

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЯГОВЫХ КАНАТОВ

Стальные канаты рассчитываются на статическое разрывное усилие

$$P \geq SK,$$

где P – разрывное усилие каната, принимаемое по таблицам ГОСТ или результатам испытания каната на разрыв, кН; K – коэффициент запаса, принимается не менее 12 при трех и более ветвях и не менее 16 при двух ветвях; S – расчетное статическое натяжение ветви каната, кН.

Величина расчетного натяжения ветви канатной подвески S , кН, должна определяться по следующим зависимостям:

– для канатов подвески кабины

$$S = \frac{Q + Q_k + Q_{\text{тк}} + 0,5Q_n}{mU_{\text{п}}} g 0,001;$$

– для канатов подвески противовеса

$$S = \frac{Q_{\text{п}} + Q_{\text{тк}} + 0,5Q_n}{mU_{\text{п}}} g 0,001,$$

где Q – грузоподъемность лифта, кг; Q_k – масса кабины, кг; $Q_{\text{п}}$ – масса противовеса, кг; $Q_{\text{тк}}$ – масса тяговых канатов от точки схода с КВШ до подвески, кг; Q_n – масса натяжного устройства уравнивающих канатов, кг; m , $Q_{\text{п}}$ – число параллельных ветвей канатов и кратность полиспаста, кг; g – ускорение свободного падения.

Для пассажирских лифтов грузоподъемностью 320–400 кг применяют 3 параллельных ветви канатной подвески, а при грузоподъемности 500–1000 кг – от 4 до 6 канатов. Для грузовых лифтов грузоподъемностью от 500 до 2000 кг применяют 4 каната; при грузоподъемности 3200 кг – 6 канатов, а при грузоподъемности 5000 кг – 8 канатов. Неуравновешенная часть тяговых канатов при скорости кабины не более 1,4 м/с уравнивается овалозвенчатыми цепя-

ми или компенсирующей лентой, которые не требуют установки натяжного устройства. В этом случае принимается значение $Q_n = 0$.

При скорости движения кабины лифта, превышающей 1,4 м/с, для уравнивания тяговых канатов применяются уравнивающие канаты. В этом случае в приямке шахты устанавливается специальное натяжное устройство с отводными блоками, масса которого составляет около 200–350 кг.

Масса тяговых канатов определяется по формуле

$$Q_{\text{тк}} = mU_{\text{п}} q_{\text{тк}}^{\text{н}} (H + 3 \div 4 \text{ м}),$$

где $q_{\text{тк}}^{\text{н}}$ – значение массы 1 метра тягового каната, кг/м; H – расчетная высота подъема кабины, м.

По расчетному значению разрывной нагрузки P и таблицам ГОСТ определяется необходимый диаметр каната, так чтобы табличное значение разрывной нагрузки было равно или больше расчетной величины.

После выбора типа и определения диаметра каната производится проверка фактической величины коэффициента запаса прочности каната подвески кабины или противовеса

$$K^{\phi} = \frac{P^{\text{т}} mU_{\text{п}} 100}{(Q + Q_{\text{к}} + Q_{\text{тк}}^{\phi} + 0,5Q_{\text{н}})},$$

где $P^{\text{т}}$ – табличное значение разрывной нагрузки выбранного каната, кН; $Q_{\text{тк}}^{\phi} = mU_{\text{п}} q_{\text{тк}}^{\phi} (H + 3 \div 4 \text{ м})$ – фактическое значение массы каната от точки схода с КВШ до подвески кабины (противовеса), кг; $q_{\text{тк}}^{\phi}$ – фактическое значение массы 1 метра выбранного каната, кг/м; H – расчетная высота подъема кабины лифта, м.

Правильному выбору каната должно соответствовать условие

$$K^{\phi} \geq K.$$

Если условие прочности не выполняется, следует выбрать канат с большим значением удельной прочности или увеличить число параллельных ветвей.

Надежность и долговечность канатов лифта определяются не только его прочностными характеристиками.

Для обеспечения долговечности каната важно обеспечить минимальное число их перегибов на отводных блоках и допустимое, в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53780, соотношение между диаметром каната и огибаемого канатом цилиндрического тела (барабан, КВШ, отводной блок). В связи с этим диаметр барабанов, КВШ и отводных блоков следует определять с учетом условия долговечности

$$D \geq dE,$$

где D, d – диаметр огибаемого цилиндрического тела и каната соответственно, м; E – коэффициент допустимого соотношения диаметров, регламентируемый ГОСТ Р 53780, не менее 40.

Диаметр КВШ определяется в зависимости от кинематической схемы лифта и условия долговечности.

Для лифтов с прямой подвеской кабины и противовеса диаметр КВШ определяется величиной расстояния между точками подвески кабины и противовеса в плане шахты

$$D_k = L_{\text{кп}},$$

где $L_{\text{кп}}$ – кратчайшее расстояние между точками подвески кабины и противовеса по горизонтали, м; D_k – диаметр КВШ по условию компоновки оборудования лифта в плане шахты, м. Эта величина обычно больше полученной по условию долговечности.

При любой другой кинематической схеме лифта диаметр КВШ определяется только условием долговечности канатов.

После выбора редуктора лебедки производится уточнение диаметра КВШ по кинематическому условию, гарантирующему обеспечение номинальной скорости движения кабины с погрешностью, не превышающей 5%.

$$D = \frac{60V_p U_p U_n}{\pi n_n}, \text{ м},$$

где V_p – рабочая скорость кабины, равная номинальной или отличающейся на 5%, м/с; U_p – табличное значение передаточного числа редуктора лебедки; U_n

– кратность полиспаста подвески кабины; n_n – номинальное значение частоты вращения вала двигателя, об/мин.

Пример выполнения практического занятия № 1

Исходные данные:

Назначение лифта – больничной.

$Q=800$ кг.

$V=0,5$ м/с.

$A \times B \times h - 1,3 \times 1,5 \times 2,1$.

$Q_k - 1600$ кг.

$q_{pk1} - 1,5$ кг/м.

Положение противовеса – сзади.

Кинематическая схема – г.

Масса тяговых канатов определяется по формуле

$$Q_{\text{тк}} = m U_{\text{п}} q_{\text{тк}}^n (H + 3 \div 4 \text{ м}) = 5 \quad 1 \quad 0,5(45 + 4) = 122,5 \text{ кг.}$$

Величина расчетного натяжения ветви канатной подвески S , кН, равна:

– для канатов подвески кабины

$$S = \frac{Q + Q_k + Q_{\text{тк}} + 0,5Q_n}{m U_{\text{п}}} g 0,001 = \frac{800 + 1600 + 122,5 + 0,5 \quad 0}{5 \quad 1} 9,81 \quad 0,001 = 4,95 \text{ кН.}$$

– для канатов подвески противовеса

$$S = \frac{Q_{\text{п}} + Q_{\text{тк}} + 0,5Q_n}{m U_{\text{п}}} g 0,001 = \frac{2000 + 122,5 + 0,5 \quad 0}{5 \quad 1} 9,81 \quad 0,001 = 4,16 \text{ кН.}$$

Наибольшее значение равно $S = 4,95$ кН.

Статическое разрывное усилие равно

$$P \geq SK = 4,95 \quad 12 = 59,388 \text{ кН.}$$

Выбираем диаметр каната $11,5$ мм с разрывным усилием $66,15$ кН и массой 1 м тягового каната $0,487$ кг/м.

Фактическое значение массы каната от точки схода с КВШ до подвески кабины (противовеса) равно:

$$Q_{\text{тк}}^{\phi} = mU_{\text{п}} q_{\text{тк}}^{\phi} (H + 3 \div 4 \text{ м}) = 0,5 \cdot 1 \cdot 0,487 (45 + 3) = 119,315 \text{ кг.}$$

Фактический коэффициент запаса прочности каната подвески кабины равен

$$K^{\phi} = \frac{P^{\text{т}} mU_{\text{п}} 100}{(Q + Q_{\text{к}} + Q_{\text{тк}}^{\phi} + 0,5Q_{\text{н}})} = \frac{66,15 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 100}{800 + 1600 + 119,315 + 0,5 \cdot 0} = 13,1.$$

$$K^{\phi} = 13,1 \geq K = 12.$$

Условие прочности выполняется.

Диаметр КВШ с учетом условия долговечности равен

$$D \geq 0,0115 \cdot 40 = 0,46 \text{ м.}$$

Величина коэффициента формы ручья, зависящая от геометрии профиля ручья, определяется по формуле:

– для полукруглой с подрезом

$$k_{\phi} = \frac{8 \cos \frac{60}{2}}{\pi - 60^{\circ} - \sin 60^{\circ}} = \frac{8 \cdot 0,866}{1,228} = 5,64$$

где δ – величина угла подреза, $\delta = 60 \div 105^{\circ}$.

$$D \geq 10^{-3} \frac{4,949}{0,0115 \cdot 9,5} 5,64 = 0,255 \text{ м.}$$

где β – величина угла подреза, $\beta = 35 \div 45^{\circ}$.

Предварительный диаметр КВШ будет равен максимальному значению, полученному на основании описанных выше условий.

Диаметр принимается равный 500 мм.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ПОДВИЖНЫХ ЧАСТЕЙ И УРАВНОВЕШИВАНИЕ СИСТЕМЫ «КАБИНА – ПРОТИВОВЕС» ЛИФТА

Работа механизма подъема лифта связана с перемещением массы кабины, противовеса, тяговых канатов и подвесного кабеля. В крайних положениях кабины оказывается неуравновешенной и сила тяжести тяговых канатов.

Основную роль в системе уравнивания играет противовес. При небольшой высоте подъема масса противовеса выбирается из условия уравнивания кабины и 0,4–0,5 массы номинальной грузоподъемности лифта. Это обеспечивает существенное снижение окружной нагрузки на КВШ и необходимой мощности электродвигателя привода лебедки.

При высоте подъема кабины более 45 м приходится учитывать влияние силы тяжести неуравновешенной части тяговых канатов и применять для их уравнивания дополнительные гибкие уравнивающие элементы в виде цепей или уравнивающих канатов.

Масса противовеса определяется по формуле

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{к}} + \varphi Q,$$

где φ – коэффициент уравнивания номинального груза кабины, принимаемый равным $\varphi = 0,5$; Q – масса, равная номинальной грузоподъемности лифта кг.

При использовании в качестве гибких уравнивающих элементов стальных канатов в приемке на вертикальных направляющих устанавливается натяжное устройство, исключающее скручивание канатов. Натяжное устройство контролируется конечным выключателем, отключающим лебедку при чрезмерной вытяжке канатов или выходе его из направляющих.

Уравнивающие цепи не требуют натяжного устройства. Для снижения уровня шума через звенья цепи пропускается пеньковый канат.

Уравнивающие цепи применяются при скорости движения кабины не более 1,4 м/с., при больших скоростях применяются уравнивающие канаты.

Предварительно определяется масса 1 метра тягового каната и подвесного кабеля с учетом числа параллельных ветвей:

– масса 1 метра тягового каната $q_{\text{тк}} = q_{\text{к}} m$, кг/м;

– масса 1 метра подвесного кабеля $q_{\text{ПК}} = q_{\text{ик1}} m_{\text{ик}}$,

где q_k – масса 1 метра ветви тягового каната, кг/м; $q_{ик1}$ – масса 1 метра одного подвесного кабеля, кг/м; $m, m_{ик}$ – число параллельных ветвей тягового каната и число подвесных кабелей.

Масса 1 метра уравновешивающих цепей для системы «кабина – противовес» определяется по формуле

$$q_y = q_{тк} U_{п} - 0,25q_{пк}.$$

Для схем уравновешивания «кабина – шахта» и «противовес – шахта»

– при прямой подвеске $q_y = 4q_{тк} - q_{пк}$;

– при полиспастной подвеске $q_y = 4q_{тк} U_{п} - q_{пк}$.

Масса гибких подвижных частей определяется так:

– масса неуравновешенной части тяговых канатов

$$Q_{тк} = q_{тк} (H + 3), \text{ кг},$$

– масса подвесного кабеля

$$Q_{ик} = q_{пк} \left(\frac{H}{2} + 5 \right), \text{ кг}.$$

Масса уравновешивающих цепей (канатов):

– для схемы «кабина – противовес»

$$Q_y = q_y H, \text{ кг},$$

– для схем «кабина – шахта» и «противовес – шахта»

$$Q_y = q_y \left(\frac{H}{2} + 2 \right).$$

Выбор типа подвесного кабеля и определение массы 1 метра его длины производится в зависимости от числа проводящих жил и вида изоляции.

Пример выполнения практического занятия № 2

Масса противовеса: $Q_{п} = Q_k + \varphi \cdot Q = 1600 + 0,5 \cdot 800 = 2000 \text{ кг}$

Поскольку $V_{дв.каб.} = 0,5 \text{ м/с}$, применяются уравновешивающие цепи.

Работа механизма лифта осуществляется по схеме а – cabina – противовес с цепями.

масса 1 метра тягового каната: $q_k = 0,53 \text{ кг/м}$; $m = 5$

$$q_{\text{тк}} = q_k \cdot m = 0,487 \cdot 5 = 2,43 \text{ кг/м}$$

масса 1 метра подвесного кабеля: $q_{ik1} = 1,5 \text{ кг/м}$; $m = 1$

$$q_{\text{пк}} = q_{ik1} \cdot m_{ik} = 1,5 \cdot 1 = 1,5 \text{ кг/м}$$

Масса 1 метра уравнивающих цепей для системы «кабина – противовес» определяется по формуле:

$$q_y = q_{\text{тк}} U_{\text{п}} - 0,25 q_{\text{пк}} = 2,43 \cdot 1 - 0,25 \cdot 1,5 = 2,055 \text{ кг / м}$$

Масса гибких подвижных частей:

– масса неуравновешенной части тяговых канатов

$$Q_{\text{тк}} = q_{\text{тк}} U_{\text{п}} (H + 3) = 2,43 \cdot 1 (45 + 3) = 116,64 \text{ кг}$$

– масса подвесного кабеля

$$Q_{ik} = q_{\text{пк}} \left(\frac{H}{2} + 5 \right) = 1,5 \left(\frac{45}{2} + 5 \right) = 41,2 \text{ кг}$$

Масса уравнивающих цепей (канатов):

– для схемы «кабина – противовес»:

$$Q_y = q_y \cdot H = 2,055 \cdot 45 = 92,475 \text{ кг.}$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЮ ПОДВИЖНЫХ ЧАСТЕЙ ЛИФТА

При движении противовеса и кабины с грузом по направляющим возникают силы трения башмаков по направляющим под действием нормальных сил, вызываемых эксцентricностью положения центра масс кабины и груза, смещением точки канатной подвески.

Соппротивление движению от сил трения может достаточно точно рассчитываться по аналитическим зависимостям.

Нормальные реакции определяются по формуле

$$N_y = \frac{P_r(Y_r + Y_{\text{п}}) + P_k(Y_k + Y_{\text{п}})}{h}, \text{ кН};$$

$$N_x = \frac{P_r(X_r + X_n) + P_k(X_k + X_n)}{h}, \text{ кН},$$

где $P_r = Q \cdot 10^{-2}$ – величина силы тяжести массы расчетного груза, кН; P_k – сила тяжести массы кабины, кН; X_n, Y_n – координаты смещения точки подвески кабины принимаются по конструктивным соображениям; X_k, Y_k – величина продольного и поперечного смещения центра масс кабины, зависящая от конструкции дверей кабины, может приниматься в пределах от 0,005 до 0,01 м; $X_r = B/6$; $Y_r = A/6$ – определяются в предположении, что расчетный груз равномерно распределен по треугольной площадке, составляющей 50% площади пола кабины, отделенной диагональю прямоугольного контура.

Нормальные давления для кабины без груза:

$$N_{yk} = \frac{P_k(Y_k + Y_n)}{h}, \text{ кН};$$

$$N_{xk} = \frac{P_k(X_k + X_n)}{2h}, \text{ кН}.$$

Нормальные давления для расчетного груза без учета массы кабины:

$$N_{yr} = \frac{P_r(Y_r + Y_n)}{h}, \text{ кН};$$

$$N_{xr} = \frac{P_r(X_r + X_n)}{2h}, \text{ кН}.$$

Сопротивление движению кабины без груза:

– при башмаках скольжения

$$F_k = (2N_{yk} + 2N_{xk})\omega_c + 0,015Q \cdot 10^{-2}, \text{ кН},$$

– при роликовых башмаках

$$F_k = (2N_{yk} + 2 \cdot N_{xk})\omega_p + 0,007Q \cdot 10^{-2}, \text{ кН},$$

где $\omega_c = 0,12$ – коэффициент сопротивления движению башмаков скольжения;

$\omega_p = 0,04 \div 0,06$ – коэффициент сопротивления движению роликов.

Сила сопротивления движению расчетного груза:

– при башмаках скольжения $F_r = \omega_c (2 \cdot N_{yr} + 4N_{xr})$, кН,

– при роликовых башмаках $F_r = \omega_p (2N_{yr} + 4N_{xg})$, кН,

Сила сопротивления движению противовеса:

– при башмаках скольжения $F_{\pi} = 7,5Q_{\pi}10^{-5}$, кН,

– при роликовых башмаках $F_{\pi} = 3Q_{\pi}10^{-5}$, кН.

Пример выполнения практического занятия № 3

Определим величину силы тяжести массы расчетного груза, кН:

$$P_r = Q_p \cdot 10^{-2} = 1,1 \cdot 400 \cdot 10^{-2} = 8,8 \text{ кН}$$

Сила тяжести массы кабины, кН:

$$P_k = Q_k \cdot g = 1600 \cdot 9,81 = 15696 \text{ Н} = 15,7 \text{ кН}$$

Координаты смещения точки подвески кабины принимаются по конструктивным соображениям $X_{\pi} = 0,05$; $Y_{\pi} = 0,06$

Величина продольного и поперечного смещения центра масс кабины, зависящая от конструкции дверей кабины: $X_k = 0,007$; $Y_k = 0,008$

$$\text{Площадь пола кабины: } A = 1,3 \times 1,5 \text{ м} = 1,95 \text{ м}^2$$

$$\text{Величина продольного и поперечного смещения центра масс кабины: } X_r = 1,5 / 6 = 0,25; Y_r = 1,3 / 6 = 0,216.$$

Расстояние между башмаками по вертикали, м:

$$h = h_k + 0,6 = 2,1 + 0,6 = 2,7 \text{ м};$$

Нормальные реакции:

$$N_y = \frac{8,8 \cdot (0,216 + 0,06) + 15,7(0,008 + 0,06)}{2,7} = 1,29 \text{ кН};$$

$$N_x = \frac{8,8 \cdot (0,25 + 0,05) + 15,7(0,007 + 0,05)}{2,7} = 1,30 \text{ кН}.$$

Нормальные давления для кабины без груза:

$$N_{yk} = \frac{15,7(0,008 + 0,06)}{2,7} = 0,39 \text{ кН};$$

$$N_{\text{хк}} = \frac{15,7(0,007 + 0,05)}{2 \cdot 2,7} = 0,16 \text{ кН.}$$

Нормальные давления для расчетного груза без учета массы кабины:

$$N_{\text{уг}} = \frac{8,8(0,216 + 0,06)}{2,7} = 0,89 \text{ кН;}$$

$$N_{\text{хг}} = \frac{8,8(0,25 + 0,05)}{2 \cdot 2,7} = 0,48 \text{ кН.}$$

Сопротивление движению кабины без груза:

Т.к. скорость кабины 0,5 м/с, применяются башмаки скольжения.

$$F_{\text{к}} = (2 \cdot 0,39 + 2 \cdot 0,16) \cdot 0,12 + 0,015 \cdot 1600 \cdot 10^{-2} = 0,372 \text{ кН.}$$

Сила сопротивления движению расчетного груза:

$$F_{\text{г}} = 0,12(2 \cdot 0,89 + 4 \cdot 0,48) = 0,44 \text{ кН.}$$

Сила сопротивления движению противовеса:

$$F_{\text{п}} = 7,5 \cdot 2000 \cdot 10^{-5} = 0,15 \text{ кН.}$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

РАСЧЕТ НАТЯЖЕНИЯ КАНАТОВ ПОДВЕСКИ КАБИНЫ И ПРОТИВОВОЕСА

Рассмотрим более общий случай лифта с верхним машинным помещением и полиспастной подвеской кабины. В приведенных ниже формулах приняты следующие дополнительные обозначения: $U_{\text{п}}$, η_6 – кратность полиспаста и КПД блока канатной системы.

Режим подъема неуравновешенного груза.

Груженная кабина вниз, подъем

$$S_{\text{к1}} = [(Q + Q_{\text{к}})10^{-2} + F_{\text{к}} + F_{\text{г}}] \frac{1}{U_{\text{п}} \eta_6^2} + Q_{\text{тк}} 10^{-2}; S_{\text{п1}} = [(Q_{\text{п}} + Q_{\text{у}})10^{-2} - F_{\text{п}}] \frac{\eta_6}{U_{\text{п}}}.$$

Груженная кабина вверх, подъем

$$S_{\text{к2}} = [(Q + Q_{\text{к}} + Q_{\text{пк}} + Q_{\text{у}})10^{-2} + F_{\text{к}} + F_{\text{г}}] \frac{1}{U_{\text{п}} \eta_6^2}; S_{\text{п2}} = (Q_{\text{п}} 10^{-2} - F_{\text{п}}) \frac{\eta_6}{U_{\text{п}}} + Q_{\text{тк}} 10^{-2}.$$

Порожняя кабина вниз, спуск

$$S_{к3} = (Q_{к}10^{-2} - F_{к})\frac{\eta_6^2}{U_{п}} + Q_{тк}10^{-2}; S_{п3} = [(Q_{п} + Q_y)10^{-2} + F_{п}]\frac{1}{U_{п}\eta_6}.$$

Порожняя кабина вверх, спуск

$$S_{к4} = [(Q_{к} + Q_{пк} + Q_y)10^{-2} - F_{к}]\frac{\eta_6^2}{U_{п}}; S_{п4} = (Q_{п}10^{-2} + F_{п})\frac{1}{U_{п}\eta_6} + Q_{тк}10^{-2}.$$

Режим опускания неуровновешенного груза.

Груженная кабина вниз, спуск

$$S_{к5} = [(Q + Q_{к})10^{-2} - F_{к} - F_{г}]\frac{\eta_6^2}{U_{п}} + Q_{тк}10^{-2}; S_{п5} = S_{п3}.$$

Груженная кабина вверх, спуск

$$S_{к6} = [(Q + Q_{к} + Q_{пк} + Q_y)10^{-2} - F_{к} - F_{г}]\frac{\eta_6^2}{U_{п}}; S_{п6} = S_{п4}.$$

Порожняя кабина вниз, подъем

$$S_{к7} = (Q_{к}10^{-2} + F_{к})\frac{1}{U_{п}\eta_6^2} + Q_{тк}10^{-2}; S_{п7} = S_{п1}.$$

Порожняя кабина вверх, подъем

$$S_{к8} = [(Q_{к} + Q_{пк} + Q_y)10^{-2}]\frac{1}{U_{п}\eta_6^2}; S_{п8} = S_{п2}.$$

Приведенные ниже расчетные зависимости легко трансформируются для лифта с верхним машинным помещением и прямой подвеской кабины, если принять $U_{п} = 1$ и $\eta_6 = 1$.

Соотношение натяжения канатов подвески кабины и противовеса определяется для 8 рабочих и испытательных режимов по формуле

$$\psi_i = \frac{S_{i\max}}{S_{i\min}},$$

где $S_{i\max}, S_{i\min}$ – наибольшее и наименьшее значения величины натяжения канатов подвески кабины и противовеса в i -ом режиме.

Консольная нагрузка КВШ определяется для каждого из 8 режимов:

$$P_{ки} = S_{ки} + S_{пи},$$

где $i = 1 \dots 8$ – порядковый номер режима.

Окружная нагрузка КВШ определяется для 8 режимов:

– в режиме подъема неуравновешенного груза

$$P_i = S_{\max} - S_{\min} + 0,02S_{\max};$$

– в режиме опускания неуравновешенного груза

$$P_i = S_{\max} - S_{\min} - 0,02S_{\max}.$$

Пример выполнения практического занятия №4

Режим подъема неуравновешенного груза.

Груженная кабина внизу, подъем:

$$S_{к1} = [(800 + 1600) \cdot 10^{-2} + 0,372 + 0,44] \frac{1}{1 \cdot 1^2} + 116,64 \cdot 10^{-2} = 25,98$$

$$S_{п1} = [(2000 + 92,475) \cdot 10^{-2} - 0,15] \frac{1}{1} = 20,77$$

Груженная кабина сверху, подъем:

$$S_{к2} = [(800 + 1600 + 41,2 + 92,475) \cdot 10^{-2} + 0,372 + 0,44] \frac{1}{1 \cdot 1^2} = 29,5$$

$$S_{п2} = (2000 \cdot 10^{-2} - 0,15) \cdot \frac{1}{1} + 41,2 \cdot 10^{-2} = 20,26$$

Порожняя кабина внизу, спуск:

$$S_{к3} = (1600 \cdot 10^{-2} - 0,372) \cdot \frac{1^2}{1} + 116,64 \cdot 10^{-2} = 16,79$$

$$S_{п3} = [(2000 + 92,475) \cdot 10^{-2} + 0,15] \cdot \frac{1}{1 \cdot 1} = 21,07$$

Порожняя кабина сверху, спуск:

$$S_{к4} = [(1600 + 41,2 + 92,475) \cdot 10^{-2} - 0,372] \cdot \frac{1^2}{1} = 16,96$$

$$S_{п4} = (2000 \cdot 10^{-2} + 0,15) \cdot \frac{1}{1 \cdot 1} + 116,64 \cdot 10^{-2} = 21,32$$

Режим опускания неуравновешенного груза.

Груженная кабина внизу, спуск:

$$S_{к5} = [(800 + 1600) \cdot 10^{-2} - 0,372 - 0,44] \cdot \frac{1^2}{1} + 116,64 \cdot 10^{-2} = 24,35$$

$$S_{п5} = S_{п3} = 21,07$$

Груженная кабина вверху, спуск:

$$S_{к6} = [(800 + 1600 + 41,2 + 92,475) \cdot 10^{-2} - 0,372 - 0,44] \cdot \frac{1^2}{1} = 24,52$$

$$S_{п6} = S_{п4} = 21,32$$

Порожняя кабина внизу, подъем:

$$S_{к7} = (1600 \cdot 10^{-2} + 0,372) \cdot \frac{1}{1 \cdot 1^2} + 116,64 \cdot 10^{-2} = 17,54$$

$$S_{п7} = S_{п1} = 20,77$$

Порожняя кабина вверху, подъем:

$$S_{к8} = [(1600 + 41,2 + 92,475) \cdot 10^{-2}] \cdot \frac{1}{1 \cdot 1^2} = 17,34$$

$$S_{п8} = S_{п2} = 20,26.$$

Соотношение натяжения канатов подвески кабины и противовеса для 8 рабочих и испытательных режимов равно

$$\psi_1 = \frac{S_{1max}}{S_{1min}} = \frac{25,98}{20,77} = 1,25$$

$$\psi_2 = \frac{S_{2max}}{S_{2min}} = \frac{29,5}{20,26} = 1,46$$

$$\psi_3 = \frac{S_{3max}}{S_{3min}} = \frac{21,07}{16,79} = 1,25$$

$$\psi_4 = \frac{S_{4max}}{S_{4min}} = \frac{21,32}{16,96} = 1,26$$

$$\psi_5 = \frac{S_{5max}}{S_{5min}} = \frac{24,35}{21,07} = 1,15$$

$$\psi_6 = \frac{S_{6max}}{S_{6min}} = \frac{24,52}{21,32} = 1,15$$

$$\psi_7 = \frac{S_{7max}}{S_{7min}} = \frac{20,77}{17,54} = 1,18$$

$$\psi_8 = \frac{S_{8max}}{S_{8min}} = \frac{20,26}{17,34} = 1,17$$

Консольная нагрузка КВШ:

$$P_{к1} = S_{к1} + S_{п1} = 25,98 + 20,77 = 46,75$$

$$P_{к2} = S_{к2} + S_{п2} = 29,5 + 20,26 = 49,76$$

$$P_{к3} = S_{к3} + S_{п3} = 16,79 + 21,07 = 37,86$$

$$P_{к4} = S_{к4} + S_{п4} = 16,96 + 21,32 = 38,28$$

$$P_{к5} = S_{к5} + S_{п5} = 24,35 + 21,07 = 45,42$$

$$P_{к6} = S_{к6} + S_{п6} = 24,52 + 21,32 = 45,84$$

$$P_{к7} = S_{к7} + S_{п7} = 17,54 + 20,77 = 38,31$$

$$P_{к8} = S_{к8} + S_{п8} = 17,34 + 20,26 = 37,6$$

Окружная нагрузка КВШ:

-в режиме подъема неуравновешенного груза

$$P_1 = S_{max1} - S_{min1} + 0,02 \cdot S_{max1} = 25,98 - 20,77 + 0,02 \cdot 25,98 = 5,72$$

$$P_2 = 29,5 - 20,26 + 0,02 \cdot 29,5 = 9,83$$

$$P_3 = 21,07 - 16,79 + 0,02 \cdot 21,07 = 4,70$$

$$P_4 = 21,32 - 16,96 + 0,02 \cdot 21,32 = 4,78$$

-в режиме опускания неуравновешенного груза

$$P_5 = 24,35 - 21,07 - 0,02 \cdot 24,35 = 2,79$$

$$P_6 = 24,52 - 21,32 - 0,02 \cdot 24,52 = 2,70$$

$$P_7 = 20,77 - 17,54 - 0,02 \cdot 20,77 = 2,81$$

$$P_8 = 20,26 - 17,34 - 0,02 \cdot 20,26 = 2,51$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛЕБЕДКИ

Необходимая мощность привода лебедки определяется по формуле

$$N_{\text{д}} = \frac{P_{\text{max}} V U_{\text{п}}}{\eta_{\text{м}}}, \text{ кВт},$$

где P_{max} – максимальное значение величины окружной нагрузки КВШ в режиме подъема неуравновешенного груза (режимы с 1 по 4); $\eta_{\text{м}} = 0,7 \div 0,75$ – КПД механизма лебедки.

Принятый по каталогу двигатель должен иметь номинальную мощность несколько большую или равную расчетной.

Выбор редуктора с глобоидным и цилиндрическим червяком при консольной установке КВШ может производиться аналогичным образом и должен обеспечивать выполнение следующих необходимых условий:

$$U_{\text{р}} \geq U_0; [M] \geq M_{\text{э}}; [P] \geq P_{\text{к}}; \text{ПВ}_{\text{р}} \geq \text{ПВ}_{\text{л}},$$

где $U_{\text{р}}, U_0$ – табличное и расчетное значение передаточного числа редуктора; $[M], M_{\text{э}}$ – табличное значение допускаемого момента на тихоходном валу и величина расчетного эквивалентного момента, Нм; $[P], P_{\text{к}}$ – табличное значение допускаемой консольной нагрузки на тихоходном валу и расчетная консольная нагрузка, кН; $\text{ПВ}_{\text{р}}, \text{ПВ}_{\text{л}}$ – табличное значение продолжительности включения редуктора и проектируемого лифта.

Передаточное число редуктора определяется с учетом кинематической схемы лифта по следующей формуле:

$$U_0 = \frac{\pi D n_{\text{н}}}{V U_{\text{п}} 60},$$

где D – расчетная величина диаметра КВШ (барабана), м; $n_{\text{н}}$ – номинальное значение частоты вращения вала двигателя, об/мин; V – расчетное значение величины скорости кабины, м/с; $U_{\text{п}}$ – величина кратности полиспаста подвески кабины.

Расчет величины эквивалентного крутящего момента вала КВШ производится с учетом вероятностного характера изменения нагрузки

$$M_{\text{э}} = P_{\text{max}} \frac{D}{2} K_{\text{э}} 10^{-3}, \text{ Нм},$$

где P_{max} – максимальная окружная нагрузка КВШ в режиме подъема неуравновешенного груза, кН; $K_{\text{э}}$ – коэффициент эквивалентности реальной диаграмме нагрузки.

Для лифтов с противовесом $K_{\text{э}}$ принимается в диапазоне от 0,7 до 0,9.

Для лифтов с барабанной лебедкой без противовеса $K_{\text{э}} = 0,85 \div 0,95$ в зависимости от интенсивности работы лифта.

Величина расчетной консольной нагрузки $P_{\text{к}}$ определяется для режима, в котором окружная нагрузка КВШ принимает наибольшее значение P_{max} .

Поверочный расчет редуктора, в случае необходимости, может производиться традиционными методами.

Расчетная величина тормозного момента определяется для наиболее тяжелого эксплуатационного режима при движении кабины с номинальным грузом.

Тормозной момент в расчетном эксплуатационном режиме

$$M_{\text{тэ}} = \frac{P_{\text{max}} D \eta_{\text{п}}}{2U_{\text{р}}} K_{\text{тэ}},$$

Тормозной момент в режиме статических испытаний

$$M_{\text{тис}} = \frac{P_{\text{ис}} D \eta_{\text{о}}}{2U_{\text{р}}} K_{\text{тис}},$$

где P_{max} – максимальное значение величины окружного усилия КВШ в наиболее тяжелом эксплуатационном режиме, при номинальном грузе, кНм; $P_{\text{ис}}$ – окружное усилие КВШ в режиме статических испытаний, кНм; $\eta_{\text{п}}$ – прямой КПД при номинальных оборотах двигателя; $\eta_{\text{о}}$ – обратный КПД при 200 об/мин; D – расчетное значение величины диаметра КВШ, м; $U_{\text{р}}$ – передаточное число редуктора; $K_{\text{тэ}}$, $K_{\text{тис}}$ – коэффициент запаса тормозного момента для эксплуатационного режима и режима статических испытаний, соответственно

(для пассажирского лифта: $K_{тз} = 2$, $K_{тис} = 1,4$; грузовой с проводником: $K_{тз} = 1,8$, $K_{тис} = 1,3$).

По наибольшей величине тормозного момента M_t выбирается тип коло-
дочного тормоза.

Пример выполнения практического занятия №5

Мощность привода лебедки

$$N_d = \frac{9,83 \cdot 0,5 \cdot 1}{0,7} = 7,02 \text{ кВт}$$

По каталогу (таблица 7.2) принимаем лифтовый электродвигатель -
4АН225М6/24НЛБУЗ со следующими характеристиками:

Мощность: 9 кВт

Частота вращения: синхр. – 1000 1/мин

номин. – 950 1/мин

Крутящий момент: номин. – 80,2 Н·м

максим. – 260 Н·м

ПВ%/число включ. в час: 40/200

Допускаемый момент инерции системы – 3 кг·м²

Передаточное число редуктора:

$$U_0 = \frac{\pi D n_n}{V U_n 60} = \frac{3,14 \cdot 0,5 \cdot 950}{0,5 \cdot 1 \cdot 60} = 49,71$$

Расчет величины эквивалентного крутящего момента вала КВШ

$$M_{\text{э}} = P_{\text{max}} \frac{D}{2} K_{\text{э}} 10^{-3} = 9,83 \cdot \frac{0,5}{2} \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 1,96 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Подбираем специальный лифтовой редуктор – РГЛ-160-50

$A=160$ мм; $U_p = 50$; $M_{\text{кр}} = 2680$ Нм при ПВ=40%; $M_{\text{кр}} = 2930$ Нм при
ПВ=30%; $M_{\text{кр}} = 2550$ Нм при ПВ=60%; $P_k = 30$ кН; $\eta_o =$
0,36 (при 200 оборотах); $\eta_{\text{п}} = 0,58$ (при 200 оборотах)

$$M_{тэ} = \frac{P_{max} D \eta_{п}}{2 U_p} K_{тэ} = \frac{9,83 \cdot 0,5 \cdot 0,58}{2 \cdot 50} 2 = 57,01 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Подбираем механический тормоз лифтовой лебедки – МП-201 со следующими характеристиками:

Диаметр тормозного шкива – 200 мм;

Тяговое усилие – 100 кг;

ПВ – 100 %;

Макс. ход якоря – 4 мм;

Время отпадания якоря – 0,15 с;

Тормозной момент из условий работы магнита при $\mu = 0,35$ – 65 Н·м;

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЛИФТА

Приближенные значения величины приведенного момента инерции привода определяется по формуле

$$J'_c = \frac{D}{2 a_p U_p U_{п}} M_{и} \leq [J_c], \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где $a_p \leq [a]$ – расчетное значение ускорения кабины, м/с²; $M_{и}$ – расчетное значение избыточного момента, м/с²; $[J_c]$ – допускаемый момент инерции динамической системы, кг·м².

Необходимое значение момента инерции штурвала ручного привода лебедки определяется по формуле

$$J_{ш} = \frac{J'_c}{(1,03 \div 1,1)} - J_p - J_m, \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

Ширина обода штурвала определяется расчетом по известной величине его момента инерции

$$\delta_{ш} = \frac{32 J_{ш}}{\pi \gamma_m D_{ш}^4}, \text{ м},$$

где γ_m – плотность материала штурвала ручного привода, кг/м³, $D_{ш}$ – диаметр штурвала, м.

Расчет приведенной к ободу КВШ массы поступательнодвигающихся частей лифта производится для 8 эксплуатационных режимов.

Подъем неуравновешенного груза.

Груженная кабина внизу, подъем

$$G_1 = \left[\frac{(Q + Q_k)}{\eta_6^2} + (Q_{\Pi} + Q_y) \eta_6 \right] \frac{1}{U_{\Pi}^2} + Q_{\text{тк}}.$$

Груженная кабина сверху, подъем

$$G_2 = \left[\frac{(Q + Q_k + Q_{\text{пк}} + Q_y)}{\eta_6^2} + Q_{\Pi} \eta_6 \right] \frac{1}{U_{\Pi}^2} + Q_{\text{тк}}.$$

Порожняя кабина внизу, спуск

$$G_3 = \left[Q_k \eta_6^2 + \frac{(Q_{\Pi} + Q_y)}{\eta_6} \right] \frac{1}{U_{\Pi}^2} + Q_{\text{тк}}.$$

Порожняя кабина сверху, спуск

$$G_4 = \left[(Q_k + Q_{\text{пк}} + Q_y) \eta_6^2 + Q_{\Pi} \eta_6 \right] \frac{1}{U_{\Pi}^2} + Q_{\text{тк}}.$$

Опускание неуравновешенного груза.

Груженная кабина внизу, спуск

$$G_5 = \left[(Q + Q_k) \eta_6^2 + \frac{(Q_{\Pi} + Q_y)}{\eta_6} \right] \frac{1}{U_{\Pi}^2} + Q_{\text{тк}}.$$

Груженная кабина сверху, спуск

$$G_6 = \left[(Q + Q_k + Q_{\text{пк}} + Q_y) \eta_6^2 + Q_{\Pi} \eta_6 \right] \frac{1}{U_{\Pi}^2} + Q_{\text{тк}}.$$

Порожняя кабина внизу, подъем

$$G_7 = \left[\frac{Q_k}{\eta_6^2} + (Q_{\Pi} + Q_y) \eta_6 \right] \frac{1}{U_{\Pi}^2} + Q_{\text{тк}}.$$

Порожняя кабина сверху, подъем

$$G_8 = \left[\frac{(Q_k + Q_{пк} + Q_y)}{\eta_6^2} + Q_{п} \eta_6 \right] \frac{1}{U_{п}^2} + Q_{тк}.$$

Приведенный момент инерции поступательно движущихся масс определяется по формуле

$$J_{пи} = \frac{G_i \cdot D^2}{4 \cdot U_p^2} \cdot K_{\eta},$$

где $i = 1 \div 8$ – порядковый номер расчетного режима работы лифта; $K_{\eta} = \frac{1}{\eta}$ – коэффициент учета КПД редуктора для режимов с 1 по 4; $K_{\eta} = \eta_o$ – аналогичный коэффициент для режимов с 5 по 8; η, η_o – прямой и обратный КПД редуктора при работе на большой скорости.

Расчет уточненного значения приведенного момента инерции динамической системы привода в каждом из 8 режимов производится по формуле

$$J_{ci} = J_p + J_m + J_{ш} + J_{пи},$$

где $J_p, J_m, J_{ш}, J_{пи}$ – момент инерции ротора двигателя, муфты, штурвала и приведенный момент инерции поступательно движущихся масс в i -ом режиме; $i = 1 \div 8$ – порядковый номер расчетного режима работы лифта.

Ускорение пуска при подъеме (режимы с 1 по 4) и опускании (с 5 по 8) неуравновешенного груза определяется по формуле

$$a_{пи} = \frac{D \cdot M_{ипи}}{2J_{ci} U_{п} U_p}, \text{ м/с}^2,$$

где $M_{ипи}$ – момент избыточный при пуске, Нм.

Ускорение генераторного торможения при подъеме (режимы с 1 по 4) и опускании (с 5 по 8) неуравновешенного груза определяется по формуле

$$a_{ги} = \frac{DM_{иги}}{2J_{ci} U_{п} U_p}, \text{ м/с}^2,$$

где $M_{иги}$ – момент избыточный при генераторном торможении, Нм.

Ускорение выбега после отключения статорной обмотки малой скорости при подъеме и опускании неуравновешенного груза (режим с 1 по 8) определяется по формуле

$$a_{bi} = \frac{D \cdot M_{ci}^B}{2J_{ci} U_{\Pi} U_p}, \text{ м/с}^2,$$

где M_{ci}^B – приведенный к валу двигателя момент сил внешних сопротивлений в i -ом режиме выбега (двигатель выключен, а тормоз не успел включиться), Нм.

Величина приведенного момента при выбеге определяется по формуле:

при подъеме
$$M_{ci}^B = P_{\Pi i} \frac{D}{2U_p} \eta_{\Pi};$$

при спуске
$$M_{ci}^B = P_{ci} \frac{D}{2U_p} \eta_{\text{мо}},$$

где $P_{\Pi i}$, P_{ci} – окружное усилие в i -ом режиме подъема и опускания кабины, кН; η_{Π} , $\eta_{\text{мо}}$ – прямой и обратный КПД на малой скорости.

Ускорение механического торможения при подъеме (режимы с 1 по 4) и опускании (с 5 по 8) неуравновешенного груза определяется по формуле

$$a_{\text{ти}} = \frac{D \cdot (M_{\text{т}} \pm M_{ci}^B)}{2J_{ci} U_{\Pi} U_p},$$

где $M_{\text{т}}$ – расчетный тормозной момент, Нм, приведенный момент внешних сопротивлений принимается той же величины, что и при выбеге.

Расчет величины коэффициента динамичности соотношения натяжения канатов подвески кабины и противовеса для 8 режимов производится по формуле

$$\lambda_i = \frac{(g + a_{i\text{max}})}{(g - a_{i\text{max}})},$$

где $a_{i\text{max}}$ – максимальное значение ускорения из трех значений для i -го режима, м/с²; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения. Величина λ_i необходима

для расчета коэффициента тяговой способности и параметров профиля канавки обода КВШ.

Малая остановочная скорость кабины в i -ом режиме определяется по линейному участку механической характеристики малой скорости

$$V_{mi} = \frac{\pi D}{60 U_{\Pi} U_p} \left[n_{0M} - (n_{0M} - n_{HM}) \cdot \frac{M_{ci}^B}{M_{HM}} \right],$$

где n_{0M}, n_{HM} – синхронная и номинальная частота вращения ротора на малой скорости, об/мин; M_{HM} – номинальный момент на валу двигателя при малой скорости, Нм; M_{ci}^B – приведенный момент внешних сопротивлений в i -ом режиме выбега, Нм.

Полный тормозной путь кабины в i -ом режиме с учетом пути выбега

$$h_i = \left(V_{mi} t_B \mp \frac{a_{Bi} t_B^2}{2} \right) + \frac{(V_{mi} \mp a_{Bi} t_B)^2}{2 a_{Ti}},$$

где t_B – время выбега, равное времени включения тормоза, определяемое по каталогу тормозов лифтовых лебедок, с; «+» – спуск; «–» подъем.

Точность остановки кабины для всех 8 режимов работы лифта определяется по следующим расчетным зависимостям.

Режимы подъема неуравновешенного груза:

$$\Delta_1 = \pm \frac{(h_9 - h_1)}{2}; \Delta_2 = \pm \frac{(h_{10} - h_2)}{2};$$

$$\Delta_3 = \pm \frac{(h_7 - h_3)}{2}; \Delta_4 = \pm \frac{(h_8 - h_4)}{2}.$$

Режимы опускания неуравновешенного груза:

$$\Delta_5 = \pm \frac{(h_5 - h_3)}{2}; \Delta_6 = \pm \frac{(h_6 - h_4)}{2};$$

$$\Delta_7 = \pm \frac{(h_7 - h_1)}{2}; \Delta_8 = \pm \frac{(h_8 - h_2)}{2}.$$

Пример выполнения практического занятия № 6

При подъеме: $M_{ci}^{\Pi} = P_{\Pi i} \frac{D}{2 U_p} \eta_0$;

$$M_{c1}^n = P_{n1} \frac{D}{2U_p} \eta_o = 5,72 \cdot \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,36 = 10,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c2}^n = P_{n2} \frac{D}{2U_p} \eta_o = 9,83 \cdot \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,36 = 17,69 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c3}^n = P_{n3} \frac{D}{2U_p} \eta_o = 4,70 \cdot \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,36 = 8,46 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c4}^n = P_{n4} \frac{D}{2U_p} \eta_o = 4,78 \cdot \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,36 = 8,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При спуске: $M_{ci}^B = P_{ci} \frac{D}{2U_p \eta_n}$;

$$M_{c5}^B = P_{c5} \frac{D}{2U_p \eta_n} = 2,79 \frac{0,5}{2 \cdot 50 \cdot 0,69} = 20,21 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c6}^B = P_{c6} \frac{D}{2U_p \eta_n} = 2,70 \frac{0,5}{2 \cdot 50 \cdot 0,69} = 19,56 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c7}^B = P_{c7} \frac{D}{2U_p \eta_n} = 2,81 \frac{0,5}{2 \cdot 50 \cdot 0,69} = 20,36 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c8}^B = P_{c8} \frac{D}{2U_p \eta_n} = 2,51 \frac{0,5}{2 \cdot 50 \cdot 0,69} = 18,18 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{ипi} = M_{пр} \pm M_{ci}^n,$$

где $M_{пр}$ – величина расчетного пускового момента двигателя с учетом нелинейности графика механической характеристики, Нм, $M_{пр} = (0,75...0,8) M_k$; M_k – величина критического момента двигателя (максимальный крутящий момент двигателя (табличное значение)), Нм; M_{ci}^n – приведенный момент внешних сопротивлений при пуске, Нм; « + » – при спуске; « - » – при подъеме.

$$M_{ип1} = M_{пр} - M_{c1}^n = 208 - 10,3 = 197,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{ип2} = M_{пр} - M_{c2}^n = 208 - 17,69 = 190,31 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{ип3} = M_{пр} - M_{c3}^n = 208 - 8,46 = 199,54 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{ип4} = M_{пр} - M_{c4}^n = 208 - 8,6 = 199,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{ип5} = M_{пр} + M_{c5}^B = 208 + 20,21 = 228,21 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{ип6} = M_{пр} + M_{с6}^п = 208 + 19,56 = 227,56 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{ип7} = M_{пр} + M_{с7}^п = 208 + 20,36 = 228,36 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{ип8} = M_{пр} + M_{с8}^п = 208 + 18,18 = 226,18 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{игi} = M_{г} \pm M_{ci}^г,$$

где $M_{г}$ – генераторный момент характеристики малой скорости (табличное значение); $M_{ci}^г$ – приведенный момент внешних сопротивлений при генераторном торможении; «+» – подъем; «-» – спуск.

$$M_{г} = 235 \text{ Н} \cdot \text{м}; \eta_o = 0,58; \eta_{п} = 0,69.$$

$$\text{При подъеме: } M_{ci}^г = P_{пi} \frac{D}{2U_p} \eta_{п};$$

$$M_{с1}^г = P_{п1} \frac{D}{2U_p} \eta_{п} = 5,72 \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,69 = 18,18 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{с2}^г = P_{п2} \frac{D}{2U_p} \eta_{п} = 9,83 \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,69 = 33,91 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{с3}^г = P_{п3} \frac{D}{2U_p} \eta_{п} = 4,70 \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,69 = 16,21 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{с4}^г = P_{п4} \frac{D}{2U_p} \eta_{п} = 4,78 \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,69 = 16,49 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\text{При спуске: } M_{ci}^г = P_{гi} \frac{D}{2U_p} \eta_o;$$

$$M_{с5}^г = P_{г5} \frac{D}{2U_p} \eta_o = 2,79 \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,58 = 8,09 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{с6}^г = P_{г6} \frac{D}{2U_p} \eta_o = 2,70 \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,58 = 7,83 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{с7}^г = P_{г7} \frac{D}{2U_p} \eta_o = 2,81 \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,58 = 8,15 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{с8}^г = P_{г8} \frac{D}{2U_p} \eta_o = 2,51 \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,58 = 7,27 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{иг1} = 235 + 18,18 = 253,18 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{иг2} = 235 + 33,91 = 268,91 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{иг3} = 235 + 16,21 = 251,21 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{иг4} = 235 + 16,49 = 251,49 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{иг5} = 235 - 8,09 = 226,91 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{иг6} = 235 - 7,83 = 227,17 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{иг7} = 235 - 8,15 = 226,85 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{иг8} = 235 - 7,27 = 227,73 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$M_{и}$ – расчетное значение избыточного момента, которое определяется как наибольшее из сопоставления наиболее тяжелых режима пуска и генераторного торможения (наибольшее значение из $M_{ипi}$ и $M_{игi}$), м/с².

Выбираем $M_{и}$ как наибольшее из $M_{ипi}$ и $M_{игi}$

$$M_{и} = 268,91 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$J'_c = \frac{D}{2a_p \cdot U_p \cdot U_{п}} M_{и}; J'_c = \frac{0,5}{2 \cdot 0,7 \cdot 50 \cdot 1} 268,91 = 1,920 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J'_c \leq [J_c]$$

Где $[J_c]$ – допускаемый момент инерции системы, кг · м²

В данном случае $[J_c] = 2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \Rightarrow 1,920 \leq 2$ – Условие выполняется

$$J_{ш} = \frac{J'_c}{(1,03 \div 1,1)} - J_p - J_m = \frac{1,920}{1,05} - 0,5 - 0,076 = 1,252 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$\delta_{ш} = \frac{32J_{ш}}{\pi \gamma_m \cdot D_{ш}^4} = \frac{32 \cdot 1,252}{3,14 \cdot 7800 \cdot 0,25^4} = 0,418 \text{ м} = 418 \text{ мм}$$

Подъем неуравновешенного груза.

Груженная кабина вниз, подъем

$$G_1 = \left[\frac{(Q + Q_k)}{\eta_6^2} + (Q_{п} + Q_y) \eta_6 \right] \frac{1}{U_{п}^2} + Q_{тк} = \left[\frac{(800 + 1600)}{1^2} + (2000 + 92,475)1 \right] \frac{1}{1^2} + 116,64$$

$$= 4609,115 \text{ кг}$$

Груженная кабина вверх, подъем

$$G_2 = \left[\frac{(Q + Q_k + Q_{пк} + Q_y)}{\eta_6^2} + Q_{п\eta_6} \right] \frac{1}{U_{п}^2} + Q_{тк} = \left[\frac{(800 + 1600 + 41,2 + 92,475)}{1^2} + 2000 \cdot 1 \right] \frac{1}{1^2} + 116,64$$

$$= 4650,315 \text{ кг}$$

Порожняя кабина внизу, спуск

$$G_3 = \left[Q_k \eta_6^2 + \frac{(Q_{п} + Q_y)}{\eta_6} \right] \frac{1}{U_{п}^2} + Q_{тк} = \left[1600 \cdot 1^2 + \frac{(2000 + 92,475)}{1} \right] \frac{1}{1^2} + 116,64$$

$$= 3809,115 \text{ кг}$$

Порожняя кабина вверху, спуск

$$G_4 = [(Q_k + Q_{пк} + Q_y) \eta_6^2 + Q_{п\eta_6}] \frac{1}{U_{п}^2} + Q_{тк}$$

$$= [(1600 + 41,2 + 92,475)1^2 + 2000 \cdot 1] \frac{1}{1^2} + 116,64 = 3850,315 \text{ кг}$$

Опускание неуровнешенного груза.

Груженная кабина внизу, спуск

$$G_5 = \left[(Q + Q_k) \eta_6^2 + \frac{(Q_{п} + Q_y)}{\eta_6} \right] \frac{1}{U_{п}^2} + Q_{тк}$$

$$= \left[(800 + 1600)1^2 + \frac{(2000 + 92,475)}{1} \right] \frac{1}{1^2} + 116,64 = 4609,115 \text{ кг}$$

Груженная кабина вверху, спуск

$$G_6 = [(Q + Q_k + Q_{пк} + Q_y) \eta_6^2 + Q_{п\eta_6}] \frac{1}{U_{п}^2} + Q_{тк}$$

$$= [(800 + 1600 + 41,2 + 92,475)1^2 + 2000 \cdot 1] \frac{1}{1^2} + 116,64$$

$$= 4650,315 \text{ кг}$$

Порожняя кабина внизу, подъем

$$G_7 = \left[\frac{Q_k}{\eta_6^2} + (Q_{п} + Q_y) \eta_6 \right] \frac{1}{U_{п}^2} + Q_{тк} = \left[\frac{1600}{1^2} + (2000 + 92,475)1 \right] \frac{1}{1^2} + 116,64$$

$$= 3809,115 \text{ кг}$$

Порожняя кабина вверху, подъем

$$G_8 = \left[\frac{(Q_k + Q_{пк} + Q_y)}{\eta_6^2} + Q_{п\eta_6} \right] \frac{1}{U_{п}^2} + Q_{тк}$$

$$= \left[\frac{(1600 + 41,2 + 92,475)}{1^2} + 2000 \cdot 1 \right] \frac{1}{1^2} + 116,64 = 3850,315 \text{ кг}$$

Приведенный момент инерции поступательно движущихся масс определяется по формуле

$$J_{pi} = \frac{G_i \cdot D^2}{4 \cdot U_p^2} \cdot K_\eta, \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где $i = 1 \div 8$ – порядковый номер расчетного режима работы лифта; $K_\eta = \frac{1}{\eta}$ – коэффициент учета КПД редуктора для режимов с 1 по 4; $K_\eta = \eta_0$ – аналогичный коэффициент для режимов с 5 по 8; η, η_0 – прямой и обратный КПД редуктора при работе на большой скорости.

$$J_{п1} = \frac{G_1 \cdot D^2}{4 \cdot U_p^2} \cdot K_\eta = \frac{4609,115 \cdot 0,5^2}{4 \cdot 50^2} \cdot 1,449 = 0,167 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{п2} = \frac{G_2 \cdot D^2}{4 \cdot U_p^2} \cdot K_\eta = \frac{4650,315 \cdot 0,5^2}{4 \cdot 50^2} \cdot 1,449 = 0,168 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{п3} = \frac{G_3 \cdot D^2}{4 \cdot U_p^2} \cdot K_\eta = \frac{3809,115 \cdot 0,5^2}{4 \cdot 50^2} \cdot 1,449 = 0,138 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{п4} = \frac{G_4 \cdot D^2}{4 \cdot U_p^2} \cdot K_\eta = \frac{3850,315 \cdot 0,5^2}{4 \cdot 50^2} \cdot 1,449 = 0,139 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{п5} = \frac{G_5 \cdot D^2}{4 \cdot U_p^2} \cdot K_\eta = \frac{4609,115 \cdot 0,5^2}{4 \cdot 50^2} \cdot 0,58 = 0,067 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{п6} = \frac{G_6 \cdot D^2}{4 \cdot U_p^2} \cdot K_\eta = \frac{4650,315 \cdot 0,5^2}{4 \cdot 50^2} \cdot 0,58 = 0,067 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{п7} = \frac{G_7 \cdot D^2}{4 \cdot U_p^2} \cdot K_\eta = \frac{3809,115 \cdot 0,5^2}{4 \cdot 50^2} \cdot 0,58 = 0,055 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{п8} = \frac{G_8 \cdot D^2}{4 \cdot U_p^2} \cdot K_\eta = \frac{3850,315 \cdot 0,5^2}{4 \cdot 50^2} \cdot 0,58 = 0,056 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Расчет уточненного значения приведенного момента инерции динамической системы привода в каждом из 8 режимов производится по формуле

$$J_{ci} = J_p + J_m + J_{ш} + J_{\pi i},$$

где $J_p, J_m, J_{ш}, J_{\pi i}$ – момент инерции ротора двигателя, муфты, штурвала и приведенный момент инерции поступательно движущихся масс в i -ом режиме; $i=1 \div 8$ – порядковый номер расчетного режима работы лифта.

$$J_{c1} = J_p + J_m + J_{ш} + J_{\pi 1} = 0,5 + 0,076 + 1,252 + 0,167 = 1,995 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{c2} = J_p + J_m + J_{ш} + J_{\pi 2} = 0,5 + 0,076 + 1,252 + 0,168 = 1,996 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{c3} = J_p + J_m + J_{ш} + J_{\pi 3} = 0,5 + 0,076 + 1,252 + 0,138 = 1,966 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{c4} = J_p + J_m + J_{ш} + J_{\pi 4} = 0,5 + 0,076 + 1,252 + 0,139 = 1,967 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{c5} = J_p + J_m + J_{ш} + J_{\pi 5} = 0,5 + 0,076 + 1,252 + 0,067 = 1,895 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{c6} = J_p + J_m + J_{ш} + J_{\pi 6} = 0,5 + 0,076 + 1,252 + 0,067 = 1,895 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{c7} = J_p + J_m + J_{ш} + J_{\pi 7} = 0,5 + 0,076 + 1,252 + 0,055 = 1,883 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$J_{c8} = J_p + J_m + J_{ш} + J_{\pi 8} = 0,5 + 0,076 + 1,252 + 0,056 = 1,884 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Ускорение пуска при подъеме (режимы с 1 по 4) и опускании (с 5 по 8) неуравновешенного груза определяется по формуле

$$a_{\pi i} = \frac{D \cdot M_{\text{ип}i}}{2J_{ci} \cdot U_{\pi} \cdot U_p}, \frac{\text{м}}{\text{с}^2},$$

где $M_{\text{ип}i}$ – момент избыточный при пуске, Нм.

$$a_{\pi 1} = \frac{D \cdot M_{\text{ип}1}}{2J_{c1} \cdot U_{\pi} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 197,7}{2 \cdot 1,995 \cdot 1 \cdot 50} = 0,49 \text{ м/с}^2$$

$$a_{\pi 2} = \frac{D \cdot M_{\text{ип}2}}{2J_{c2} \cdot U_{\pi} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 190,31}{2 \cdot 1,996 \cdot 1 \cdot 50} = 0,47 \text{ м/с}^2$$

$$a_{\pi 3} = \frac{D \cdot M_{\text{ип}3}}{2J_{c3} \cdot U_{\pi} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 199,54}{2 \cdot 1,966 \cdot 1 \cdot 50} = 0,50 \text{ м/с}^2$$

$$a_{\pi 4} = \frac{D \cdot M_{\text{ип}4}}{2J_{c4} \cdot U_{\pi} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 199,4}{2 \cdot 1,967 \cdot 1 \cdot 50} = 0,51 \text{ м/с}^2$$

$$a_{п5} = \frac{D \cdot M_{ип5}}{2J_{с5} \cdot U_{п} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 228,21}{2 \cdot 1,895 \cdot 1 \cdot 50} = 0,60 \text{ м/с}^2$$

$$a_{п6} = \frac{D \cdot M_{ип6}}{2J_{с6} \cdot U_{п} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 227,56}{2 \cdot 1,895 \cdot 1 \cdot 50} = 0,60 \text{ м/с}^2$$

$$a_{п7} = \frac{D \cdot M_{ип7}}{2J_{с7} \cdot U_{п} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 228,36}{2 \cdot 1,883 \cdot 1 \cdot 50} = 0,61 \text{ м/с}^2$$

$$a_{п8} = \frac{D \cdot M_{ип8}}{2J_{с8} \cdot U_{п} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 226,18}{2 \cdot 1,884 \cdot 1 \cdot 50} = 0,60 \text{ м/с}^2$$

Ускорение генераторного торможения при подъеме (режимы с 1 по 4) и опускании (с 5 по 8) неуравновешенного груза определяется по формуле

$$a_{гi} = \frac{D \cdot M_{игi}}{2J_{ci} \cdot U_{п} \cdot U_p}, \frac{\text{м}}{\text{с}^2},$$

где $M_{игi}$ – момент избыточный при генераторном торможении, Нм.

$$a_{г1} = \frac{D \cdot M_{иг1}}{2J_{с1} \cdot U_{п} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 253,18}{2 \cdot 1,995 \cdot 1 \cdot 50} = 0,63 \text{ м/с}^2$$

$$a_{г2} = \frac{D \cdot M_{иг2}}{2J_{с2} \cdot U_{п} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 268,91}{2 \cdot 1,996 \cdot 1 \cdot 50} = 0,67 \text{ м/с}^2$$

$$a_{г3} = \frac{D \cdot M_{иг3}}{2J_{с3} \cdot U_{п} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 251,21}{2 \cdot 1,966 \cdot 1 \cdot 50} = 0,64 \text{ м/с}^2$$

$$a_{г4} = \frac{D \cdot M_{иг4}}{2J_{с4} \cdot U_{п} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 251,49}{2 \cdot 1,967 \cdot 1 \cdot 50} = 0,64 \text{ м/с}^2$$

$$a_{г5} = \frac{D \cdot M_{иг5}}{2J_{с5} \cdot U_{п} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 226,91}{2 \cdot 1,895 \cdot 1 \cdot 50} = 0,60 \text{ м/с}^2$$

$$a_{г6} = \frac{D \cdot M_{иг6}}{2J_{с6} \cdot U_{п} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 227,17}{2 \cdot 1,895 \cdot 1 \cdot 50} = 0,60 \text{ м/с}^2$$

$$a_{г7} = \frac{D \cdot M_{иг7}}{2J_{с7} \cdot U_{п} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 226,85}{2 \cdot 1,883 \cdot 1 \cdot 50} = 0,60 \text{ м/с}^2$$

$$a_{г8} = \frac{D \cdot M_{иг8}}{2J_{с8} \cdot U_{п} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 227,73}{2 \cdot 1,884 \cdot 1 \cdot 50} = 0,60 \text{ м/с}^2$$

Величина приведенного момента при выбеге определяется по формуле:

при подъеме
$$M_{ci}^B = P_{\pi i} \frac{D}{2U_p} \eta_{мп};$$

при спуске
$$M_{ci}^B = P_{ci} \frac{D}{2U_p} \eta_{мо};$$

где $P_{\pi i}$, P_{ci} – окружное усилие в i -ом режиме подъема и опускания кабины, кН; $\eta_{мп}$, $\eta_{мо}$ – прямой и обратный КПД на малой скорости. $\eta_{мп} = 0,61$; $\eta_{мо} = 0,42$

$$M_{ci}^B = P_{\pi i} \frac{D}{2U_p} \eta_{мп}$$

при подъеме

$$M_{c1}^B = P_{\pi 1} \frac{D}{2U_p} \eta_{мп} = 5,72 \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,61 = 17,44 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c2}^B = P_{\pi 2} \frac{D}{2U_p} \eta_{мп} = 9,83 \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,61 = 29,98 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c3}^B = P_{\pi 3} \frac{D}{2U_p} \eta_{мп} = 4,70 \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,61 = 14,33 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c4}^B = P_{\pi 4} \frac{D}{2U_p} \eta_{мп} = 4,78 \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,61 = 14,57 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{ci}^B = P_{ci} \frac{D}{2U_p} \eta_{мо}$$

при спуске

$$M_{c5}^B = P_{c5} \frac{D}{2U_p} \eta_{мо} = 2,79 \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,42 = 5,86 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c6}^B = P_{c6} \frac{D}{2U_p} \eta_{мо} = 2,70 \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,42 = 5,67 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c7}^B = P_{c7} \frac{D}{2U_p} \eta_{мо} = 2,81 \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,42 = 5,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{c8}^B = P_{c8} \frac{D}{2U_p} \eta_{мо} = 2,51 \frac{0,5}{2 \cdot 50} 0,42 = 5,27 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Ускорение выбега после отключения статорной обмотки малой скорости при подъеме и опускании неуравновешенного груза (режим с 1 по 8) определяется по формуле

$$a_{Bi} = \frac{D \cdot M_{ci}^B}{2J_{ci} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p}, \frac{\text{м}}{\text{с}^2},$$

где в M_{ci}^B – приведенный к валу двигателя момент сил внешних сопротивлений в i -ом режиме выбега (двигатель выключен, а тормоз не успел включиться), Нм.

$$a_{B1} = \frac{D \cdot M_{c1}^B}{2J_{c1} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 17,44}{2 \cdot 1,995 \cdot 1 \cdot 50} = 0,04 \text{ м/с}^2$$

$$a_{B2} = \frac{D \cdot M_{c2}^B}{2J_{c2} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 29,98}{2 \cdot 1,996 \cdot 1 \cdot 50} = 0,07 \text{ м/с}^2$$

$$a_{B3} = \frac{D \cdot M_{c3}^B}{2J_{c3} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 14,33}{2 \cdot 1,966 \cdot 1 \cdot 50} = 0,04 \text{ м/с}^2$$

$$a_{B4} = \frac{D \cdot M_{c4}^B}{2J_{c4} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 14,57}{2 \cdot 1,967 \cdot 1 \cdot 50} = 0,04 \text{ м/с}^2$$

$$a_{B5} = \frac{D \cdot M_{c5}^B}{2J_{c5} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 5,86}{2 \cdot 1,895 \cdot 1 \cdot 50} = 0,01 \text{ м/с}^2$$

$$a_{B6} = \frac{D \cdot M_{c6}^B}{2J_{c6} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 5,67}{2 \cdot 1,895 \cdot 1 \cdot 50} = 0,01 \text{ м/с}^2$$

$$a_{B7} = \frac{D \cdot M_{c7}^B}{2J_{c7} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 5,9}{2 \cdot 1,883 \cdot 1 \cdot 50} = 0,01 \text{ м/с}^2$$

$$a_{B8} = \frac{D \cdot M_{c8}^B}{2J_{c8} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p} = \frac{0,5 \cdot 5,27}{2 \cdot 1,884 \cdot 1 \cdot 50} = 0,01 \text{ м/с}^2$$

Ускорение механического торможения при подъеме (режимы с 1 по 4) и опускании (с 5 по 8) неуравновешенного груза определяется по формуле

$$a_{Ti} = \frac{D(M_T \pm M_{ci}^B)}{2J_{ci} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p}, \frac{\text{м}}{\text{с}^2},$$

где M_T – расчетный тормозной момент, Нм, приведенный момент внешних сопротивлений принимается той же величины, что и при выбеге.

$$a_{T1} = \frac{D(M_T \pm M_{c1}^B)}{2J_{c1} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p} = \frac{0,5(65 - 17,44)}{2 \cdot 1,995 \cdot 1 \cdot 50} = 0,12 \text{ м/с}^2$$

$$a_{T2} = \frac{D(M_T \pm M_{c2}^B)}{2J_{c2} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p} = \frac{0,5(65 - 29,98)}{2 \cdot 1,996 \cdot 1 \cdot 50} = 0,08 \text{ м/с}^2$$

$$a_{T3} = \frac{D(M_T \pm M_{c3}^B)}{2J_{c3} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p} = \frac{0,5(65 - 14,33)}{2 \cdot 1,966 \cdot 1 \cdot 50} = 0,13 \text{ м/с}^2$$

$$a_{T4} = \frac{D(M_T \pm M_{c4}^B)}{2J_{c4} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p} = \frac{0,5(65 - 14,57)}{2 \cdot 1,967 \cdot 1 \cdot 50} = 0,13 \text{ м/с}^2$$

$$a_{T5} = \frac{D(M_T \pm M_{c5}^B)}{2J_{c5} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p} = \frac{0,5(65 + 5,86)}{2 \cdot 1,895 \cdot 1 \cdot 50} = 0,19 \text{ м/с}^2$$

$$a_{T6} = \frac{D(M_T \pm M_{c6}^B)}{2J_{c6} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p} = \frac{0,5(65 + 5,67)}{2 \cdot 1,895 \cdot 1 \cdot 50} = 0,19 \text{ м/с}^2$$

$$a_{T7} = \frac{D(M_T \pm M_{c7}^B)}{2J_{c7} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p} = \frac{0,5(65 + 5,9)}{2 \cdot 1,883 \cdot 1 \cdot 50} = 0,19 \text{ м/с}^2$$

$$a_{T8} = \frac{D(M_T \pm M_{c8}^B)}{2J_{c8} \cdot U_{\Pi} \cdot U_p} = \frac{0,5(65 + 5,27)}{2 \cdot 1,884 \cdot 1 \cdot 50} = 0,19 \text{ м/с}^2$$

Расчет величины коэффициента динамичности соотношения натяжения канатов подвески кабины и противовеса для 8 режимов производится по формуле

$$\lambda_i = \frac{(g + a_{imax})}{(g - a_{imax})},$$

где a_{imax} – максимальное значение ускорения из трех значений для i -го режима, м/с²; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения. Величина λ_i необходима для расчета коэффициента тяговой способности и параметров профиля канавки обода КВШ.

$$\lambda_1 = \frac{(g + a_{1max})}{(g - a_{1max})} = \frac{(9,81 + 0,63)}{(9,81 - 0,63)} = 1,137$$

$$\lambda_2 = \frac{(g + a_{2max})}{(g - a_{2max})} = \frac{(9,81 + 0,67)}{(9,81 - 0,67)} = 1,147$$

$$\lambda_3 = \frac{(g + a_{3max})}{(g - a_{3max})} = \frac{(9,81 + 0,64)}{(9,81 - 0,64)} = 1,139$$

$$\lambda_4 = \frac{(g + a_{4max})}{(g - a_{4max})} = \frac{(9,81 + 0,64)}{(9,81 - 0,64)} = 1,139$$

$$\lambda_5 = \frac{(g + a_{5max})}{(g - a_{5max})} = \frac{(9,81 + 0,60)}{(9,81 - 0,60)} = 1,130$$

$$\lambda_6 = \frac{(g + a_{6max})}{(g - a_{6max})} = \frac{(9,81 + 0,60)}{(9,81 - 0,60)} = 1,130$$

$$\lambda_7 = \frac{(g + a_{7max})}{(g - a_{7max})} = \frac{(9,81 + 0,60)}{(9,81 - 0,60)} = 1,130$$

$$\lambda_8 = \frac{(g + a_{8max})}{(g - a_{8max})} = \frac{(9,81 + 0,60)}{(9,81 - 0,60)} = 1,130$$

Малая остановочная скорость кабины в i -ом режиме определяется по линейному участку механической характеристики малой скорости

$$V_{mi} = \frac{\pi D}{60 U_n U_p} \left[n_{0M} - (n_{0M} - n_{HM}) \cdot \frac{M_{ci}^B}{M_{HM}} \right],$$

Где n_{0M}, n_{HM} – синхронная и номинальная частота вращения ротора на малой скорости, об/мин; M_{HM} – номинальный момент на валу двигателя при малой скорости, Нм; M_{ci}^B – приведенный момент внешних сопротивлений в i -ом режиме выбега, Нм. $n_{0M} = 250$; $n_{HM} = 212$

$$V_{M1} = \frac{3,14 \cdot 0,5}{60 \cdot 1 \cdot 50} \left[250 - (250 - 212) \cdot \frac{17,44}{102} \right] = 0,019 \text{ м/с}$$

$$V_{M2} = \frac{3,14 \cdot 0,5}{60 \cdot 1 \cdot 50} \left[250 - (250 - 212) \cdot \frac{29,98}{102} \right] = 0,032 \text{ м/с}$$

$$V_{M3} = \frac{3,14 \cdot 0,5}{60 \cdot 1 \cdot 50} \left[250 - (250 - 212) \cdot \frac{14,33}{102} \right] = 0,015 \text{ м/с}$$

$$V_{M4} = \frac{3,14 \cdot 0,5}{60 \cdot 1 \cdot 50} \left[250 - (250 - 212) \cdot \frac{14,57}{102} \right] = 0,016 \text{ м/с}$$

$$V_{M5} = \frac{3,14 \cdot 0,5}{60 \cdot 1 \cdot 50} \left[250 - (250 - 212) \cdot \frac{5,86}{102} \right] = 0,006 \text{ м/с}$$

$$V_{м6} = \frac{3,14 \cdot 0,5}{60 \cdot 1 \cdot 50} \left[250 - (250 - 212) \cdot \frac{5,67}{102} \right] = 0,006 \text{ м/с}$$

$$V_{м7} = \frac{3,14 \cdot 0,5}{60 \cdot 1 \cdot 50} \left[250 - (250 - 212) \cdot \frac{5,9}{102} \right] = 0,006 \text{ м/с}$$

$$V_{м8} = \frac{3,14 \cdot 0,5}{60 \cdot 1 \cdot 50} \left[250 - (250 - 212) \cdot \frac{5,27}{102} \right] = 0,006 \text{ м/с}$$

Полный тормозной путь кабины в i-ом режиме с учетом пути выбега

$$h_i = \left(V_{ми} t_B \mp \frac{a_{Bi} t_B^2}{2} \right) + \frac{(V_{ми} \mp a_{Bi} t_B)^2}{2a_{Ti}},$$

Где t_B – время выбега, равное времени включения тормоза, определяемое по каталогу тормозов лифтовых лебедок, с; «+» – спуск; «-» подъем.

$$h_1 = \left(0,019 \cdot 0,15 - \frac{0,04 \cdot 0,15^2}{2} \right) + \frac{(0,019 - 0,04 \cdot 0,15)^2}{2 \cdot 0,12} = 0,003 \text{ м}$$

$$h_2 = \left(0,032 \cdot 0,15 - \frac{0,07 \cdot 0,15^2}{2} \right) + \frac{(0,032 - 0,07 \cdot 0,15)^2}{2 \cdot 0,08} = 0,007 \text{ м}$$

$$h_3 = \left(0,015 \cdot 0,15 - \frac{0,04 \cdot 0,15^2}{2} \right) + \frac{(0,015 - 0,04 \cdot 0,15)^2}{2 \cdot 0,13} = 0,002 \text{ м}$$

$$h_4 = \left(0,016 \cdot 0,15 - \frac{0,04 \cdot 0,15^2}{2} \right) + \frac{(0,016 - 0,04 \cdot 0,15)^2}{2 \cdot 0,13} = 0,002 \text{ м}$$

$$h_5 = \left(0,006 \cdot 0,15 + \frac{0,01 \cdot 0,15^2}{2} \right) + \frac{(0,006 + 0,01 \cdot 0,15)^2}{2 \cdot 0,19} = 0,001 \text{ м}$$

$$h_6 = \left(0,006 \cdot 0,15 + \frac{0,01 \cdot 0,15^2}{2} \right) + \frac{(0,006 + 0,01 \cdot 0,15)^2}{2 \cdot 0,19} = 0,001 \text{ м}$$

$$h_7 = \left(0,006 \cdot 0,15 + \frac{0,01 \cdot 0,15^2}{2} \right) + \frac{(0,006 + 0,01 \cdot 0,15)^2}{2 \cdot 0,19} = 0,001 \text{ м}$$

$$h_8 = \left(0,006 \cdot 0,15 + \frac{0,01 \cdot 0,15^2}{2} \right) + \frac{(0,006 + 0,01 \cdot 0,15)^2}{2 \cdot 0,19} = 0,001 \text{ м}$$

Точность остановки кабины для всех 8 режимов работы лифта определяется по следующим расчетным зависимостям.

Режимы подъема неуравновешенного груза:

$$\Delta_1 = \pm \frac{(h_1 - h_7)}{2} = \frac{(0,003 - 0,001)}{2} = 0,001$$

$$\Delta_2 = \pm \frac{(h_2 - h_8)}{2} = \frac{(0,007 - 0,001)}{2} = 0,003$$

$$\Delta_3 = \pm \frac{(h_3 - h_5)}{2} = \frac{(0,002 - 0,001)}{2} = 0,0005$$

$$\Delta_4 = \pm \frac{(h_4 - h_6)}{2} = \frac{(0,002 - 0,001)}{2} = 0,0005$$

Режимы опускания неуравновешенного груза:

$$\Delta_5 = \pm \frac{(h_7 - h_1)}{2} = \frac{(0,001 - 0,003)}{2} = -0,001$$

$$\Delta_6 = \pm \frac{(h_8 - h_2)}{2} = \frac{(0,001 - 0,007)}{2} = -0,003$$

$$\Delta_7 = \pm \frac{(h_5 - h_3)}{2} = \frac{(0,001 - 0,002)}{2} = -0,0005$$

$$\Delta_8 = \pm \frac{(h_6 - h_4)}{2} = \frac{(0,001 - 0,002)}{2} = -0,0005$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ТЯГОВОЙ СПОСОБНОСТИ КВШ И ОБОСНОВАНИЕ ПРОФИЛЯ КАНАВКИ

Порядок расчетного обоснования геометрических характеристик ручья КВШ:

1. Рассчитать приведенное значение коэффициента трения

$$\mu_P = \frac{1}{\alpha} \ln(\gamma_{\max} n_\gamma),$$

где $\gamma_{\max}$ – максимальное значение величины коэффициента тяговой способности; n_γ – коэффициент запаса тяговой способности.

2. Рассчитать коэффициент приведения коэффициента трения

$$K_{\mu P} = \frac{\mu_P}{\mu_0},$$

где μ_0 – величина коэффициента трения, определяемая в зависимости от вида материала КВШ и режима работы лифта, соответствующего величине $\gamma_{\max}$:
 $\mu_0 = 0,09$ чугун, $\mu_0 = 0,1$ сталь.

3. Рассчитать величину угла подреза δ или угол клина β по формулам

Для канавки полукруглого с подрезом ($\rho = \pi$)

$$K_{\mu} = \frac{4(1 - \sin \frac{\delta}{2})}{(\pi - \delta - \sin \delta)}.$$

Для канавки клиновой формы ($\delta = \rho = \pi - \beta$)

$$K_{\mu} = \frac{1}{\sin \frac{\beta}{2}}.$$

4. Определить максимальное значение величины контактного давления по соответствующей зависимости и расчетному значению угла δ или β .

5. Проверить выполнение условия контактной прочности поверхности ручья КВШ

$$p_{\max} \leq [p].$$

где $[p]$ – допускаемое значение величины контактного давления, МПа.

Если условия прочности не выполняются, целесообразно увеличить число параллельных ветвей каната m .

Пример выполнения практического занятия №7

Определение минимальной величины тяговой способности КВШ

Величина коэффициента тяговой способности γ_i определяется по формуле

$$\gamma_i = \psi_i \cdot \lambda_i$$

$$\gamma_1 = \psi_1 \cdot \lambda_1 = 1,25 \cdot 1,137 = 1,421$$

$$\gamma_2 = \psi_2 \cdot \lambda_2 = 1,46 \cdot 1,147 = 1,675$$

$$\gamma_3 = \psi_3 \cdot \lambda_3 = 1,25 \cdot 1,139 = 1,424$$

$$\gamma_4 = \psi_4 \cdot \lambda_4 = 1,26 \cdot 1,139 = 1,435$$

$$\gamma_5 = \psi_5 \cdot \lambda_5 = 1,15 \cdot 1,130 = 1,300$$

$$\gamma_6 = \psi_6 \cdot \lambda_6 = 1,15 \cdot 1,130 = 1,300$$

$$\gamma_7 = \psi_7 \cdot \lambda_7 = 1,18 \cdot 1,130 = 1,333$$

$$\gamma_8 = \psi_8 \cdot \lambda_8 = 1,17 \cdot 1,130 = 1,322$$

Расчетная величина коэффициента тяговой способности КВШ

$$\gamma_p = \gamma_{imax} \cdot n_y = 1,675 \cdot 1,1 = 1,842,$$

где $n_y=1,1$ – коэффициент запаса тяговой способности КВШ.

Приведенное значение коэффициента трения между канатом и ободом КВШ

$$\mu_p = \frac{1}{\alpha} \ln(\gamma_{max} n_y) = \frac{1}{2,61799} \cdot \ln 1,842 = 0,233,$$

где $\alpha = 150^\circ = 2,61799$ рад – угол обхвата обода КВШ канатом (для схемы г).

Расчет коэффициента приведения коэффициента трения

$$K_{\mu p} = \frac{\mu_p}{\mu_0} = \frac{0,233}{0,09} = 2,33$$

Принимаем материал КВШ сталь – $\mu_0 = 0,1$.

Расчет величины угла подреза профиля канавки КВШ

Определяем угол подреза полукруглой канавки с помощью графоаналитического метода: по соответствующей формуле построим график зависимости $K_\mu = f(\delta)$:

$$K_\mu = \frac{4(1 - \sin \delta / 2)}{(\pi - \delta - \sin \delta)}$$

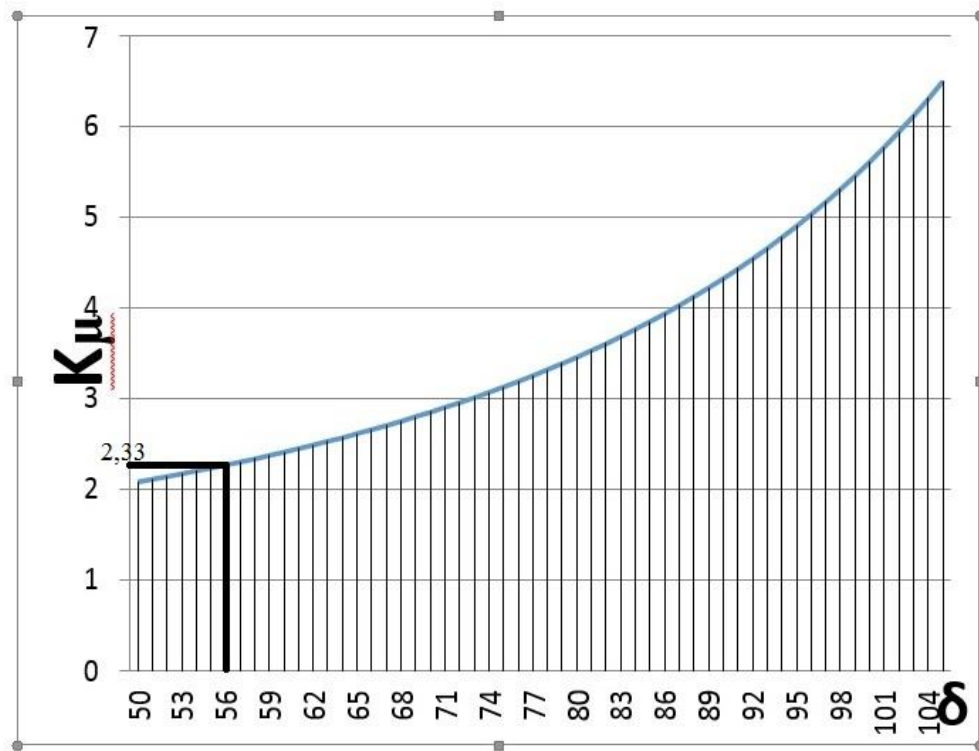


Рис. 3.1. График зависимости $K_{\mu} = f(\delta)$

По данному графику определяем минимально допустимый угол подреза полукруглой канавки $[\delta]$.

$[\delta] = 56^\circ$. Принимаем выбранный ранее угол подреза полукруглой канавки δ , т.к. $\delta = 60^\circ > [\delta] = 56$

Для изношенного ручья полукруглого с подрезом

$$K_{\mu} = \frac{4(1 - \sin 60^\circ/2)}{(\pi - 60^\circ - \sin 60^\circ)} = 1,62$$

Расчет контактных давлений между канавкой и ободом КВШ

$$P_{max} = \frac{8 \cos\left(\frac{\delta}{2}\right)}{(\pi - \delta - \sin \delta)} \frac{S_{max}}{d \cdot D \cdot m} = \frac{8 \cos\left(\frac{60^\circ}{2}\right)}{(\pi - 60^\circ - \sin 60^\circ)} \frac{4,949}{11,5 \cdot 0,5 \cdot 5} = 0,971 \text{ МПа}$$

S_{max} - наибольшее натяжение каната подвески кабины и противовеса

$$S_{max} = 4,949 \text{ кН}$$

$[P]$ -допускаемые контактные давления $[9,5]$, $[P] = 9,5 \text{ МПа}$ по графику допускаемых напряжений смятия между канатом и поверхностью обода КВШ.

$$P_{max} \leq [P], 0,971 \leq 9,5.$$

Условие выполняется.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8

ЭСКАЛАТОРЫ. ОСНОВЫ РАСЧЕТА И ПОДБОРА

При расчете сопротивлений эскалатора исходными величинами являются массы q_0 и q , соответственно приходящиеся на 1 м длины движущихся частей и груза. Массу q вычисляем исходя из производительности

$$Q = \frac{m_e Z}{1000},$$

где Z – штучная производительность; m_e – средняя масса человека.

Штучная производительность определяется по формуле

$$Z = \frac{3600 z'_3 v \varphi_3}{l_{ст}},$$

где z'_3 – число пассажиров, помещающихся на одной ступени; v – скорость движения лестничного полотна, м/с; $l_{ст}$ – ширина ступеней, м; φ_3 – коэффициент, определяемый по эмпирической формуле, $\varphi_3 = 0,9v$.

Погонная нагрузка от веса пассажиров определяется по формуле

$$q = \frac{Q}{3,6v}.$$

Погонную нагрузку от собственного веса движущихся частей (настила с цепью) приближенно определяется по эмпирической зависимости

$$q_0 = 60B_6 + A,$$

где B_6 – ширина ступеней, м; A – коэффициент, принимаемый в зависимости от ширины настила и вида груза для пластинчатых конвейеров.

Для эскалатора (рис. 11.1) минимальное натяжение цепи может быть в точках 1 и 5. Если $q_0(L_1+L_2)\omega' < Hq_0$, то наименьшее натяжение будет в точке 5, а если $q_0(L_1+L_2)\omega' > Hq_0$, то минимальное натяжение будет в точке 1.

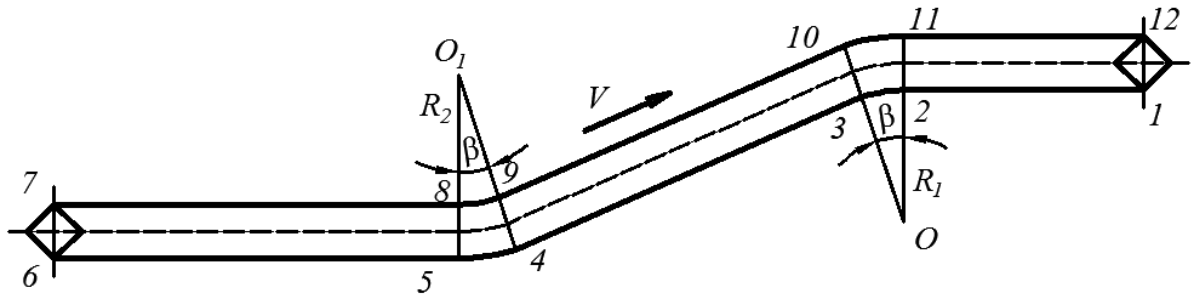


Рис. 8.1. Расчетная схема

Принимаем $S_{\min} = S_5$ (минимальное натяжение цепи задают обычно в пределах 500...3000 Н). Натяжение в двух характерных точках контура

$$S_6 = S_5 + q_0 L_3 \omega';$$

$$S_7 = k S_6,$$

где k – коэффициент увеличения натяжения цепи при огибании звездочки, $k = 1,05 \dots 1,1$;

$$S_8 = S_7 + (q_0 + q) L_3 \omega';$$

$$S_9 = S_8 e^{\omega \beta};$$

где β – угол обхвата тяговым органом криволинейного участка;

$$S_{10} = S_9 + (q_0 + q) L_{9-10} \cos \beta \omega' + (q_0 + q) L_{9-10} \sin \beta;$$

$$L_{9-10} \cos \beta \approx L_2; \quad L_{9-10} \sin \beta \approx H;$$

$$S_{11} = S_{10} e^{\omega \beta};$$

$$S_{12} = S_{11} + (q_0 + q) L_1 \omega'.$$

Натяжение в точках 1...4 определяется, обходя контур от точки 5 против движения холостой ветви конвейера

$$S_4 = \frac{S_5}{e^{\omega \beta}};$$

$$S_3 = S_4 - q_0 L_{4-3} \cos \beta \omega' + q_0 L_{4-3} \sin \beta;$$

$$S_2 = \frac{S_3}{e^{\omega \beta}};$$

$$S_1 = S_2 - q_0 L_1 \omega'.$$

Тяговое усилие на приводной звездочке определяется по формуле

$$W_0 = S_{12} - S_1 + (k-1)(S_{12} + S_1).$$

Расчетная мощность определяется по формуле

$$N_p = \frac{W_0 v}{102 \eta_m}.$$

Установочная мощность двигателя определяется по формуле

$$N_0 = k_3 N_p.$$

Пример выполнения практического занятия № 8

Исходные данные.

$q_0=76$ кг/м; $q=102$ кг/м; $v=0,5$ м/с; $l_{ст}=0,4$ м; $B_6=0,6$ м; условия работы – средние; $H=4,2$ м; $L_1=5,998$ м; $L_2=1,2$ м; $L_3=1,2$ м.

Массу Q вычисляем исходя из производительности:

$$Q = \frac{m_e Z}{1000} = 90 \cdot \frac{2025}{1000} = 183 \frac{\text{т}}{\text{ч}},$$

где Z – штучная производительность; m_e – средняя масса человека; $m_e = 90$ кг.

$$Z = \frac{3600 \cdot z'_3 \cdot v \cdot \varphi_3}{l_{ст}} = \frac{3600 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,45}{0,4} = 2025 \frac{\text{чел}}{\text{ч}},$$

где z'_3 – число пассажиров, помещающихся на одной ступени; $z'_3 = 1$ для эскалаторов зданий; v – скорость движения лестничного полотна; $v = 0,5$ м; $l_{ст}$ – ширина ступеней, $l_{ст} = 0,4$; φ_3 – коэффициент, определяемый по эмпирической формуле

$$\varphi_3 = 0,9 \cdot v = 0,9 \cdot 0,5 = 0,45.$$

Погонная нагрузка от веса пассажиров:

$$q = \frac{Q}{3,6 \cdot v} = \frac{183}{3,6 \cdot 0,5} = 102 \frac{\text{кгс}}{\text{м}} = \frac{1 \text{ кН}}{\text{м}}.$$

Погонную нагрузку от собственного веса движущихся частей (настила с цепью) приближенно определяем по эмпирической зависимости:

$$q_0 = 60 \cdot B_6 + A = 60 \cdot 0,6 + 40 = 76 \text{ кгс/м} = 0,74 \text{ кН},$$

где B_6 - ширина настила, $B_6 = 0,6$ м; A - коэффициент, принимаемый в зависимости от ширины настила и вида груза для пластинчатых конвейеров

Таблица 8.1.

Значение коэффициента A

Груз	А при ширине настила B_6 , в м.		
	0,4...0,6	0,65...0,8	0,8
Легкий, $\gamma_p \leq 1 \text{ тс/м}^3$	40	50	70
Средний, $\gamma_p = 1 \dots 2 \text{ тс/м}^3$	60	70	100
Тяжелый, $\gamma_p > 2 \text{ тс/м}^3$	80	110	150

Для рассчитываемого эскалатора минимальное натяжение цепи может быть в точках 1 и 5. Если $q_0(L_1 + L_2)\omega' < Hq_0$, то наименьшее натяжение будет в точке 5, а если $q_0(L_1 + L_2)\omega' > Hq_0$, то минимальное натяжение будет в точке 1.

Поскольку для средних условий работы $\omega' = 0,030$ (табл. 8.2), то

$$q_0(L_1 + L_2)\omega' = 76(5,998 + 1,2) \cdot 0,03 = 16,4 \text{ кгс} \leq Hq_0 = 4,2 \cdot 76 = 319,2 \text{ кгс} = 3,8 \text{ кН},$$

Принимаем $S_{min} = S_5 = 100$ кгс (минимальное натяжение цепи задают обычно в пределах 50...300 кгс). Натяжение в двух характерных точках контура:

$$S_6 = S_5 + q_0 L_3 \omega' = 100 + 76 \cdot 1,2 \cdot 0,3 = 103,1 \text{ кгс} = 1,01 \text{ кН};$$

$$S_7 = kS_6 = 1,08 \cdot 103,1 = 111,3 \text{ кгс} = 1,09 \text{ кН},$$

Таблица 8.2.

Значение коэффициента ω' для пластинчатых втулочно-катковых цепей (ГОСТ 588-74).

Условия работы	ω' для катков на подшипниках	
	скольжения	качения
Хорошие	0,06...0,08	0,020
Средние	0,08...0,10	0,030
Тяжелые	0,10...0,13	0,043

где $k = 1,05 \dots 1,1$ - коэффициент увеличения натяжения цепи при огибании звездочки;

$$S_8 = S_7 + (q_0 + q)L_3\omega' = 113,3 + (76 + 102) \cdot 1,2 \cdot 0,03 = 117,75 \text{ кгс} = 1,15 \text{ кН},$$

$$S_9 = S_8 e^{\omega'\beta} = 117,75 \cdot 2,71^{0,03 \cdot 0,314} = 118,86 \text{ кгс} = 1,17 \text{ кН},$$

где $\beta = 18^\circ$ - угол обхвата тяговым органом криволинейного участка;

$$S_{10} = S_9 + (q_0 + q)L_{9-10} \cos \beta \omega' + (q_0 + q)L_{9-10} \sin \beta = 118,86 + (102 + 76) \cdot 5,998 \cdot 0,03 + (102 + 76) \cdot 4,2 = 898,5 \text{ кгс} = 8,81 \text{ кН},$$

$$L_{9-10} \cos \beta \approx L_2, \quad L_{9-10} \sin \beta \approx H;$$

$$S_{11} = S_{10} e^{\omega'\beta} = 898,5 \cdot 2,71^{0,03 \cdot 0,314} = 907 \text{ кгс} = 8,89 \text{ кН};$$

$$S_{12} = S_{11} + (q_0 + q)L_1\omega' = 907 + (102 + 76) \cdot 1,2 \cdot 0,03 = 913,4 \text{ кгс} = 8,96 \text{ кН}.$$

Натяжение в точках 1...4 определим, обходя контур от точки 5 против движения холостой ветви конвейера:

$$S_4 = \frac{S_5}{e^{\omega' \beta}} = \frac{100}{2,71^{0,03 \cdot 0,314}} = 99 \text{ кгс} = 0,97 \text{ кН};$$

$$S_3 = S_4 - q_0 L_{4-3} \cos \beta \omega' + q_0 L_{4-3} \sin \beta = 99 - 76 \cdot 5,998 \cdot 0,03 + 76 \cdot 4,2 = 404 \text{ кгс} = 3,96 \text{ кН};$$

$$S_2 = \frac{S_3}{e^{\omega' \beta}} = \frac{404}{2,71^{0,03 \cdot 0,314}} = 400,8 \text{ кгс} = 3,93 \text{ кН};$$

$$S_1 = S_2 - q_0 L_1 \omega' = 400,8 - 76 \cdot 1,2 \cdot 0,03 = 398 \text{ кгс} = 3,9 \text{ кН}.$$

Тяговое усилие на приводной звездочке

$$W_0 = S_{12} - S_1 + (k - 1)(S_{12} + S_1) = 913,4 - 398 + (1,08 - 1)(913,4 + 398) = 620 \text{ кгс} = 6,08 \text{ кН}.$$

Расчетная мощность:

$$N_p = \frac{W_0 v}{102 \eta_m} = \frac{620 \cdot 0,5}{102 \cdot 0,85} = 3,6 \text{ кВт}.$$

Установочная мощность двигателя:

$$N_0 = k_3 N_p = 1,1 \cdot 3,6 = 4 \text{ кВт}.$$