

ЗАДАНИЕ

Расчитать мощность и выбрать электродвигатель механизма вертикального перемещения груза мостового крана.

(пример расчета показан на следующей странице)

Данные для расчёта мощности двигателя механизма вертикального перемещения мостового крана представлены в табл.

Наименование показателей					
Грузоподъемность крана, m_r , кг				20000	
Номинальная скорость подъема (спуска), V , м/с				0,15	
Допустимое ускорение, a , м/с ²				0,04	
Радиус барабана лебедки, R_b , м				0,26	
Внутренний радиус барабана, r_b , м				0,22	
Длина барабана, B , м				1,2	
Момент инерции муфты с тормозным шкивом, J_m , кг·м ²				0,35	
Передаточное число редуктора, i				43	
Кратность полиспаста, j				6	
Масса крюка, m_k , кг				210	
Общий КПД передачи, η				0,82	
Угловая скорость вала двигателя, $\omega_{дв}$, рад/с				149	

1. РАСЧЁТ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МЕХАНИЗМА ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗА МОСТОВОГО КРАНА

Мостовые краны — это устройства, служащие для вертикального и горизонтального перемещения грузов.

Механизм вертикального перемещения служит для подъема и опускания груза.

Механизм вертикального перемещения, изображенный на рис. 1, включает в себя: электродвигатель; муфту; тормозной шкив; редуктор; барабан и полиспаст, его кинематическая схема показана на рис. 2.

Механизм подъема монтируется на раме тележки.

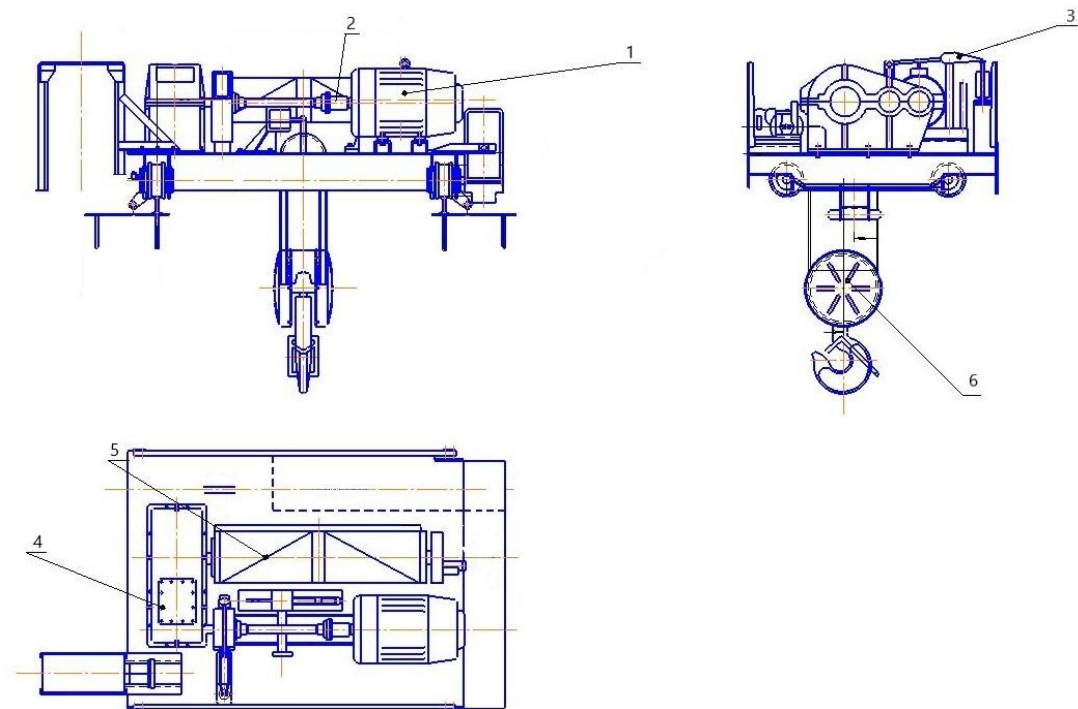


Рис. 1. Общий вид механизма вертикального перемещения:
1 - электродвигатель; 2 - муфта; 3 - тормозной шкив; 4 - редуктор;
5 - барабан; 6 - полиспаст

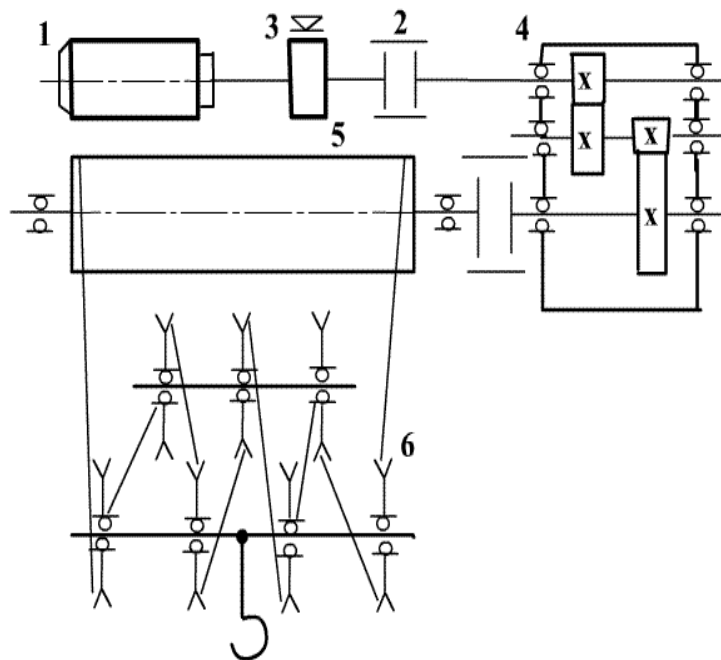


Рис. 2. Кинематическая схема механизма подъёма мостового крана:

- 1- электродвигатель; 2 - муфта; 3 - тормозной шкив; 4 - редуктор;
5 - барабан; 6 - полиспаст

Техническое задание представлено в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Наименование показателей	Значения
Грузоподъемность крана, m_r , кг	35000
Номинальная скорость подъема (опускания), V_p , м/с	0,0177
Допустимое ускорение при разгоне (торможении) при движении вверх (вниз), a , м/с ²	0,0033
Рабочий путь подъема (спуска), L , м	12,5
Радиус барабана лебедки, R_6 , м	0,304
Внутренний радиус барабана, r_6 , м	0,254
Длина барабана, B , м	1,5
Момент инерции муфты с тормозным шкивом, J_m , кг·м ²	0,4
Передаточное число редуктора, i	269
Кратность полиспаста, j	6
Масса крюка, m_k , кг	350
Общий КПД передачи, η	0,8
Повторность включения, ПВ, %	40

Расчет и построение нагрузочных диаграмм механизма производится в следующей последовательности.

Определяется приведенный к валу двигателя статический момент при подъеме груза

$$M_{\text{стат}}^{\uparrow} = \frac{g \cdot (m_r + m_k) \cdot R_6}{j \cdot i \cdot \eta}, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

и,

$$M_{\text{стат}}^{\uparrow} = \frac{9,8 (35000 + 350) \cdot 0,304}{6 \cdot 269 \cdot 0,8} = 81,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определяется приведенный к валу двигателя статический момент при опускании груза

$$M_{\text{стат}}^{\downarrow} = \frac{g \cdot (m_r + m_k) \cdot R_6 \cdot \eta}{i \cdot j}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (1.2)$$

$$M_{\text{стат}}^{\downarrow} = \frac{9,8 (35000 + 350) \cdot 0,304 \cdot 0,8}{6 \cdot 269} = 52,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Вычисляется установившаяся угловая скорость входного вала редуктора при подъеме (опускании) груза $\omega_{\text{вх в}}$.

В общем случае угловая скорость вращающегося цилиндра ω определяется по формуле

$$\omega = \frac{V}{R}, \text{ рад/с}, \quad (1.3)$$

где V , м/с, – линейная окружная скорость наружной поверхности цилиндра;

R , м, – внешний радиус цилиндра.

Учитывая количество ветвей полиспаста j и передаточное число редуктора i , формула (1.3) для вычисления $\omega_{\text{вх в}}$ примет вид:

$$\omega_{\text{вх в}} = \frac{V_p \cdot j \cdot i}{R_6}, \text{ рад/с}, \quad (1.4)$$

$$\omega_{\text{вх в}} = \frac{0,0177 \cdot 6 \cdot 269}{0,304} = 93,8 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Следует иметь в виду, что согласно кинематической схемы угловая скорость входного вала редуктора равна угловой скорости вала двигателя

$$\omega_{\text{вх в}} = \omega_{\text{дв}}.$$

Вычисляется время разгона (торможения) при подъёме (опускании) груза t_p до рабочей скорости. В общем случае время разгона t механизма до рабочей скорости V_p , м/с, при постоянном ускорении a_p , м/с², определяется по формуле

$$t_p = \frac{V_p}{a}, \text{ с}, \quad (1.5)$$

следовательно,

$$t_p = \frac{V_p}{a} = \frac{0,0177}{0,0033} = 5,4 \text{ с.}$$

Затем рассчитывается приведенный к оси двигателя момент инерции механизма J' , для чего первоначально находится сумма кинетических энергий всех элементов кинетической схемы механизма.

Кинетическая энергия поднимаемого груза и крюка $W_{гк}$, Дж, вычисляется по формуле вычисления кинетической энергии поступательно движущегося со скоростью V , м/с, тела, масса которого m , кг

$$W_{пос} = \frac{mV^2}{2}, \text{ Дж}, \quad (1.6)$$

$$W_{гк} = 0,5 \cdot (m_{г} + m_{к}) \cdot V_p^2, \text{ Дж},$$

где $m_{г} + m_{к} = m$, кг,

$$W_{гк} = \frac{(35000+350) \cdot 0,0177^2}{2} = 5,5 \text{ Дж.}$$

Кинетическая энергия муфты с тормозным шкивом $W_{муф}$ вычисляется по формуле определения кинетической энергии вращающегося со скоростью ω тела, момент инерции которого J

$$W_{вр} = \frac{J\omega^2}{2}, \text{ Дж}, \quad (1.7)$$

$$W_{муф} = \frac{J_{муф} \cdot \omega_{вхв}^2}{2}, \text{ Дж},$$

$$W_{муф} = \frac{0,4 \cdot 93,8^2}{2} = 1760 \text{ Дж.}$$

Кинетическая энергия барабана лебедки W_b вычисляется аналогично.

$$W_b = \frac{J_b \cdot \omega_b^2}{2}, \text{ Дж},$$

где J_b – момент инерции барабана лебедки относительно собственной оси, кг·м²;

ω_6 – угловая скорость вращения барабана лебедки, рад/с.

Барабан лебедки – это полый цилиндр с боковыми крышками.

Момент инерции полого цилиндра определяется по формуле

$$J = \pi \cdot V \cdot \rho \cdot \frac{R^4 - r^4}{2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (1.8)$$

где V – длина цилиндра, м;

ρ – удельная плотность материала цилиндра, кг/м³;

R, r – наружный и внутренний радиусы цилиндра, м.

Пренебрегая моментами инерции боковых крышек, момент инерции барабана лебедки вычислим по формуле (1.8)

$$J_6 = \pi \cdot V \cdot \rho \cdot \frac{R_6^4 - r_6^4}{2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где V – длина барабана, м;

ρ – удельная плотность материала цилиндра (сталь), $\rho = 7800$ кг/м³;

R_6, r_6 – внешний и внутренний радиусы барабана лебедки, м.

$$J_6 = 3,14 \cdot 1,5 \cdot 7800 \cdot \frac{0,304^4 - 0,254^4}{2} = 80,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Передаточное отношение редуктора определяется по формуле

$$i = \frac{\omega_{\text{ВЫХ}}}{\omega_{\text{ВХ}}}, \quad (1.9)$$

где $\omega_{\text{ВЫХ}}$ и $\omega_{\text{ВХ}}$ – угловые скорости вращения выходного и входного валов редуктора, рад/с.

Следовательно, угловая скорость барабана лебедки, которая присоединена к выходному валу редуктора, определяется по преобразованной формуле (1.9)

$$\omega_6 = \frac{\omega_{\text{ВХВ}}}{i}, \text{ рад/с},$$

$$\omega_6 = \frac{93,8}{269} = 0,35 \text{ рад/с}.$$

Кинетическая энергия барабана лебедки определяется по формуле (1.7)

$$W_6 = \frac{J_6 \cdot \omega_6^2}{2} = \frac{80,5 \cdot 0,35^2}{2} = 4,9 \text{ Дж}.$$

Момент инерции механизма, приведенный к валу двигателя J' , вычисляется по формуле

$$J' = \frac{(\sum W) \cdot 2}{\omega^2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (1.10)$$

где $\sum W$ – сумма кинетических энергий элементов механизма, Дж.

Соответственно, приведённый к валу двигателя момент инерции механизма вертикального перемещения груза

$$J' = \frac{(W_{ГК} + W_{муф} + W_6) \cdot 2}{\omega_{дв}^2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$J' = \frac{(5,5 + 1760 + 4,9) \cdot 2}{93,8^2} = 0,402 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Построение нагрузочных диаграмм следует начинать с анализа уравнения движения электропривода при различных режимах его работы.

Уравнение движения электропривода при одной степени свободы и постоянном моменте инерции:

$$M_{дв} \pm M_c = M_{дин} = J \frac{d\omega}{dt}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (1.11)$$

где $M_{дв}$ – момент, развиваемый двигателем, Н·м;

M_c – момент сопротивления механизма (знак минус берётся при моменте сопротивления, направление которого противоположно направлению движения, в противном случае берется знак плюс), Н·м;

$M_{дин}$ – динамический момент, Н·м;

J – момент инерции электропривода – сумма момента инерции двигателя и приведённого к оси двигателя момента инерции механизма, кг·м²;

$\frac{d\omega}{dt}$ – угловое ускорение ротора электродвигателя, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$.

Уравнение движения электропривода механизма вертикального перемещения груза при подъеме груза без учёта момента инерции двигателя, согласно (1.11)

$$M_{дв} - M_{ст}^{\uparrow} = J' \frac{d\omega_{дв}}{dt} = J' \frac{\Delta\omega_{дв}}{\Delta t} = J' \frac{\omega_{кон} - \omega_{нач}}{t_p}, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приведенный к валу двигателя момент механизма при разгоне при движении вверх, вычисляется по преобразованной формуле (1.11)

$$M_{\text{дв раз}}^{\uparrow} = M_{\text{стат}}^{\uparrow} + J' \cdot \frac{\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}}{t_p}, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где $\omega_{\text{кон}} = 93,8 \text{ рад/с}$, $\omega_{\text{нач}} = 0$ - конечная и начальная угловые скорости двигателя режима разгона при движении вверх,

$$M_{\text{дв раз}}^{\uparrow} = 81,6 + 0,402 \cdot \frac{93,8 - 0}{5,4} = 88,6 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Приведенный к валу двигателя момент механизма при торможении при движении вверх вычисляется по формуле

$$M_{\text{дв тор}}^{\uparrow} = M_{\text{стат}}^{\uparrow} + J' \frac{\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}}{t_p}, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где $\omega_{\text{кон}} = 0$, $\omega_{\text{нач}} = 93,8 \text{ рад/с}$ - конечная и начальная угловые скорости двигателя режима разгона при движении вверх.

$$M_{\text{дв тор}}^{\uparrow} = 81,6 + 0,402 \cdot \frac{0 - 93,8}{5,4} = 74,62 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Уравнение движения электропривода при опускании груза без учёта момента инерции двигателя (1.11)

$$M_{\text{дв}}^{\downarrow} + M_{\text{стат}}^{\downarrow} = J' \cdot \frac{\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}}{t_p}, \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Приведенный к валу двигателя момент механизма при разгоне при движении вниз, вычисляется по формуле

$$M_{\text{дв раз}}^{\downarrow} = -M_{\text{стат}}^{\downarrow} + J' \frac{\omega_{\text{кон}} - \omega_{\text{нач}}}{t_m}, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где $\omega_{\text{кон}} = 93,8 \text{ рад/с}$, $\omega_{\text{нач}} = 0$ - конечная и начальная угловые скорости двигателя режима разгона при движении вниз,

$$M_{\text{дв раз}}^{\downarrow} = -52,2 + 0,402 \frac{93,8}{5,4} = -45,2 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Приведенный к валу двигателя момент механизма при торможении при движении вниз вычисляется по преобразованной формуле (1.11)

$$M_{\text{дв тор}}^{\downarrow} = -M_{\text{ст}} + J' \frac{\omega_{\text{нач}} - \omega_{\text{кон}}}{t_m}, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где $\omega_{\text{кон}} = 0$, $\omega_{\text{нач}} = 93,8 \text{ рад/с}$ - конечная и начальная угловые скорости двигателя в режиме торможения при движении вниз

$$M_{\text{дв тор}}^{\downarrow} = -52,2 + 0,402 \frac{-93,8}{5,4} = -59,2 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Знак минус при $M_{дв\ раз}^{\downarrow}$ и $M_{дв\ тор}^{\downarrow}$ говорит о направлении этих моментов противоположно знаку скорости двигателя $\omega_{дв}$.

На основе проведенных расчетов строятся нагрузочные диаграммы механизма при перемещении груза.

Нагрузочные диаграммы механизма вертикального перемещения груза показаны на рис.3.

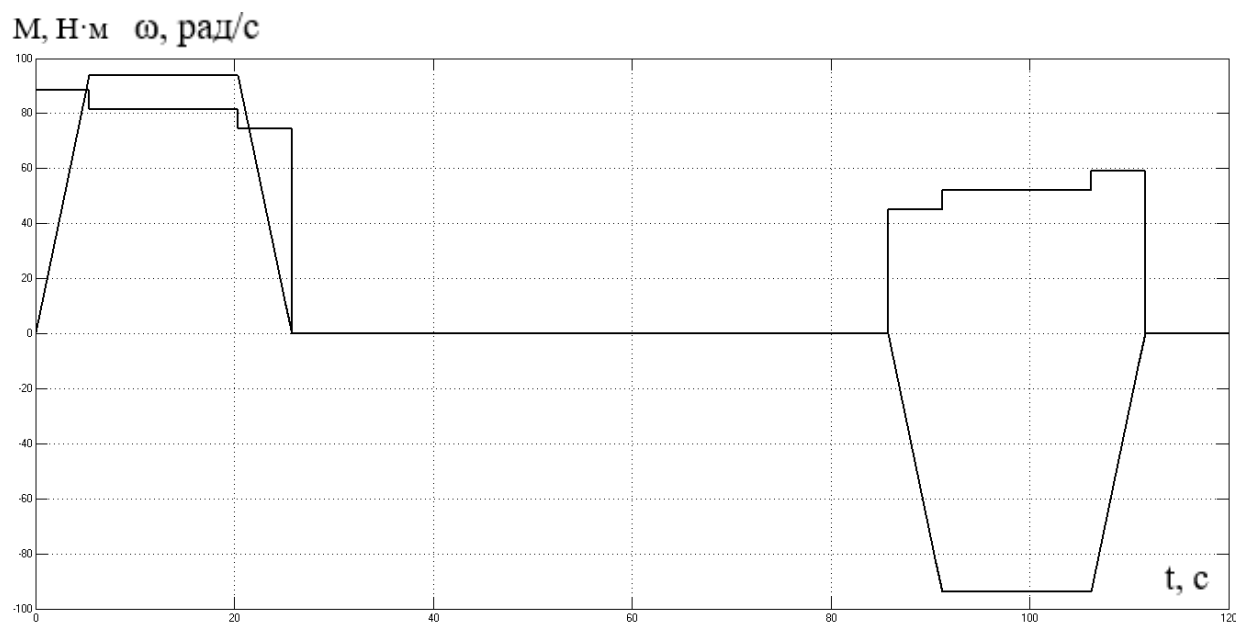


Рис. 3. Нагрузочные диаграммы механизма вертикального перемещения груза

Условия для предварительного выбора двигателя сформулированы формулами (1.12), (1.13), (1.14):

$$M_{дв\ ном} \geq M_{стат}^{\uparrow}, \quad (1.12)$$

$$P_{дв\ ном} \geq M_{стат}^{\uparrow} \cdot \omega_{кон} \cdot K_{зап}, \text{ Вт}, \quad (1.13)$$

где $P_{дв\ ном}$ - номинальная мощность двигателя, Вт,

$$\omega_{кон} = 93,8 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$K_{зап}$ - коэффициент запаса ($K_{зап}=1,2$).

$$P_{дв\ ном} \geq 81,6 \cdot 93,8 \cdot 1,2 = 9185 \text{ Вт},$$

$$\omega_{\text{дв ном}} \geq \omega_{\text{кон}}$$

(1.14)

Из каталога крановых электродвигателей Сибэлектромотор выбираем двигатель МТКН 311-6 с короткозамкнутым ротором, 11 кВт, (ПВ – 40 %).
 Параметры двигателя из каталога крановых двигателей представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Наименование	Значение
Номинальная мощность, $P_{\text{дв ном}}$, кВт	11
Номинальная частота вращения, $n_{\text{дв ном}}$, об/мин	900
Кратность максимального момента к номинальному $\lambda_M = M_{\text{макс}} / M_{\text{ном}}$	3,3
Момент инерции ротора двигателя $J_{\text{дв}}$, кг·м ²	0,281

Взаимосвязь между частотой вращения n и угловой скоростью вращения ω определяется формулой

$$n = \omega \cdot 60 / 6,28, \text{ об/мин} \quad (1.15)$$

или

$$\omega = n \cdot 6,28 / 60, \text{ рад/с},$$

$$\omega_{\text{дв ном}} = n_{\text{дв ном}} \cdot 6,28 / 60 = 900 \cdot 6,28 / 60 = 94,2 \text{ рад/с},$$

$$\omega_{\text{дв ном}} \geq \omega_{\text{кон}} = 93,8 \text{ рад/с}.$$

Номинальный момент двигателя $M_{\text{дв ном}}$ определяется по формуле для определения момента вращения M при известной мощности P и угловой скорости ω

$$M = P / \omega, \text{ Н·м}, \quad (1.16)$$

$$M_{\text{дв ном}} = \frac{P_{\text{дв ном}}}{\omega_{\text{дв ном}}}, \text{ Н·м},$$

$$M_{\text{дв ном}} = 11000 / 94,2 = 117 \text{ Н·м},$$

$$M_{\text{дв ном}} \geq M_{\text{стат}}^{\uparrow} = 81,6 \text{ Нм}.$$

Условия (1.12), (1.13) и (1.14) выполняются.

Затем проводится проверка выбранного двигателя на перегрузочную способность.

Определяется из каталога момент инерции двигателя и суммируется с моментом инерции механизма, приведенного к валу двигателя. Затем строятся нагрузочные диаграммы электропривода и проверяется правильность его выбора. В нашем случае полное перестроение нагрузочных диаграмм не требуется. Достаточно проверить возможность обеспечения выбранным двигателем подъем груза с заданным ускорением.

Для этого следует к рассчитанному моменту инерции механизма, приведенного к валу двигателя, добавить момент инерции выбранного двигателя, т.е.

$$J = J' + J_{\text{дв}}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (1.17)$$

$$J = 0,402 + 0,281 = 0,683 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Далее находится новый динамический момент электропривода

$$M_{\text{дин эл прив}} = J \cdot \frac{\omega_{\text{кон}} - 0}{\Delta t_p}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (1.18)$$

$$M_{\text{дин эл прив}} = 0,683 \cdot \frac{93,8}{5,4} = 11,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Необходимая перегрузочная способность $\lambda_{\text{м необх}}$

$$\lambda_{\text{м необх}} = \frac{M_{\uparrow \text{стат}} + M_{\text{дин эл прив}}}{M_{\uparrow \text{стат}}}. \quad (1.19)$$

Если неравенства (1.12), (1.13), (1.14) выполняются и $\lambda_{\text{м необх}} \leq \lambda_{\text{м}}$, где $\lambda_{\text{м}}$ – каталожная перегрузочная способность двигателя, то двигатель выбран верно.

Если приведённое выше неравенство не соблюдается, то необходимо выбрать двигатель, следующий по мощности в каталоге, и провести проверку заново.

$$\lambda_{\text{м необх}} = \frac{81,6 + 11,9}{81,6} = 1,15, \quad \lambda_{\text{м}} = 3,3, \\ \lambda_{\text{м необх}} > \lambda_{\text{м}}. \quad (1.20)$$

Двигатель выбран верно.