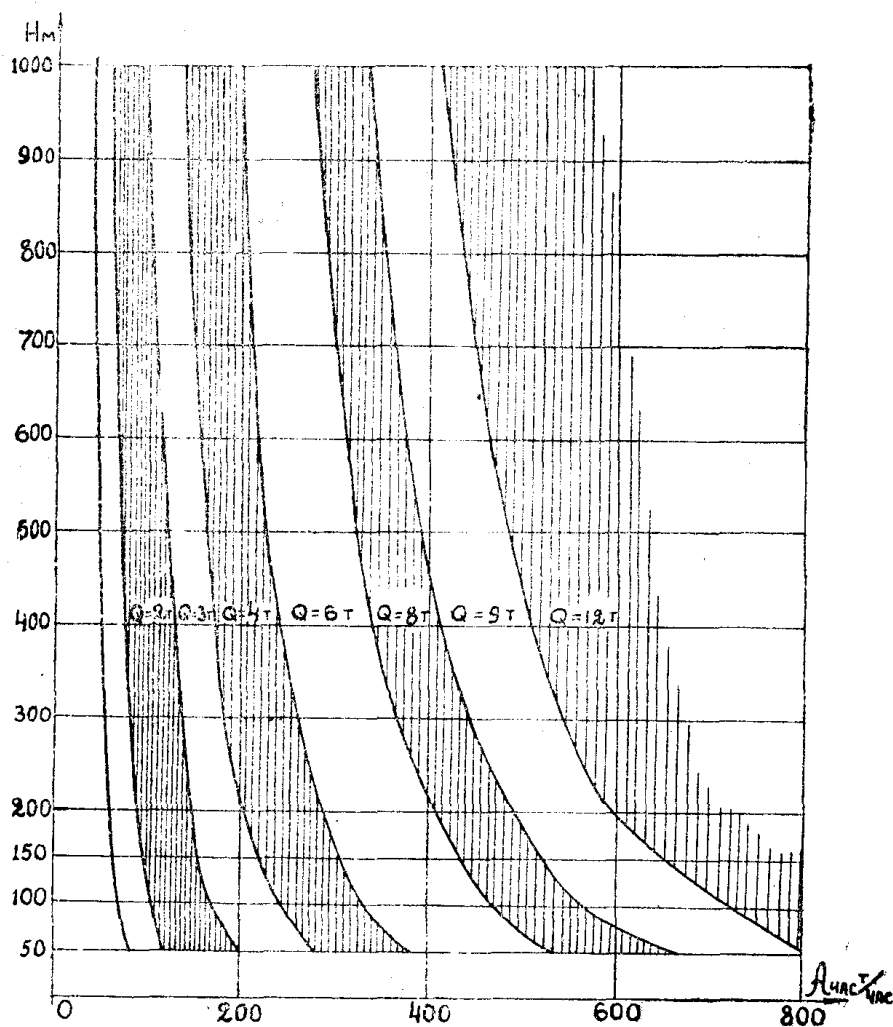


Рис. 1. График для определения ёмкости скипа

В технической литературе [1; 2; 5; 6; 9 и др.] наивыгоднейшие значения множителя скорости рекомендуется принимать $\alpha = 1,1 \div 1,3$.

Как видим, диапазон рекомендуемых множителей скорости довольно широк, а поэтому в различных случаях проектирования режимов довольно широко будут изменяться и показатели работы подъемных установок.

На самом деле предположим, в расчете получили $V_{cp} = 8$ м/сек. В этом случае при $\alpha = 1,1$, $V_{max} = 8,8$ м/сек, а при $\alpha = 1,3$, $V_{max} = 10,4$ м/сек. Различными будут и все экономические показатели.

Исходя из сказанного, необходимо установить более узкие пределы изменения наивыгоднейших значений α .

Рассмотрим вначале трехпериодную диаграмму скорости движения сосудов.

Принимая $\eta_g = 0,9$, $\eta_n = 0,93$ и $k = 1,15$, на основании (1) получим $\eta_y = \frac{0,73}{\alpha}$, отсюда $\eta_y = \varphi(\alpha)$ будет иметь следующие значения:

$\alpha = 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,8; 2,0;$

$\eta_y = 0,663; 0,61; 0,56; 0,52; 0,487; 0,405; 0,365.$

На основании (2) ориентировочная мощность подъемного электродвигателя может быть определена из выражения

$$P = \frac{F_{max} V_{max}}{102 \eta_{3n} \gamma_g} = \alpha \frac{F_{max} V_{cp}}{102 \eta_{3n} \gamma} \quad (9)$$

Здесь V_{cp} определяется на основании выражения (7).

$$F_{max} = KQ + pH + mj \quad (10)$$

Массу m , приведенную к окружности барабана, можно заменить произведением коэффициента массивности μ подъемной установки на вместимость сосуда Q , т. е. $m = \mu Q$. (11)

В предварительных расчетах в скиповых подъемах при $H \leq 400$ м без больших погрешностей можно принимать $\mu = 1$, тогда

$$F_{max} = (k + j) Q + pH \quad (12)$$

На рис. 2 нами построены графики для определения веса погонного метра каната p кг/м в зависимости от Q .

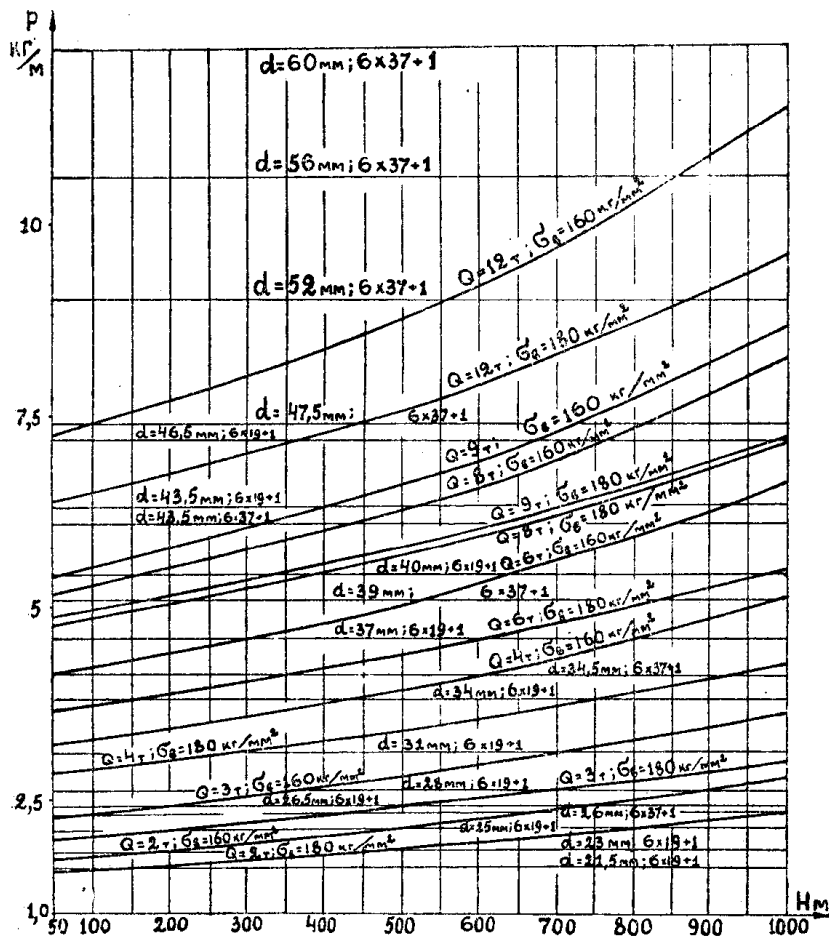


Рис. 2. Тип каната в зависимости от ёмкости скипа и высоты подъема

Для определения ускорения j воспользуемся следующей зависимостью

$$[8]: V_{max}^2 - 2TV_{max} \frac{j_1 j_3}{j_1 + j_3} + 2H \frac{j_1 j_3}{j_1 + j_3} = 0. \quad (13)$$

Принимая $j_1 = j_3$, получим:

$$j = \frac{\alpha^2 V_{cp}}{T(\alpha - 1)}. \quad (14)$$

Принимая для расчета $k = 1,15$; $\eta_{3п} = 0,93$, $\gamma = 1,8$ и подставляя (14) и (12) в (9), получим:

$$P = \alpha V_c \frac{\left(1,15 + \frac{\alpha^2 V_{cp}}{T(\alpha - 1)}\right) Q + pH}{170}. \quad (15)$$

На основании (15) представлена зависимость $P = \varphi(\alpha; F_{max}; V_{cp})$, которая приведена в табл. 1 и на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что наиболее рациональные режимы представлены на графиках 1, 2, 4, 7, 9, 11, 14, 17, 20, 26, 29, 32, 34 и 37. Здесь имеем минимальную ориентировочную мощность подъемного электродвигателя и $\eta_y > 60\%$.

Из приведенных наивыгоднейших режимов работы средний рациональный множитель скорости для скипа $Q = 3 \text{ т}$ равен $\alpha = 1,2$; для $Q = 4 \text{ т}$ $\alpha = 1,19$; для $Q = 6 \text{ т}$ $\alpha = 1,18$; для $Q = 12 \text{ т}$ $\alpha = 1,19$.

Отсюда имеем средний наивыгоднейший множитель скорости для скиповых подъемов при трехпериодной диаграмме скорости $\alpha_n = 1,19 \approx 1,2$. При этом рациональные максимальные ускорения не превышают значения $j = 0,7 \text{ л/сек}^2$.

При существующих загрузочных и разгрузочных устройствах скиповые подъемы не могут работать по трехпериодной диаграмме скорости. Они работают по пятипериодной диаграмме или в лучшем случае могут работать по четырехпериодной диаграмме скорости [4, 7]. В этом случае экономические показатели работы установки значительно понижаются.

Скиповая подъемная установка, ввиду наличия загрузочного и разгрузочного устройств, не может иметь однородные законы движения как в период пуска, так и в период останова. Во избежание аварий скорости движения сосудов в разгрузочном и загрузочном устройствах должны быть ограничены определенными пределами.

Обычно в технической литературе [5, 6, 8 и др.] дается предел скорости входа скипа в разгрузочные кривые и выхода из них $V \leq 1,5 \text{ м/сек}$. Однако практика работы скиповых подъемов Кузбасса показывает, что скорости входа скипа в разгрузочные кривые и скорость выхода из них не являются лимитирующим фактором в режиме работы скиповых подъемных установок [4]. На основании исследований автора можно сделать заключение, что лимитирующим фактором в работе установки является движение скипов в загрузочном устройстве. При этом скорость посадки скипа на каретку дозатора (скорость входа в загрузочное устройство) при существующей (жесткой) системе посадки должна быть $V_k \leq 0,5 \text{ м/сек}$ и при упругой посадке (с применением хотя бы резиновых пакетных амортизаторов на каретке) $V_k \leq 1 \text{ м/сек}$ [4, 7]. Скорость же выхода скипа из загрузочного устройства должна быть $V_3 \leq 1,2 \text{ м/сек}$.

Установим рациональную величину множителя скорости для пятипериодной диаграммы скорости. При этом для облегчения расчетов примем симметричную диаграмму, при которой $V_3 = V_k$ и $j_1 = j_3$.

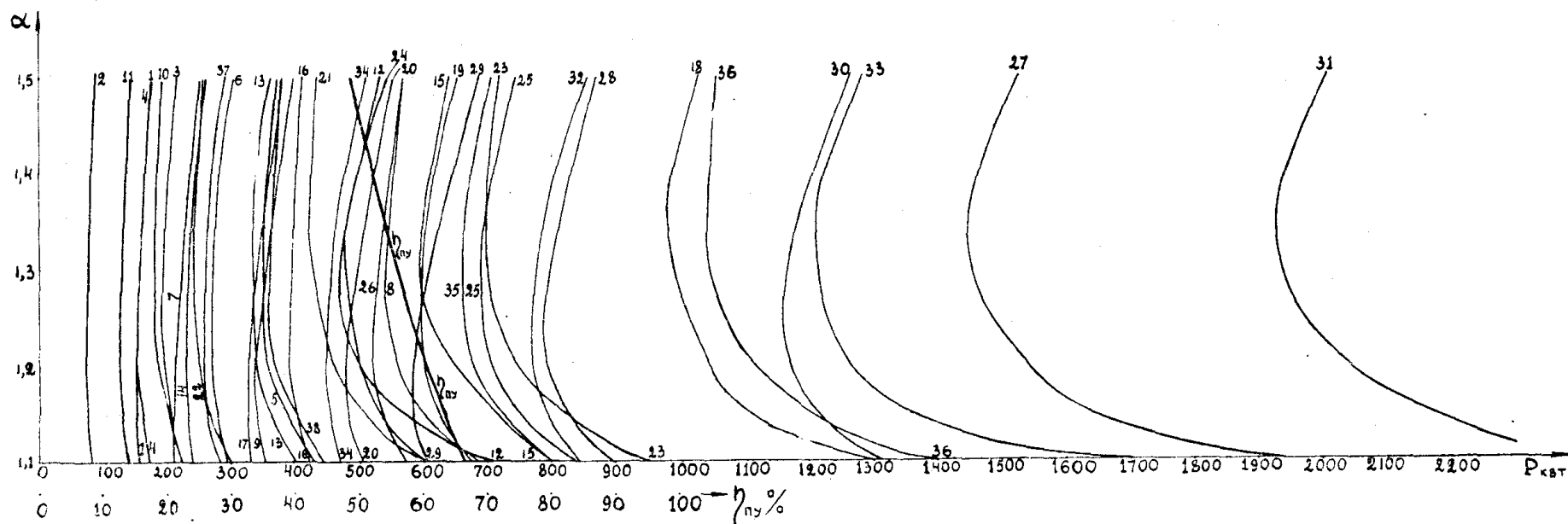


Рис. 3. Зависимость ориентировочной мощности подъемного электродвигателя и к. п. д. подъемной установки от множителя скорости α

Зависимость ориентировочной мощности подъемного электродвигателя от α , F_{max} и V_{cp}

Таблица 1

H, м	100					200					300					400				
A _{час} Т	Q, Т α	3	4	6	8	3	4	6	8	12	3	4	6	8	12	3	4	6	8	12
100	1,1															1				
	1,2															156				
	1,3															151				
	1,4															159				
	1,5															167				
																177,5				
200	1,1	2				3	4				5	6	7			8	9			
	1,2	81,4				224	170				428	296	213			689	353			
	1,3	77,0				197	154				358	271	212			561	339			
	1,4	78,5				196	159				350	276	223			540	354			
	1,5	80,3				203					359	289				570				
	86,5				212	176					374	304	251			570	398			
300	1,1	10	11			12	13	14				15	16	17			18	19	20	
	1,2	226	141			730	406	240				806	428	331			1320	685	506	
	1,3	187	127			557	343	230				652	391	325			1045	602	480	
	1,4	181	130			470	336	234				595	395	342			995	600	500	
	1,5	184	136,5			523	341	—				639	410	—			990	620	525	
	192	143			535	360	260				642	410	380			1030	655	553		
400	1,1		21	22			23	24				25	26				27	28	29	
	1,2	630	303	162			980	605	320			854	576				1950	917	603	
	1,3	463	250	153			748	504	302			710	523				1540	798	585	
	1,4	430	243	156			700	507	312			692	531				1460	800	612	
	1,5	425	248	—			701	405	—			712	551				1470	832	—	
	433	257	174			720	542	346				743	570				1530	870	690	
600	1,1			38	37			36	35	34				33	32				31	30
	1,2			419	284			1460	805	474				1740	850				2600	1336
	1,3			372	259			1120	679	450				1270	773				2040	1175
	1,4			361	262			1050	663	460				1220	780				1940	1170
	1,5			370	270			1050	676	—				1230	810				1945	1210
			380	289			1060	708	512					1290	860				2010	1270

Цифрами, набранными жирным шрифтом, указаны номера графиков на рис. 3.

Воспользуемся следующими зависимостями [9]:

$$T = \frac{H_0}{V_{max}} + \frac{V_{max}}{2} \left(\frac{1}{j_1''} + \frac{1}{j_3'} \right) + V_3 \left(\frac{1}{j_1'} - \frac{1}{j_1''} \right) + V_k \left(\frac{1}{j_3''} - \frac{1}{j_3'} \right) \quad (16)$$

$$\text{и} \quad H_0 = H - 2h_k + \frac{V_3^2}{2j_1''} + \frac{V_k^2}{2j_3'} \quad (17)$$

Здесь j_1'' и j_3' — максимальные ускорения и замедления,
 j_1' и j_3'' — ускорение и замедление при движении скипа в загрузочном устройстве,

$h_k = h_3$ — путь, проходимый скипом в загрузочном устройстве.

Принимая $h_3 = 1,5$ м; $j_1'' = j_3'$ и $j_1' = j_3''$, на основании (16) и (17) при $V_3 = V_k = 1$ м/сек имеем:

$$j_{max} = \frac{\alpha V_{cp} + \frac{1}{\alpha V_{cp}} - 2}{T - \frac{H+3}{\alpha V_{cp}} - 6} \quad (18)$$

и при $V_3 = V_k = 0,5$ м/сек,

$$j_{max} = \frac{\alpha V_{cp} + 1 + \frac{0,25}{\alpha V_{cp}}}{T - \frac{H+3}{\alpha V_{cp}} - 6} \quad (19)$$

Далее, на основании зависимостей (1), (9), (10), (12) и (15), найдем $\alpha = f(A_{час}; Q; H)$ и $j_{max} = \psi(\alpha)$, $P = p(\alpha)$, $\eta_y = \eta(\alpha)$.

Указанная зависимость приведена в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что в большинстве случаев минимальная мощность подъемного электродвигателя получается при $\alpha = 1,4$. Однако при этом значительно снижается η_y . Считая снижение к.п.д. установки ниже 56% нерациональным, наивыгоднейший множитель скорости будет

$$\alpha_H = 1,3.$$

Расчеты показывают, что точно таким же будет рациональный множитель скорости и при четырехпериодной диаграмме скорости.

Табл. 2 и расчеты показывают, что максимальное ускорение при рациональном режиме для скиповой установки не превышает $j_{max} = 0,85$ м/сек², а наивыгоднейшая максимальная скорость значительно ниже предельной скорости $0,8\sqrt{H}$ м/сек, допускаемой правилами безопасности.

Действительная максимальная скорость, как известно, определяется после установления стандартного числа оборотов электродвигателя n_g и передаточного отношения редуктора i . При этом ориентировочное число оборотов двигателя подсчитывается по формуле $n = \frac{60 V_{max} i}{\pi D_\delta}$ (20), а затем принимается ближайшее большее стандартное число оборотов и далее определяется действительная максимальная скорость $V_{max} = \frac{\pi D_\delta n_\partial}{60 i}$, (21) где D_δ — диаметр барабана.

Таблица 2

Зависимость j_{max} , P и η_y от α

Q T	$A_{час}$ T	H $м$	T $сек$	$V_{ср}$ $м/сек$	α	j_{max} $м/сек^2$	P $квт$	η_y	V_{max} $м/сек$
3	170 ¹⁾	200	56,5 $\theta = 7$	3,53	1,2	0,994 (1,129) ²⁾	171 (193)	0,61	4,24
					1,3	0,455 (0,58)	143 (151)	0,56	4,59
					1,4	0,322 (0,416)	142 (150)	0,52	4,95
4	230	200	55,6 $\theta = 7$	3,58	1,1	1,15 (1,54)	237 (262)	0,663	3,94
					1,2	0,973 (1,27)	231 (262)	0,61	4,3
					1,3	0,448 (0,615)	193 (211)	0,56	4,66
					1,4	0,305 (0,4)	183 (202)	0,52	5,01
6	345	200	$\theta = 8$	3,65	1,1	1,19 (1,57)	326 (404)	0,663	4,01
					1,2	0,961 (1,25)	337 (376)	0,61	4,37
					1,3	0,5 (0,64)	289 (321)	0,56	4,74
					1,4	0,256 (45)	278 (320)	0,52	5,1
8	460	200	$\theta = 10$	3,8	1,1	1,15 (1,51)	475 (550)	0,663	4,18
					1,3	0,56 (0,704)	429 (463)	0,56	4,93
					1,4	0,42 (0,53)	428 (448)	0,52	5,31
9	520	200	$\theta = 10$	52,6	1,1	1,15 (1,51)	534 (620)	0,663	4,18
					1,3	0,56 (0,704)	477 (516)	0,56	4,93
					1,4	0,425 (0,53)	398 (512)	0,52	5,31
12	700	200	$\theta = 12$	4,03	1,1	1,77 (2,28)	950 (1105)	0,663	4,43
					1,3	0,664 (0,815)	7261 (780)	0,56	5,33
					1,4	0,51 (0,617)	1245 (750)	0,52	5,64

¹⁾ $A_{час}$ взято для всех скипов на основании рис. 1.²⁾ В скобках приведены цифры для пятипериодной диаграммы скорости при $V_3 = V_k = 0,5$ м/сек.

Для быстрого нахождения рационального передаточного отношения редуктора i и облегчения расчетов нами построены графики, показанные на рис. 4 и 5.

Расчеты показывают, что при существующих стандартных n_d , D_6 и i можно подобрать V_{max} , очень мало отличающуюся от $V_{max} = \alpha V_{ср}$.

При проектировании режима работы проектанту важно знать, какое максимальное ускорение рационально задать той или иной скиповой подъемной установке.

Для этого, на наш взгляд, необходимо прежде всего установить ориентировочную мощность двигателя и произвести ориентировочный его выбор.

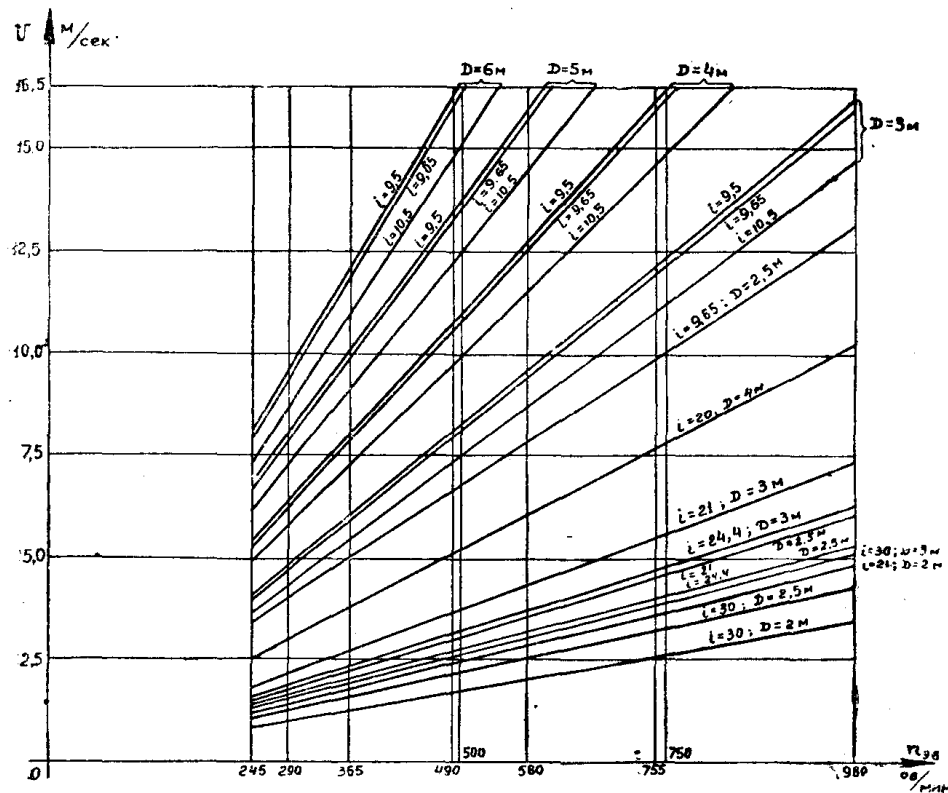


Рис. 4. Максимальная скорость в зависимости от числа оборотов двигателя

Ориентировочная мощность определяется по формуле

$$P_o = \frac{kQH}{102T}, \quad (22)$$

где ρ — характеристика динамического режима. Ее можно определять по формуле [10]:

$$\rho = \alpha \sqrt{1 + 2 \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) \left(\frac{\rho H}{kQ} + \frac{\mu H}{kT^2} \cdot \frac{\alpha^2}{\alpha - 1}\right)^2}. \quad (23)$$

При

$$k = 1,15, \quad \mu = 1 \quad \text{и} \quad \alpha = 1,3$$

$$\rho = 1,3 \sqrt{1 + 1,01 \left(5,63 \frac{H}{T^2} + \frac{\rho H}{Q}\right)^2}. \quad (24)$$

Подсчитанные по (24) значения ρ для наивыгоднейших значений $A_{\text{час}}$, H и Q , какие встречаются в практике неуравновешенных скиповых подъемных установок, приведены в табл. 3.

Ориентировочную мощность двигателя можно также определить по формуле:

$$P_{op} = \frac{F_{\max} V_{\max}}{102 \eta_{\text{эл}} \gamma} = \frac{[(k + j)Q + \rho H] V_{\max}}{102 \eta_{\text{эл}} \gamma}. \quad (9a)$$

По n_d и P_{op} , определенной по (22), предварительно принимается стандартный электродвигатель, а далее устанавливается γ_d .

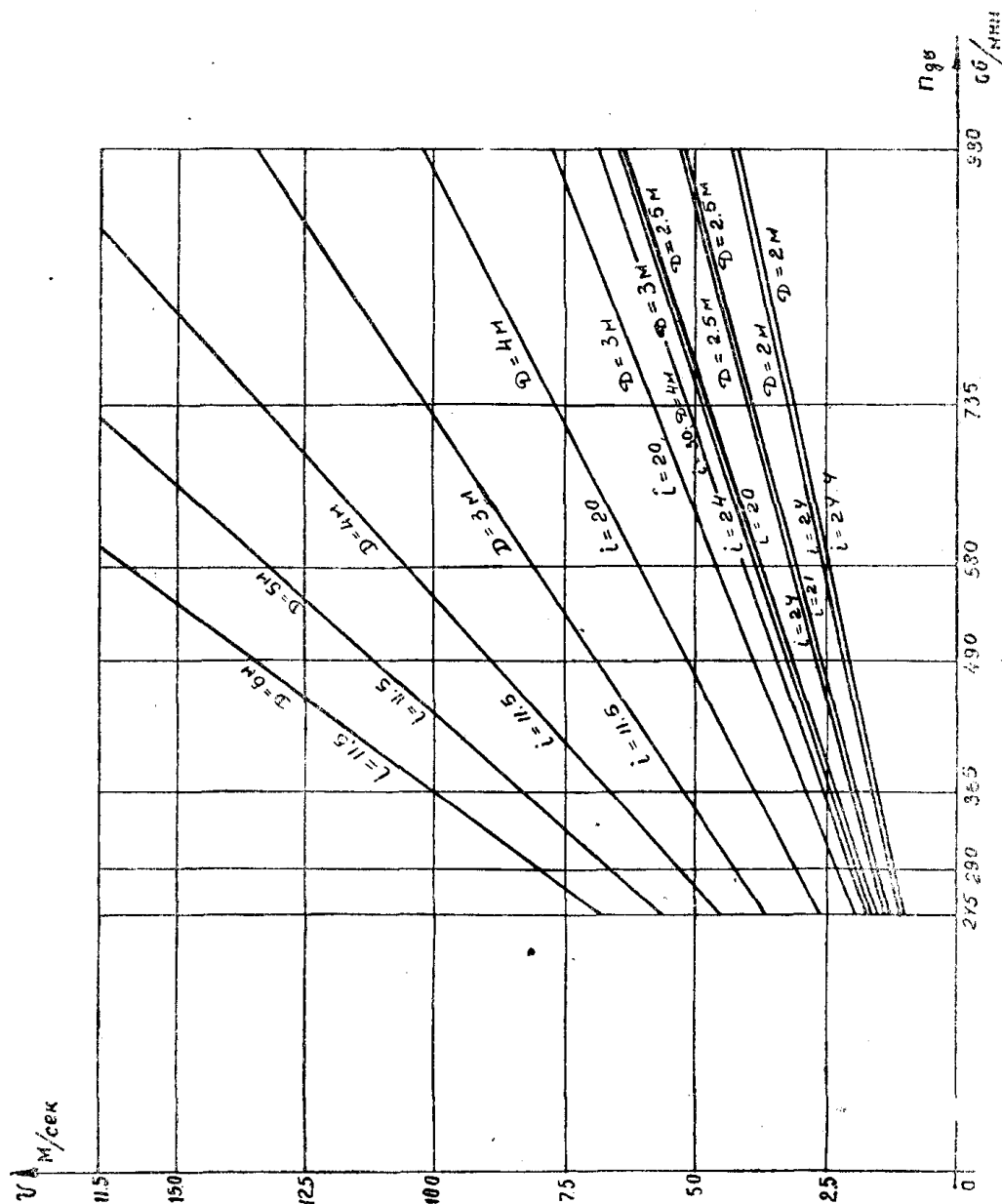


Рис. 5. Максимальная скорость в зависимости от числа оборотов двигателя

В паспортных данных двигателей, как известно, дается значение $m = \frac{M_{max}}{M_H}$, отсюда $M_{max} = m M_H$. (25)

Учитывая падение напряжения при пуске мощных двигателей на $5 \div 7\%$, M_{max} уменьшится на $10 \div 14\%$. Далее, имея в виду пуск подъемного электродвигателя при помощи металлического реостата в цепи ротора с $5 \div 9$ ступенями сопротивления, для получения средней перегрузочной способности максимальный момент еще необходимо уменьшить на $10 \div 15\%$. Следовательно, допустимая расчетная перегрузка электродвигателя будет

$$\gamma_g = (0,75 - 0,8) m = (0,75 \div 0,8) \cdot \frac{M_{max}}{M_H}. \quad (26)$$

Таблица 3

Значения ρ для наивыгоднейших значений $A_{\text{час}}$, H и Q

Q m	$A_{\text{час}}$ m	H m	T $сек$	$V_{\text{ср}}$ $m/сек$	V_{max} $m/сек$	ρ
3	210	100	44,4	2,25	2,92	1,37
	180	150	53	2,83	3,67	1,4
	170	200	56,5	3,53	4,59	1,44
	150	400	65,2	6,12	7,9	1,69
4	280	100	44,4	2,25	2,92	1,38
	250	150	50,6	2,97	3,85	1,42
	230	200	55,6	3,58	4,66	1,46
	200	400	65,2	6,12	7,9	1,74
6	400	100	46	2,17	2,82	1,36
	375	150	49,6	3,03	3,93	1,415
	345	200	54,7	3,65	4,74	1,5
	300	400	65,2	6,15	8,0	1,82
8	540	100	43,4	2,3	2,99	1,375
	500	150	47,5	3,16	4,1	1,43
	460	200	52,6	3,8	4,93	1,47
	400	400	62	6,45	8,4	1,73
9	610	100	43,2	2,31	3,0	1,37
	560	150	47,5	3,16	4,1	1,425
	520	200	52,6	3,8	4,93	1,465
	440	400	63,5	6,3	8,2	1,68
12	800	100	41,9	2,39	3,1	1,384
	740	150	46,5	3,23	4,2	1,435
	700	200	49,5	4,03	5,33	1,49
	580	400	63,5	6,3	8,2	1,65

Приравнявая (22) и (9а) и производя преобразования, получим:

$$j_{\text{max}} = \frac{k}{\alpha} \left(\rho \gamma_g \eta_{3n} - \frac{1}{\alpha} \right) - \frac{\rho H}{Q} \left[m/сек^2 \right]. \quad (27)$$

При $k = 1,15$ и $\alpha = 1,3$ имеем:

$$j_{\text{max}} = 0,88 \rho \gamma_g \eta_{3n} - \frac{\rho H}{Q} - 0,68. \quad (28)$$

Подсчеты показывают, что величины максимальных ускорений во всех случаях не превышают предельных норм, установленных правилами безопасности.

ВЫВОДЫ

1. Исходя из изложенного материала, рациональной максимальной скоростью для неуравновешенной скиповой подъемной установки следует считать $V_{max} = a_n V_{cp}$, причем $a_n = 1,3$.
2. Рациональным максимальным ускорением является ускорение, определяемое по формуле (28).
3. Для улучшения режима работы установки и приближения ее работы к трехпериодной диаграмме скорости необходимо реконструировать загрузочные устройства, и в первую очередь чрезвычайно желательным является применение резиновых пакетных амортизаторов на каретке дозатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров М. М. Наивыгоднейший динамический режим в некоторых типах рудничных подъемных установок. „Уголь и железо“, № 11, 12, 14, 1926.
2. Еланчик Г. М. Наивыгоднейший динамический режим эксплуатации и принципы рационального расчета электрических рудничных подъемных машин. „Горный журнал“, № 7, 8, 9, 1935.
3. Хрусталеv И. К. Наивыгоднейшая емкость скипа. Известия ТПИ, т. 78, 1955.
4. Хрусталеv И. К. Диаграмма скорости движения сосудов скиповых подъемных установок. Известия ТПИ, т. 78, 1955.
5. Киселев В. И. Горная механика. Металлургиздат, 1947.
6. Еланчик Г. М. Рудничные подъемные установки. Гостоптехиздат, 1941.
7. Хрусталеv И. К. Динамика загрузки скипов. Известия ТПИ, т. 78, 1955.
8. Хаджиков Р. Н. Шахтные подъемные установки, Углетехиздат, 1950.
9. Киселев В. И. Подъемные установки для глубоких шахт. Металлургиздат, 1954.
10. Нестеров П. П. и др. Преходческие подъемные машины. Киев, 1953.