

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

И. В. Дорощенко, В. А. Савельев

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

ПРАКТИКУМ

**для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»
дневной формы обучения**

Гомель 2023

УДК 62.83(075.8)
ББК 31.291я73
Д69

*Рекомендовано научно-методическим советом
факультета автоматизированных и информационных систем
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 10 от 10.06.2022 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Информационные технологии» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *В. В. Захаренко*

Дорошенко, И. В.
Д69

Теория электропривода : практикум для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» днев. формы обучения / И. В. Дорошенко, В. А. Савельев. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – 34 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит перечень задач, составленных в соответствии с рабочей программой дисциплины «Теория электропривода». Приведены примеры решения задач, даны рекомендации по их оформлению и необходимые краткие теоретические, справочные сведения.

Для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы дневной формы обучения.

**УДК 62.83(075.8)
ББК 31.291я73**

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2023

1. Механика электропривода

При анализе и синтезе электроприводов (ЭП) использовать непосредственно кинематические схемы неудобно, поскольку отдельные массы движутся с разными скоростями, с разными видами движения. Поэтому все параметры элементов кинематической цепи обычно приводят к одной расчётной скорости – к угловой скорости электродвигателя (ЭД).

Приведение моментов инерции и масс производится на основании сохранения запаса кинетической энергии: $W_{к.п.} = W_k$ Тогда для k -го элемента:

$$\frac{J_k \cdot \omega_k^2}{2} = \frac{J_{к.п.} \cdot \omega^2}{2}, \text{ или } J_{к.п.} = \frac{J_k}{i_k^2},$$

где $i_k = \frac{\omega}{\omega_k}$ - коэффициент передачи от вала ЭД к k -му валу.

Для поступательно движущегося j -го элемента:

$$\frac{m_j \cdot v_j^2}{2} = \frac{J_{jпр} \cdot \omega^2}{2}, \text{ или } J_{jпр} = m_j \cdot \rho_j^2,$$

где $\rho_j = \frac{r_j}{\omega}$ - радиус приведения линейной скорости v_j к угловой скорости ЭД ω .

Приведение угловых φ и линейных s перемещений проводится с учетом соотношения скоростей. В общем случае:

$$d\varphi_{кпр} = i_k \cdot d\varphi_k \text{ и } d\varphi_{jпр} = \frac{ds_j}{\rho_j}, \text{ а при линейных механических}$$

связях ($i_k, \rho_j = \text{Const}$) полные перемещения:

$$\varphi_{кпр} = i_k \cdot \varphi_k \quad \text{и} \quad \varphi_{jпр} = \frac{s_j}{\rho_j}.$$

Приведение моментов и сил статического сопротивления производится на основании равенства элементарной работы на возможных перемещениях:

$$M_k \cdot d\varphi_k = M_{кпр} \cdot d\varphi_{кпр},$$

$$M_{кпр} = \frac{M_k}{i_k},$$

$$F_j \cdot ds_j = M_{jnp} d\varphi_{jnp},$$

$$M_{jnp} = F_j \cdot \rho_j.$$

Жесткость упругих связей в пределах, в которых выполняется закон Гука, можно представить:

$$\text{при скручивании } c_k = \frac{M_{кр}}{\Delta\varphi_k},$$

$$\text{при линейной деформации } c_j = \frac{F_p}{\Delta s},$$

где $M_{кр}$, F_p – соответственно крутящий момент и усилие растяжения или сжатия,

$\Delta\varphi_k$ и Δs – деформации механических связей.

Приведение жесткостей при скручивании будет определяться по выражению $c_{кпр} = \frac{c_k}{i_k^2}$.

Приведение жесткостей при линейной деформации $c_{jnp} = c_j \cdot \rho_j^2$.

Теперь суммарные параметры механической части, приведенные к скорости ЭД:

$$J = J_d + \sum_k \frac{J_k}{i_k^2} + \sum_j m_j \cdot \rho_j^2,$$

$$\frac{1}{c_{эkv}} = \sum_k \frac{i_k^2}{c_k} + \sum_j \frac{1}{c_j \cdot \rho_j^2}.$$

Пример 1.1. Механизм вращательного действия (рис. 1.1) включает в себя рабочий орган (РО), редуктор и электродвигатель привода (ЭД).

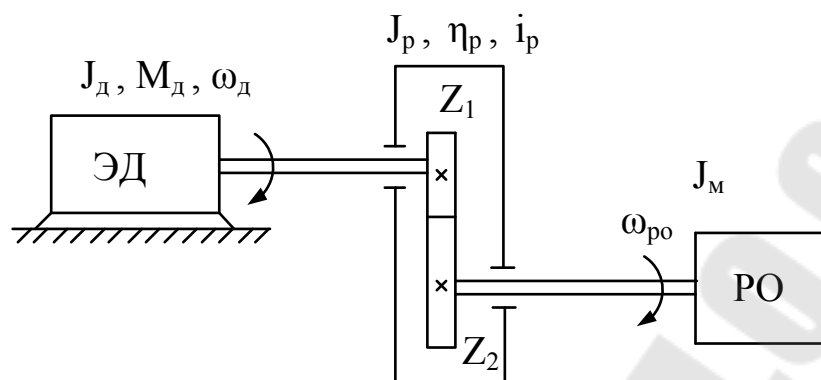


Рис. 1.1. Механизм вращательного действия с редуктором

Данные механизма: $M_{м0} = 20 \text{ Нм}$; $M_m = 200 \text{ Нм}$; $J_m = 2 \text{ кгм}^2$; $i_p = 2,0$; $\eta_p = 0,5$. Двигатель характеризуется установившейся скоростью $\omega = 100 \text{ рад/с}$ и моментом инерции $J_d = 0,5 \text{ кгм}^2$.

1. Определить приведенный к валу двигателя статический момент $M_{с0}$ при холостом ходе, суммарный момент инерции J_Σ и динамический момент привода $M_{дин0}$ при пуске с постоянным ускорением $\varepsilon_n = d\omega/dt = 30 \text{ рад/с}^2$.

2. Определить приведенный момент M_c при работе с нагрузкой в двигательном режиме и $M_{дин}$ при $\varepsilon_n = 30 \text{ рад/с}^2$.

3. Определить M_c и $M_{дин}$ при торможении привода с постоянным ускорением $\varepsilon_T = 50 \text{ рад/с}^2$.

Дано:

$$M_{м0} = 20 \text{ Нм}$$

$$M_m = 200 \text{ Нм}$$

$$J_m = 2 \text{ кгм}^2$$

$$i_p = 2,0$$

Решение:

Статический момент $M_{с0}$

$$M_{с0} = \frac{M_{м0}}{i_p \cdot \eta_p} = \frac{20}{2 \cdot 0,5} = 20 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Суммарный приведенный момент инерции

$$\eta_p = 0,5$$

$$\omega = 100 \text{ рад/с}$$

$$J_d = 0,5 \text{ кгм}^2$$

$$\varepsilon_{\text{п}} = \frac{d\omega_{\text{п}}}{dt} = 30 \text{ рад/с}^2$$

$$\varepsilon_{\text{т}} = \frac{d\omega_{\text{т}}}{dt} = 50 \text{ рад/с}^2$$

$$M_c - ?$$

$$J_{\Sigma} - ?$$

$$J_{\text{пр}} - ?$$

$$M_{\text{дин}} - ?$$

$$J_{\Sigma} = J_{\text{дв}} + \frac{J_M}{i_p^2} = 0,5 + \frac{2}{2^2} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Динамический момент при пуске на холостом ходу с постоянным ускорением

$$\varepsilon_{\text{п}} = d\omega/dt = 30 \text{ рад/с}^2$$

$$M_{\text{дин0}} = J_{\Sigma} \cdot \frac{d\omega}{dt} = 1 \cdot 30 = 30 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приведенный статический момент M_c при работе с нагрузкой, имеющей реактивный характер

$$M_c = M'_c = \frac{M_M}{i_p \cdot \eta_p} = \frac{200}{2 \cdot 0,5} = 200 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамический момент привода $M_{\text{дин}}$ при пуске под нагрузкой с постоянным ускорением $\varepsilon_{\text{п}} = d\omega/dt$

$$M_{\text{дин}} = J_{\Sigma} \cdot \frac{d\omega_{\text{п}}}{dt} = 1 \cdot 30 = 30 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Динамический момент привода $M_{\text{дин}}$ при торможении с постоянным ускорением $\varepsilon_{\text{т}}$

$$M_{\text{дин}} = -J_{\Sigma} \cdot \frac{d_{\text{т}}}{dt} = -1 \cdot 50 = -50 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Задача 1.1. Для механической системы подъемника, показанной на рис. 1.2.

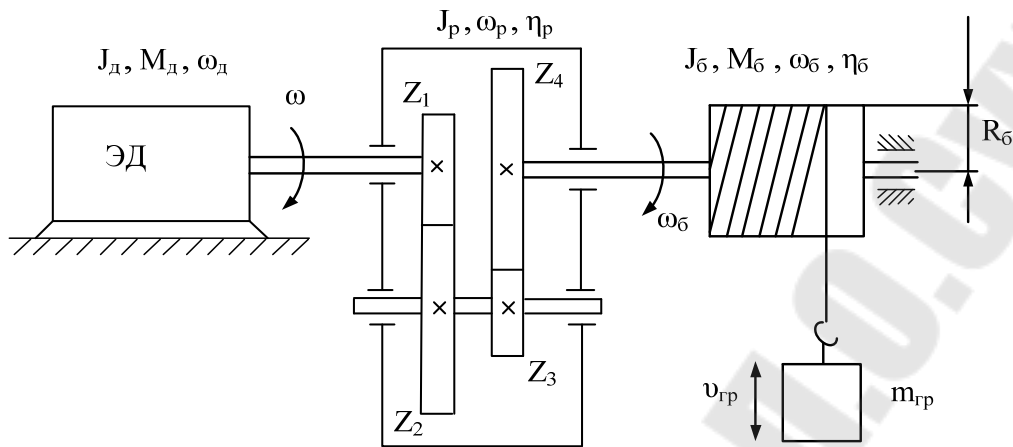


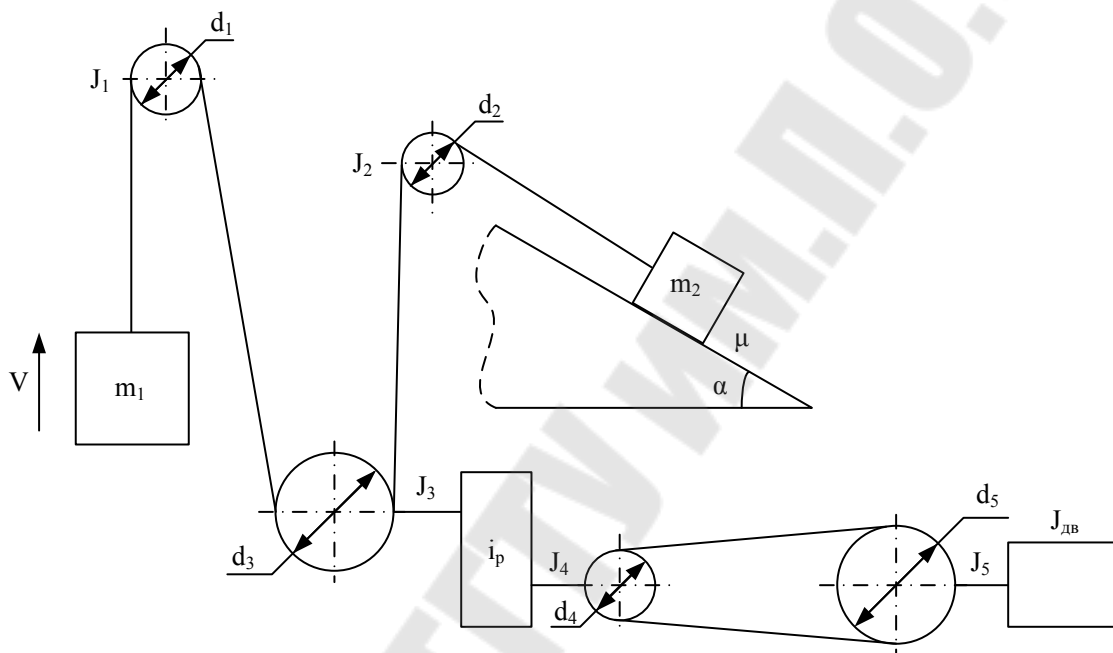
Рис. 1.2. Кинематическая схема механизма подъема

Заданы следующие исходные данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,08 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, барабана $J_b = 5,3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $J_{z2} = 0,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $J_{z3} = 0,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $J_{z4} = 1,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 24$, $z_2 = 120$, $z_3 = 30$, $z_4 = 180$; частота вращения вала $n_d = 1146 \text{ об/мин}$ двигателя; КПД редуктора $\eta_p = 0,91$ и барабана $\eta_b = 0,96$; диаметр барабана $D_b = 0,46 \text{ м}$, масса поднимаемого груза $m_{гр} = 350 \text{ кг}$, определить мощность на валу двигателя P_d , скорость подъема груза $v_{гр}$, приведенный к валу двигателя момент инерции J и оптимальное передаточное число $i_{\text{опт}}$ пары $z_1 - z_2$, при том же передаточном числе пары $z_3 - z_4$ с целью получения максимального ускорения промежуточного вала редуктора.

Задача 1.2. Для механической системы подъемника, показанной на рисунке 1.2 и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя $J_d = 0,35 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, промежуточного вала редуктора $J_p = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, барабана $J_b = 4,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и шестерен $J_{z1} = 0,33 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $J_{z2} = 1,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $J_{z3} = 0,33 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $J_{z4} = 1,47 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 34$, $z_2 = 170$; мощность на валу двигателя $P_d = 11,5 \text{ кВт}$; частота вращения промежуточного вала редуктора $n_p = 191 \text{ об/мин}$; КПД $\eta_b = 0,97$; диаметр $D_b = 0,5 \text{ м}$ барабана; скорость подъема

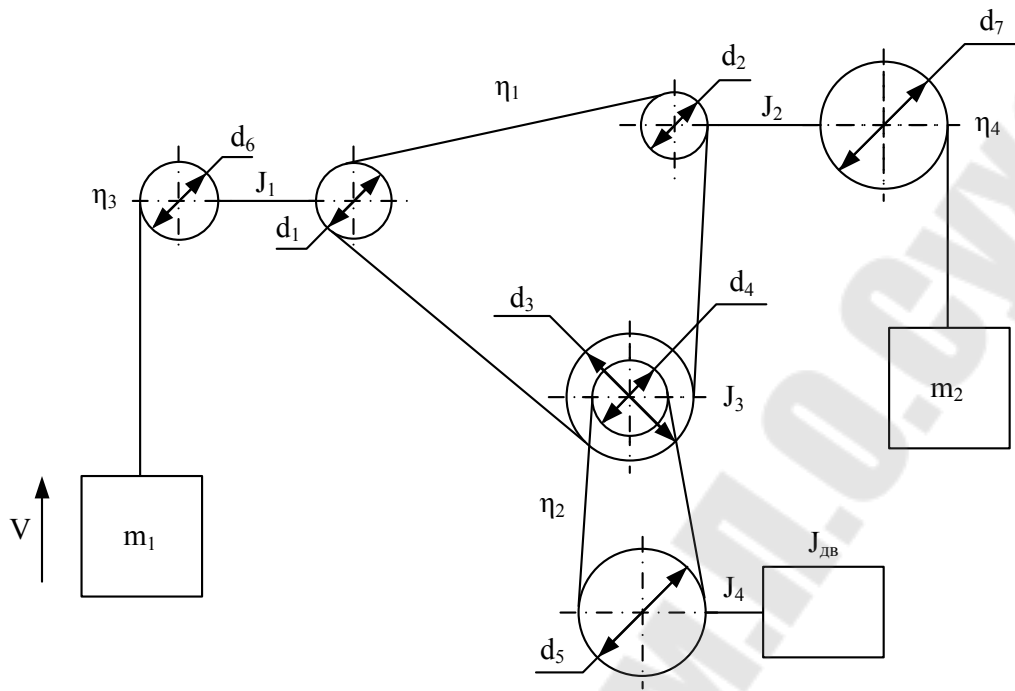
$v_{гр} = 0,75 \text{ м/с}$ и массу $m_{гр} = 830 \text{ кг}$ груза, определить частоту вращения вала n_6 двигателя, КПД редуктора η_p , приведенный к валу двигателя момент инерции J .

Задача 1.3. По представленной на рисунке кинематической схеме определить суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции J и момент на валу двигателя (M_c) при подъеме и опускании груза m_1



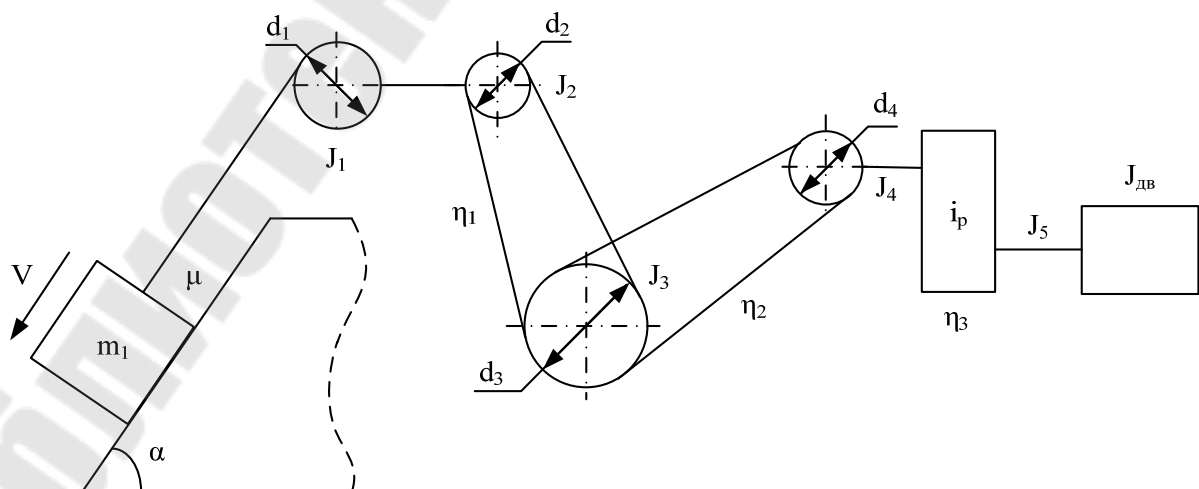
При заданных значениях: $v = 0,2 \text{ м/с}$; $m_1 = 130 \text{ кг}$; $d_1 = 20 \text{ см}$; $J_1 = 0,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $m_2 = 50 \text{ кг}$; $d_2 = 10 \text{ см}$; $J_2 = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $d_3 = 40 \text{ см}$; $J_3 = 0,35 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $d_4 = 15 \text{ см}$; $J_4 = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $d_5 = 25 \text{ см}$; $i_p = 22$; $J_p = 1,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $J_5 = 0,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $J_{дв} = 0,75 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $\alpha = 30^\circ$; $\mu = 0,03$.

Задача 1.4. По представленной на рисунке кинематической схеме определить: 1) суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции J ; 2) момент на валу двигателя (M_c) при подъеме и опускании груза m_1 ; 3) скорость вращения вала двигателя.



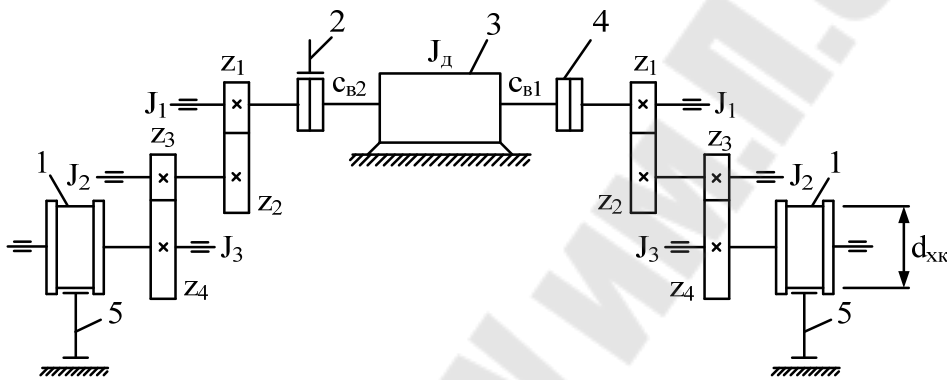
При заданных значениях: $v = 0,12 \text{ м/с}$; $m_1 = 200 \text{ кг}$; $d_1 = 10 \text{ см}$; $J_1 = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $m_2 = 40 \text{ кг}$; $d_2 = 10 \text{ см}$; $J_2 = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $d_3 = 40 \text{ см}$; $J_3 = 0,35 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $d_4 = 15 \text{ см}$; $J_4 = 0,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $d_5 = 45 \text{ см}$; $d_6 = 15 \text{ см}$; $d_7 = 35 \text{ см}$; $J_{\text{дв}} = 1,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $\eta_1 = 0,95$; $\eta_2 = 0,97$; $\eta_3 = \eta_4 = 0,92$.

Задача 1.5. По представленной на рисунке кинематической схеме определить: 1) суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции J ; 2) момент на валу двигателя (M_c) при подъеме и опускании груза m_1 ; 3) скорость вращения вала двигателя.



При заданных значениях: $v = 0,12$ м/с ; $m_1 = 800$ кг ; $d_1 = 20$ см ;
 $J_1 = 0,2$ кг·м² ; $\eta_1 = 0,95$; $d_2 = 10$ см ; $J_2 = 0,05$ кг·м² ; $\eta_2 = 0,97$;
 $d_3 = 40$ см ; $J_3 = 0,35$ кг·м² ; $\eta_3 = 0,98$; $d_4 = 15$ см ; $J_4 = 0,15$ кг·м² ;
 $i_p = 48$; $J_p = 1,5$ кг·м² ; $J_5 = 0,25$ кг·м² ; $J_{дв} = 0,75$ кг·м² ; $\alpha = 60^0$;
 $\mu = 0,1$.

Задача 1.6. Схема механической части ЭП тележки мостового крана приведена на рисунке.

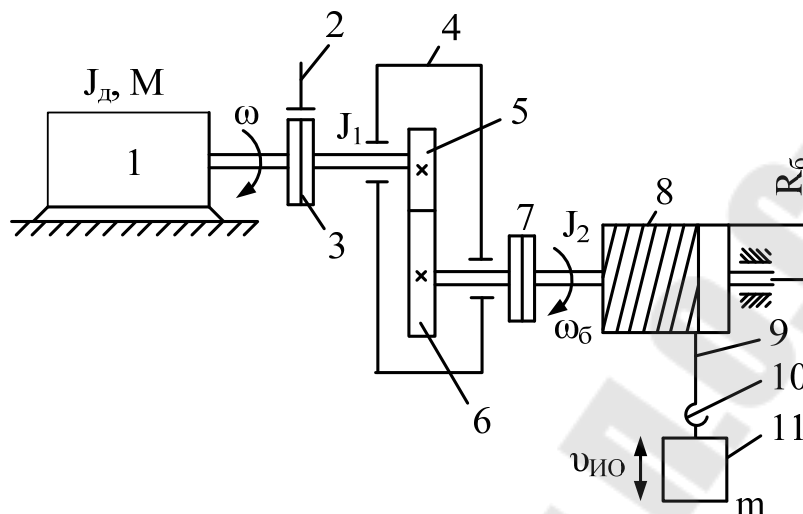


Определить суммарный момент инерции J и суммарный момент нагрузки M_c приведенные к валу двигателя. Исходные данные: скорость перемещения тележки $v_{ио} = 0,8$ м/с; диаметр ходовых колес $d_{хк} = 0,6$ м; общая масса тележки с грузом $m_T = 8500$ кг; сила сопротивления движению тележки $F_{ио} = 120000$ Н; $J_{д} = 0,1$ кг·м²; $J_1 = 0,15$ кг·м²; $J_2 = 0,01$ кг·м²; $J_3 = 0,05$ кг·м²; $z_1 = 20$; $z_2 = 79$; $z_3 = 16$; $z_4 = 83$; КПД одной шестеренчатой пары $\eta = 0,97$.

Задача 1.7. Определить суммарный момент сопротивления на валу двигателя, если в кинематической цепи производственного механизма присутствуют два тела, вращающиеся с частотами 250 об/мин и 175 об/мин и создающие моменты сопротивления 13 Н·м и 58 Н·м соответственно, а также одно поступательно движущееся тело, создающее усилие сопротивления 400 Н и перемещающееся со скоростью 3 м/с . Вал двигателя вращается с частотой 1470 об/мин .

Задача 1.8. По представленной схеме ЭП подъемной лебедки требуется получить одномассовую расчетную схему при следующих

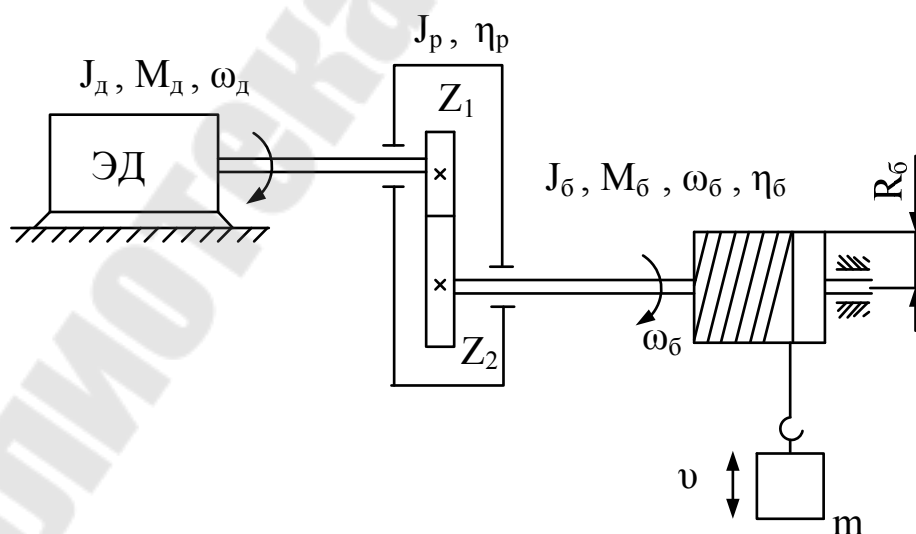
допущениях: все элементы кинематической схемы являются абсолютно жесткими и между ними отсутствуют зазоры.



В качестве элемента привода взять вал двигателя, операцию приведения выполнить для случая подъема груза.

Исходные данные: момент инерции двигателя $J_d = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; момент инерции муфты 3 и шестерни 5 $J_1 = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; момент инерции шестерни 6, муфты 7 и барабана 8 $J_2 = 2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $m = 1000 \text{ кг}$; радиус барабана лебедки $R_6 = 1,15 \text{ м}$; числа зубцов шестерен 5 и 6 соответственно $z_1 = 14$, $z_2 = 86$; КПД редуктора 4 $\eta_p = 0,97$; КПД барабана лебедки $\eta_6 = 0,96$; ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Задача 1.9



Для механической системы подъемника, показанной на рисунке и имеющей следующие данные: моменты инерции вала двигателя

$J_d = 0,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; промежуточного вала редуктора $J_p = 1,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; барабана $J_b = 2,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; число зубьев шестерен $z_1 = 42$ $z_2 = 78$ частота вращения вала $n_d = 970$ об/мин двигателя; КПД редуктора и барабана $\eta_b = 0,95$; диаметр барабана $D_b = 0,4$ м, масса поднимаемого груза $m_{гр} = 450$ кг, определить мощность на валу двигателя P_d , скорость подъема груза $v_{гр}$, приведенный к валу двигателя момент инерции J .

Задача 1.10. К валу двигателя, вращающемуся с частотой $n_p = 60$ об/мин, жестко присоединен барабан, на который наматывается трос, на конце которого подвешен груз массой 1500 кг. Скорость движения груза составляет $1,5$ м/с. Определить приведенный к валу двигателя момент инерции груза.

Задача 1.11. К валу двигателя, вращающемуся с частотой $n_p = 720$ об/мин, жестко присоединен барабан, на который наматывается трос, на конце которого подвешен груз массой 1000 кг. Определить приведенный к валу двигателя момент сопротивления груза, если радиус барабана равен 50 см.

2. Электромеханические свойства электродвигателей

Электромеханические свойства электропривода без обратных связей в основном определяются характеристиками двигателя. В ЭП постоянного тока наиболее широкое применение нашли двигатели с независимым возбуждением (ДПТ НВ), которые и рассматриваются далее.

Момент на валу ДПТ НВ определяется выражением

$$M = \frac{P}{\omega}.$$

Номинальный момент двигателя постоянного тока (ДПТ) M_H , возникающий в результате взаимодействия номинального магнитного потока Φ_H с номинальным током якоря I_H

$$M_H = c\Phi_H \cdot I_H,$$

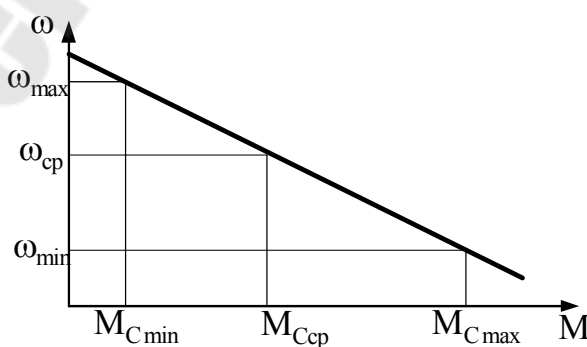
где c - конструктивная постоянная двигателя.

Скорость ДПТ НВ определяется по выражению

$$\omega = \frac{U - R_{\text{я}} \cdot I}{c\Phi} = \frac{U_H}{c\Phi_H} - \frac{R_{\text{я}} \cdot I}{c\Phi_H} = \omega_0 - \Delta\omega.$$

Погрешность получения (регулирования) скорости – отношение максимального отклонения скорости к среднему значению

$$\Delta\omega_{\%} = \frac{\Delta\omega_{\text{max}}}{\omega_{\text{cp}}} \cdot 100\% = \frac{\omega_{\text{max}} - \omega_{\text{min}}}{2\omega_{\text{cp}}} \cdot 100\%$$

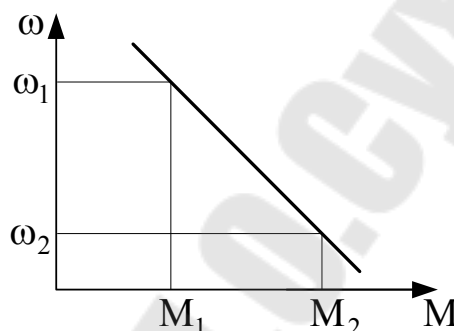


Модуль жесткости механической характеристики – это отклонение момента при изменении скорости:

$$\beta = \left| \frac{dM}{d\omega} \right|$$

При линейной характеристике: $\beta = \left| \frac{M_1 - M_2}{\omega_1 - \omega_2} \right|$.

Для ДПТ НВ: $\beta = \frac{(c\Phi)^2}{R_{яд}}$



В ЭП переменного тока наиболее широкое распространение получили асинхронные трехфазный двигатели с короткозамкнутым ротором.

Синхронная скорость определяется выражением $\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p_d}$.

Скольжение асинхронной машины $s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$.

Электромагнитная мощность, передаваемая магнитным полем в ротор: $P_{12} = M(\omega_0 - \omega) = M \cdot \omega_0 \cdot s$. В соответствии со схемой замещения она расходуется на потери в роторной цепи:

$$\Delta p_2 = P_{12} = m_1 (\Gamma'_2)^2 R'_{2\Sigma},$$

где m_1 - число фаз статора.

Ток статора будет определяться выражением

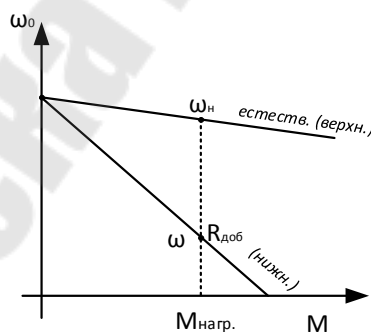
$$I_1 = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_{2\Sigma}/s)^2 + (X_1 + X'_2)^2}}.$$

Уравнение механической характеристики АД:

$$M = \frac{p_d \cdot m_1 \cdot U_1^2 \cdot \frac{R'_{2\Sigma}}{s}}{2\pi \cdot f_1 \cdot \left[(R_1 + \frac{R'_{2\Sigma}}{s})^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]}.$$

Пример 2.1. Определить статизм нижней характеристики при реостатном регулировании ДПТ НВ, если диапазон регулирования составляет $D = 2,5$. Момент нагрузки постоянен и равен номинальному моменту двигателя $M_H = 150 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Статизм верхней характеристики диапазона $S = 0,1$. Частота вращения на верхней характеристике $n_0 = 1500 \text{ об/мин}$.

<p>Дано:</p> <p>ДПТ НВ</p> <p>$D = 2,5$</p> <p>$M_H = 150 \text{ Н} \cdot \text{м}$</p> <p>$S = 0,1$</p> <p>$n_0 = 1500 \text{ об/мин}$</p> <hr/> <p>$S_{\text{нижн}} - ?$</p>	<p>Решение:</p> $\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} = 157,1 \text{ рад/с};$ $S = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0} \Rightarrow \frac{\omega_H}{\omega_0} = 1 - S \Rightarrow$ $\omega_H = (1 - S) \cdot \omega_0 = (1 - 0,1) \cdot 157,1 = 141,4 \text{ рад/с};$ $D = \frac{\omega_{\text{H верх}}}{\omega_{\text{H нижн}}} \Rightarrow$ $\omega_{\text{H нижн}} = \frac{\omega_{\text{H верх}}}{\Delta} = \frac{141,5}{2,5} = 56,56 \text{ рад/с};$ $S_{\text{нижн}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{H нижн}}}{\omega_0} = \frac{157,1 - 56,56}{157,1} = 0,64.$
---	---



Ответ: $S_{\text{нижн}} = 0,64$.

Пример 2.2. Асинхронный двигатель типа МТКН 412 — 6 имеет следующие паспортные данные: $P_{\text{ном}} = 36 \text{ кВт}$ при продолжительности включения ПВ = 25 %; $n_{\text{ном}} = 920 \text{ об/мин}$; $I_{\text{ном}} = 81 \text{ А}$; $I_{\mu} = I_{1x.x} = 41,5 \text{ А}$; $R_1' = 0,13 \text{ Ом}$; $x_1 = 0,2 \text{ Ом}$; $R_2'' = 0,24 \text{ Ом}$; $x_2 = 0,25 \text{ Ом}$.

Определить коэффициент мощности при его работе на естественной характеристике с моментом нагрузки $M_c = 0,5 \cdot M_n$.

Дано:	Решение:
$P_{\text{НОМ}} = 36 \text{ кВт}$	Определяем скорости в режимах идеального холостого хода и при номинальной нагрузке
$\text{ПВ} = 25 \%$	$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / p = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 / 3 = 105 \text{ рад/с.}$
$n_{\text{НОМ}} = 920 \text{ об/мин}$	$\omega_{\text{НОМ}} = \pi \cdot n_{\text{НОМ}} / 30 = 3,14 \cdot 920 / 30 = 96,3 \text{ рад/с.}$
$I_{\text{НОМ}} = 81 \text{ А}$	Находим номинальные скольжение и момент двигателя
$I_{\mu} = I_{1x.x} = 41,5 \text{ А}$	$s_{\text{НОМ}} = (\omega - \omega_{\text{НОМ}}) / \omega_0 = (105 - 96,3) / 105 = 0,08.$
$R'_1 = 0,13 \text{ Ом}$	$M_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} / \omega_{\text{НОМ}} = 36000 / 96,3 = 374 \text{ Н} \cdot \text{м.}$
$x_i = 0,2 \text{ Ом}$	Рассчитываем скольжение на естественной характеристике, соответствующее моменту нагрузки $0,5M_{\text{НОМ}} = 0,5 \cdot 374 = 187 \text{ Н} \cdot \text{м}$, принимая рабочий участок характеристики линейным
$R''_2 = 0,24 \text{ Ом}$	$s_c = s_{\text{НОМ}} M_c / M_{\text{НОМ}} = 0,08 \cdot 0,5 = 0,04.$
$x_2 = 0,25 \text{ Ом}$	
$\cos \varphi - ?$	

Определяем приведенный ток в роторе двигателя при моменте нагрузки $M_c = 187 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

$$I'_2 = \sqrt{M_c \cdot \omega_0 \cdot s_c / 3 \cdot R'_2} = \sqrt{187 \cdot 105 \cdot 0,04 / (3 \cdot 0,24)} = 33 \text{ А}.$$

Определяем номинальную активную потребляемую мощность

$$P_{1н} = 3 \cdot U_{1ф} \cdot I_{1н} \cdot \cos \varphi_n = 3 \cdot 220 \cdot 81 \cdot 0,82 = 43873 \text{ кВт}.$$

Вычисляем полные номинальные потери мощности

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = P_{1н} - P_{\text{НОМ}} = 43873 - 36000 = 7873 \text{ Вт}.$$

Находим номинальный приведенный ток ротора

$$I'_{2H} = \sqrt{M_{\text{НОМ}} \cdot \omega_0 \cdot s_{\text{НОМ}} / (3 \cdot R'_2)} = \sqrt{374 \cdot 105 \cdot 0,08 / (3 \cdot 0,24)} = 66 \text{ А.}$$

Определяем постоянные потери мощности

$$\begin{aligned} K &= \Delta P_{\text{НОМ}} - 3 \cdot I_{1H}^2 \cdot R'_1 - 3 \cdot I_{2H}'^2 \cdot R''_2 = \\ &= 7837 - 3 \cdot 81^2 \cdot 0,13 - 3 \cdot 66^2 \cdot 0,24 = 2142 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Потребляемая активная мощность при заданном моменте нагрузки равна

$$\begin{aligned} P_a &= M_c \cdot \omega_c + K + 3 \cdot I_{2H}'^2 \cdot (R'_1 + R''_2) = \\ &= 187 \cdot 105 \cdot (1 - 0,04) + 2142 + 3 \cdot 33^2 \cdot (0,13 + 0,24) = 22200 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Находим реактивную мощность

$$Q = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{1x.x} + 3 \cdot I_2'^2 \cdot x_k = 3 \cdot 220 \cdot 41,5 + 3 \cdot 33^2 \cdot 0,45 = 28860 \text{ Вар.}$$

Определяем искомый коэффициент мощности при работе двигателя в заданной точке

$$\cos \varphi = P_a / \sqrt{P_a^2 + Q^2} = 22200 / \sqrt{22200^2 + 28860^2} = 0,57.$$

Ответ: 0,57.

Задача 2.1. Определить диапазон регулирования ДПТ НВ путем изменения напряжения на якоре, если механическая характеристика нагрузки задана зависимостью $M(\omega) = 0,8 \cdot \omega$, частота вращения холостого хода верхней механической характеристики диапазона $n_{0в} = 2500$ об/мин, частота вращения холостого хода нижней механической характеристики диапазона $n_{0н} = 500$ об/мин, а жесткость верхней характеристики $\beta = 40$.

Задача 2.2. Для ДПТ НВ определить жесткость нижней механической характеристики диапазона при регулировании напряжением на якоре, если диапазон регулирования $D = 100$, момент сопротивления постоянен и равен $M_c = 250$ Н·м, частота вращения холостого хода верхней механической характеристики диапазона $n_{0в} = 1500$ об/мин, а рабочая частота вращения на верхней характеристике $n_p = 1450$ об/мин.

Задача 2.3. Определить статизм нижней характеристики диапазона регулирования при реостатном регулировании ДПТ НВ, если диапазон составляет $D = 2,5$ при постоянном моменте сопротивления, равном $M_c = 100$ Н·м, статизм верхней характеристики диапазона $s_v = 0,2$, частота вращения холостого хода верхней механической характеристики диапазона $n_{0в} = 2000$ об/мин, а номинальный момент двигателя $M_n = 250$ Н·м.

Задача 2.4. Определить отношение добавочного сопротивления в цепи якоря на нижней характеристике диапазона регулирования к сопротивлению якоря двигателя при реостатном регулировании ДПТ НВ, если жесткость нижней характеристики в пять раз меньше жесткости естественной.

Задача 2.5. Определить диапазон регулирования ДПТ НВ путем изменения напряжения на якоре, если механическая характеристика нагрузки задана зависимостью $M(\omega) = 0,9 \cdot \omega$, частота вращения холостого хода верхней механической характеристики диапазона $n_{0в} = 1500$ об/мин, частота вращения холостого хода нижней механи-

ческой характеристики диапазона $n_{0H} = 500$ об/мин, а жесткость верхней характеристики $\beta = 30$.

Задача 2.6. Определить статизм нижней характеристики диапазона регулирования при реостатном регулировании ДПТ НВ, если диапазон составляет $D = 3$ при постоянном моменте сопротивления, равном $M_c = 200$ Н·м, статизм верхней характеристики диапазона $s_B = 0,1$, частота вращения холостого хода верхней механической характеристики диапазона $n_{0B} = 1900$ об/мин, а номинальный момент двигателя $M_H = 250$ Н·м.

Задача 2.7. Определить во сколько раз необходимо изменить напряжение на якоре ДПТ НВ для получения искусственной характеристики со статизмом $s_X = 0,1$, если на естественной характеристике частота вращения холостого хода $n_{0B} = 1800$ об/мин, а частота вращения при номинальном моменте $M_H = 250$ Н·м составляет $n_H = 1600$ об/мин. Момент сопротивления считать постоянным.

Задача 2.8. Для ДПТ НВ определить жесткость нижней механической характеристики диапазона при регулировании напряжением на якоре, если диапазон регулирования $D = 200$, момент сопротивления постоянен и равен $M_c = 80$ Н·м, частота вращения холостого хода верхней механической характеристики диапазона $n_{0B} = 2900$ об/мин, а рабочая частота вращения на верхней характеристике $n_p = 2750$ об/мин.

Задача 2.9. Для регулирования путем изменения напряжения якорной цепи используется тиристорный преобразователь, выполненный по трехфазной мостовой схеме. Как изменится статизм механической характеристики привода, если угол отпирания тиристоров увеличить с 30° до 60° . При угле отпирания 30° статизм характеристик составлял $s_X = 0,05$, при частоте вращения холостого хода $n_0 = 2000$ об/мин и номинальном моменте двигателя $M_H = 250$ Н·м.

Задача 2.10. Для регулирования путём изменения напряжения якорной цепи используется тиристорный преобразователь, выполненный по трёхфазной мостовой схеме. Какой необходим угол отпирания тиристоров для получения диапазона регулирования скорости $D = 50$, если при угле отпирания 30° статизм верхней характеристики диапазона составляет $s_x = 0,1$, при частоте вращения холостого хода $n_0 = 3000$ об/мин и номинальном моменте двигателя $M_H = 350$ Н·м. Момент сопротивления определяется зависимостью $M_c(\omega) = 0,8 \cdot \omega$.

Задача 2.11. Двигатель типа 2ПФ250 имеет следующие паспортные данные: $U_{ном} = 220$ В; $P_{ном} = 45$ кВт; $n_{ном} = 1000$ об/мин; $I_{ном} = 233$ А. Рассчитать и построить электромеханическую и механическую характеристики двигателя при питании его от ТП с внутренним сопротивлением $R_{п} = 0,1$ Ом при $E_d = U_{ном}$. Определить величину E_d , при которой механическая характеристика пройдет через точку с координатами: $\omega_{и} = 30$ рад/с; $M_{и} = 400$ Н·м, и построить эту характеристику. Определить для рассчитанной E_d угол управления тиристорами α , приняв $E_{d0} = 220$ В.

Задача 2.12. Считая рабочий участок механической характеристики АД при частотном регулировании линейным определить статизм нижней характеристики, если при вентиляторной нагрузке, имеющей вид $M_c(\omega) = 0,8 \cdot \omega^2$, рабочая частота вращения на нижней характеристике $n_p = 350$ об/мин, а жесткость верхней характеристики диапазона $\beta = 50$. Номинальный момент двигателя $M_H = 250$ Н·м.

Задача 2.13. В электроприводе с отрицательной обратной связью по скорости двигатель имеет следующие номинальные данные: номинальная мощность $P_{ном} = 8$ кВт; напряжение питания $U_{ном} = 220$ В; номинальная скорость $\omega_{ном} = 157$ рад/с; номинальный ток якоря $I_{ном} = 43,5$ А. Преобразователь имеет коэффициент усиления $k_{п} = 23$, а коэффициент передачи тахогенератора $\gamma = 0,2$ В/(рад/с). Требуется рассчитать коэффициент усиления регулятора скорости $k_{рс}$, при котором жесткость механической характеристики возрастет в 9,5 раз.

3. Выбор электродвигателей по мощности и проверка их по нагреву

Для расчета мощности электропривода используются нагрузочные диаграммы и диаграмма скорости (тахограмма). В рабочих машинах режимы ЭД различны по изменению нагрузки, скорости, длительности и по другим факторам. С учетом всего разнообразия для серийных ЭД разработано 8 номинальных режимов. В справочниках и каталогах приводятся данные двигателей с указанием нормированных значений параметров режима. Поэтому, при выборе конкретного типоразмера переменные, определяемые по нагрузочным диаграммам реального режима, приводят к нормированным параметрам одного из номинальных.

К основным номинальным режимам относятся:

- 1) S1. Продолжительный номинальный режим работы;
- 2) S2. Кратковременный номинальный режим работы;
- 3) S3. Повторно-кратковременный номинальный режим.

Повторно-кратковременный режим характеризуется тем, что периоды неизменной номинальной нагрузки чередуются с периодами отключения. Причем, как рабочие периоды, так и периоды отключения не настолько длительны, что превышения температур частей электрической машины могли достигнуть установившихся значений (рис.3.1).

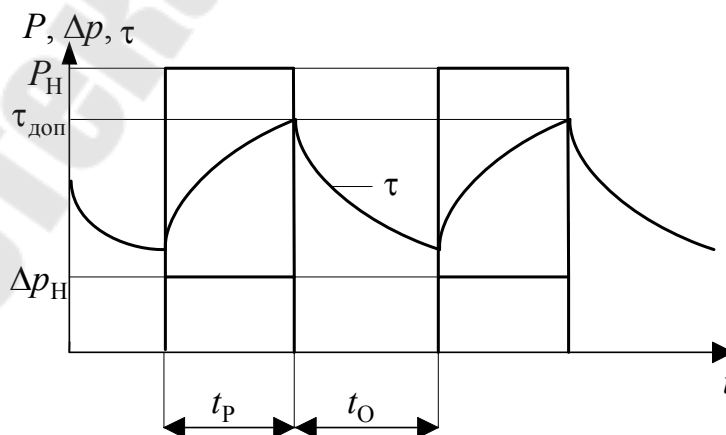


Рис. 3.1. Диаграммы для повторно-кратковременного режима

Режимы характеризуются коэффициентом продолжительности включения:

$$ПВ = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100 \% = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}} \cdot 100 \% . \quad (3.1)$$

И длительностью цикла $t_{\text{ц}} \leq 10$ мин. Нормированные значения $ПВ_{\text{н}}=15, 25, 40$ и 60% . Если для реального режима $t_{\text{ц}} > 10$ мин, то его надо приводить к какому-либо продолжительному режиму. Когда $ПВ < 15 \%$, то его часто приводят к S2.

Метод средних потерь

В соответствии с уравнением теплового баланса потери мощности однозначно определяют превышение температуры ЭД. Для основной массы режимов ЭП рабочих машин среднее значение температуры двигателя незначительно отличается от максимального значения, т.к. обычно длительность участков с различной нагрузкой $t_p < T_{\text{н}}$. Поэтому при выборе и проверке ЭД достаточно определить среднее значение $\tau_{\text{ср}}$, которое не должно превысить допустимое $\tau_{\text{доп}}$. Используя линейную модель нагрева:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{\Delta p_{\text{ср}}}{A} \leq \tau_{\text{доп}} = \frac{\Delta p_{\text{н}}}{A} , \quad (3.2)$$

где $\Delta p_{\text{ср}}$ - средние потери в реальном режиме,

$\Delta p_{\text{н}}$ - потери в номинальном режиме для выбранного ЭД.

Для правильного выбора необходимо выполнение условия:

$$\Delta p_{\text{ср}} \leq \Delta p_{\text{н}} . \quad (3.3)$$

Имея нагрузочную диаграмму в виде зависимости $P(t)$ можно рассчитать потери мощности на каждом участке Δp_i для предварительно выбранного ЭД и определить:

$$\Delta p_{\text{cp}} = \frac{\sum \Delta p_i \cdot t_i}{t_{\text{ц}}}. \quad (3.4)$$

Для правильного выбора:

$$\Delta p_{\text{cp}} \leq \Delta p_{\text{H}} = P_{\text{H}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{H}}} - 1 \right). \quad (3.5)$$

Порядок вычислений:

1. По нагрузочной диаграмме исполнительного механизма определяется средняя мощность или средний момент

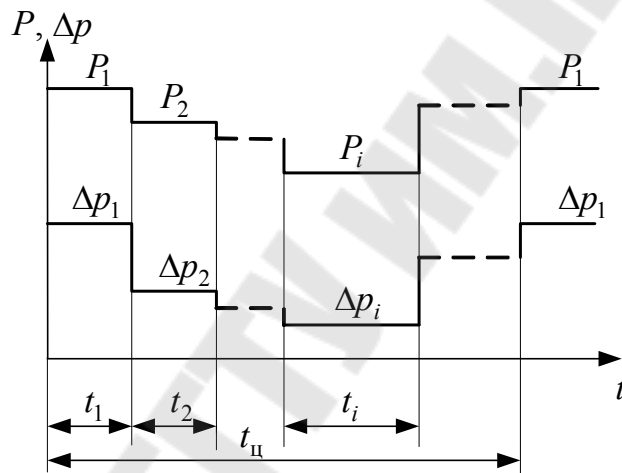


Рис. 3.2. Нагрузочная диаграмма механизма

$$P_{\text{C.ср}} = \frac{\sum P_{\text{Ci}} \cdot t_i}{t_{\text{ц}}},$$

где P_{Ci} – статическая нагрузка на i -м участке диаграммы.

$$M_{\text{C.ср}} = \frac{\sum M_{\text{Ci}} \cdot t_i}{t_{\text{ц}}},$$

где M_{Ci} – статический момент на i -м участке диаграммы.

2. Предварительно выбирают ЭД из условий

$$P_H \geq k_{зД} \cdot P_{C,ср}, \quad \text{или} \quad \frac{P_H}{\omega_H} \geq k_{зД} \cdot M_{C,ср},$$

где $k_{зД} = 1,1 \dots 1,3$ коэффициент запаса, учитывающий динамические потери.

3. Строится упрощенная диаграмма ЭД $P(t)$ или $M(t)$ принимая, что в переходных процессах скорость меняется линейно, а динамический момент на этих участках:

$$M_{Ди} = \text{Const} \quad \text{или} \quad P_{Ди} = P_{Ci} + M_{Ди} \cdot \frac{\omega_{начi} + \omega_{конi}}{2}.$$

4. По зависимости $\eta(P_2)$ или другим методом находят потери мощности на каждом участке Δp_i . Зависимость $\eta(P_2)$ в каталогах иногда приводится в виде значений КПД при различной нагрузке ЭД.

5. По (3.4) определяют средние потери и сравнивают с номинальными. Если (3.5) выполняется с большим запасом, то ЭД недоиспользуется. При невыполнении он будет работать с перегревом. В обоих случаях выбирают другой типоразмер и расчет повторяют.

Метод эквивалентного тока

Его применяют, когда постоянные потери неизменны: $\Delta p_c = \text{Const}$, а полные потери определить трудно. Средние потери за время цикла работы можно представить:

$$\Delta p_{ср} = \Delta p_c + I_3^2 \cdot R,$$

где I_3 – эквивалентный по условиям нагрева ток, определяемый

$$I_3 = \sqrt{\frac{\sum_i I_i^2 \cdot t_i}{t_{ц}}},$$

или при учете зависимости $i(t)$ в переходных процессах:

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{1}{t_{\text{ц}}} \cdot \int_0^{t_{\text{ц}}} i^2(t) dt}.$$

ЭД выбран правильно, если выполняется условие $I_{\text{э}} \leq I_{\text{н}}$.

Метод эквивалентного момента

При постоянном магнитном потоке ($\Phi = \text{Const}$) момент ЭД пропорционален потоку. При сохранении ограничения для предыдущего метода ограничения ($\Delta p_c = \text{Const}$), получаем выражение:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_i M_i^2 \cdot t_i}{t_{\text{ц}}}}.$$

ЭД выбран правильно, если выполняется условие $M_{\text{э}} \leq M_{\text{н}}$.

Метод эквивалентной мощности

Если ЭД обладает жесткой механической характеристикой и допустимо считать скорость неизменной ($\omega = \text{const}$), то при сохранении условий для предыдущих методов мощность пропорциональна моменту, а эквивалентная за цикл определяется выражением

$$P_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_i P_i^2 \cdot t_i}{t_{\text{ц}}}}.$$

При правильном выборе должно выполняться условие $P_{\text{э}} \leq P_{\text{н}}$.

У АД ток статора не пропорционален току ротора, поэтому использование данного метода требует учета изменения $\cos \phi$ и η .

Учет ухудшения условий охлаждения

При работе ЭД с переменной скоростью ухудшаются условия охлаждения, уменьшается теплоотдача, а постоянная времени нагрева

увеличивается. В результате увеличивается среднее значение превышения температуры $\tau_{\text{ср}}$ за цикл. В соответствии с линейной моделью в установившемся тепловом режиме:

$$\sum_i \Delta p_i t_i = \left(\sum_i A t_i \right) \tau'_{\text{ср}},$$

где $\tau'_{\text{ср}}$ - среднее превышение температуры за цикл с учетом ухудшения условий охлаждения. Т.е. количество тепла выделяемого в ЭД равно количеству тепла, отдаваемому в окружающую среду.

$$\tau'_{\text{ср}} = \frac{\sum_i \Delta p_i \cdot t_i}{\sum_i \beta_i \cdot t_i}.$$

И для правильного выбора необходимо $\tau'_{\text{ср}} \leq \tau_{\text{доп}}$.

Теперь, учитывая ухудшение условий охлаждения, длительность цикла рассчитывается:

$$t_{\text{ц}} = \sum_i \beta_i \cdot t_i,$$

где $\beta_i = \beta_0 + (1 - \beta_0) \cdot \frac{\omega_i}{\omega_{\text{H}}}$.

Выбор электродвигателя для повторно-кратковременного режима.

Для ЭД с номинальным режимом S3, как и в кратковременном режиме, диаграмма приводится к одноучастковой. Средние потери и эквивалентная величина не должны вызывать недопустимый нагрев. Принимая, что при $t_{\text{ц}} < 10$ мин время работы много меньше постоянной времени нагрева, условие правильного выбора может быть записано:

$$\Delta p_{\text{э.п}} \leq \frac{\Delta p_{\text{H}} \cdot \text{ПВ}_{\text{H}}}{\text{ПВ}}, \quad \text{или} \quad X_{\text{э.п}} \leq X_{\text{H}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}_{\text{H}}}{\text{ПВ}}},$$

где ПВ_{H} - нормированное значение продолжительности включения;
 ПВ - действительное значение для рассматриваемого режима.

Пример 3.1. Для расчёта нагрузочной диаграммы, показанной на рис 3.1 выбрать крановый асинхронный двигатель типа МТФ с синхронной частотой вращения $n_0 = 1000$ об/мин для сети с напряжением $U_{ном} = 380$ В.

Выбранный двигатель проверить на перегрузку и на нагрев, если коэффициент потерь $a = 0,3$.

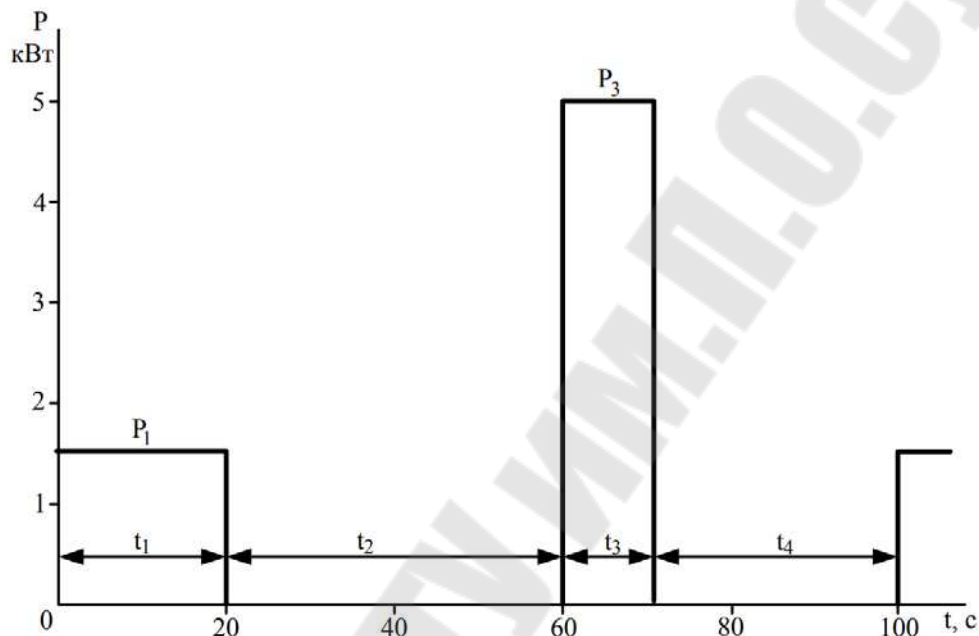


Рис. 3.3. Нагрузочная диаграмма электропривода

Решение

1. Для выбора электродвигателя определим:

Эквивалентную мощность

$$P'_3 = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_3}} = \sqrt{\frac{2,5^2 \cdot 20 + 5^2 \cdot 10}{20 + 10}} = 3,54 \text{ кВт.}$$

Продолжительность включения

$$\text{ПВ}\% = \frac{t_1 + t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} \cdot 100\% = \frac{20 + 10}{20 + 40 + 10 + 30} \cdot 100\% = 30\%.$$

Мощность электродвигателя, приведенная к нормативной
 $\text{ПВ}\% = 25\%$.

$$P_3 = P_3' \sqrt{\frac{P_B}{P_{B_H}}} = 3,54 \sqrt{\frac{30}{25}} = 3,87 \text{ кВт}$$

Выбираем электродвигатель серии МТФ 111-6 с паспортными данными:

$$P_{\text{НОМ}} = 4,1 \text{ кВт}$$

$$I_1 = 10,4 \text{ А}$$

$$\eta_{\text{НОМ}} = 70\%$$

$$n_{\text{НОМ}} = 895 \text{ об/мин}$$

$$\cos \varphi = 0,73$$

$$M_K / M_{\text{НОМ}} = 1,9$$

2. Для проверки двигателя на перегрузочную способность определим:

$$\text{Номинальный момент } M_{\text{НОМ}} = 9,55 \frac{P_{\text{НОМ}}}{n_{\text{НОМ}}} = 9,55 \frac{4,1 \cdot 10^3}{895} = 43,75 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\text{Критический момент } M_K = 1,9 \cdot M_{\text{НОМ}} = 1,9 \cdot 43,75 = 83,12 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Частоту вращения на участке с наибольшей нагрузкой (3-й участок $P = 5 \text{ кВт}$). Для этого, считая рабочую часть механической характеристики линейной, составим пропорцию:

$$\frac{S_{\text{НОМ}}}{S_3} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{P_3}; \quad \text{или} \quad \frac{n_0 - n_{\text{НОМ}}}{n_0} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{P_3};$$

$$n_3 = n_0 - \frac{P_3}{P_{\text{НОМ}}} (n_0 - n_{\text{НОМ}}) = 1000 - \frac{5}{4,1} \cdot (1000 - 895) = 872 \text{ об/мин}$$

Наибольший момент нагрузки

$$M_{3m} = 9,55 \cdot \frac{P_3}{n_3} = 9,55 \cdot \frac{5 \cdot 10^3}{872} = 54,76 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$M_{3m} 54,76 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_K = 83,12 \text{ Н} \cdot \text{м}$ - двигатель выдержит нагрузку.

3. Для проверки электродвигателя на перегрев определим:
Номинальную мощность потерь

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{НОМ}}} - 1 \right) = 4,1 \cdot \left(\frac{1}{0,7} - 1 \right) = 1,76 \text{ кВт.}$$

Мощность потерь

$$V_{\text{НОМ}} = \frac{\Delta P_{\text{НОМ}}}{1 + a} = \frac{1,76}{1 + 0,3} = 1,35 \text{ кВт.}$$

Мощность потерь на участках

$$\Delta P_1 = K + V_{\text{НОМ}} \cdot \left(\frac{P_1}{P_{\text{НОМ}}} \right)^2 = 0,41 + 1,35 \cdot \left(\frac{2,5}{4,1} \right)^2 = 0,91 \text{ кВт.}$$

Мощность средних потерь

$$P'_{\text{ср}} = \frac{\Delta P_1 \cdot t_1 + \Delta P_3 \cdot t_3}{t_1 + t_3} = \frac{0,91 \cdot 20 + 2,42 \cdot 10}{20 + 10} = 1,41 \text{ кВт.}$$

Мощность средних потерь, приведённая к нормативной ПВ% = 25% :

$$\Delta P_{\text{ср}} = \Delta P'_{\text{ср}} \sqrt{\frac{\text{ПВ}}{\text{ПВ}_н}} = 1,41 \cdot \frac{30}{25} = 1,7 \text{ кВт,}$$

т.е. $\Delta P_{\text{ср}} = 1,7 \text{ кВт} < \Delta P_{\text{НОМ}} = 1,76 \text{ кВт}$ - двигатель будет работать в нормальном тепловом режиме.

Задача 4.1. Двигатель постоянного тока типа 2ППФ20 имеет следующие паспортные данные: $P_{\text{ном}} = 30$ кВт; $n_{\text{ном}} = 2200$ об/мин; $U_{\text{ном}} = 440$ В; $I_{\text{ном}} = 74$ А; $\eta_{\text{ном}} = 90\%$. Оценить тепловой режим двигателя при его работе по следующему циклу: время первого участка $t_1 = 12$ мин, момент нагрузки $M_{c1} = 120$ Н·м; время второго участка $t_2 = 25$ мин, момент нагрузки $M_{c2} = 145$ Н·м; время третьего участка $t_3 = 18$ мин, момент нагрузки $M_{c3} = 100$ Н·м. Ток возбуждения и сопротивление якорной цепи не изменяются.

Задача 4.2. Оценить тепловой режим двигателя, работающего по следующей нагрузочной диаграмме: $t_1 = 5$ с; $M_1 = 25$ Н·м; $t_2 = 10$ с; $M_2 = 17$ Н·м; $t_0 = 35$ с. Коэффициент ухудшения теплоотдачи в периоды пуска и торможения 0,75; коэффициент, учитывающий ухудшение теплообмена при остановке 0,5. Данные двигателя при $PV_{\text{ст}} = 25\%$; $P_{\text{н}} = 2$ кВт; $\omega_{\text{н}} = 100$ рад/с.

Задача 4.3. Определить коэффициент увеличения мощности двигателя продолжительного режима при работе в кратковременном режиме. Постоянная времени нагрева двигателя $T_{\text{н}} = 60$ мин. Определить коэффициент термической и механической перегрузки двигателя при кратковременном режиме при $t_p = 30$ мин и соотношении потерь $a_{\text{п}} = 60$.

Задача 4.4. Определить коэффициент увеличения мощности двигателя продолжительного режима при работе в кратковременном режиме. Постоянная времени нагрева двигателя $T_{\text{н}} = 60$ мин. Найти коэффициент термической и механической перегрузки двигателя при кратковременном режиме при $t_p = 30$ мин и $t_p = 60$ мин (соотношение потерь $\alpha_p = 1$ и $a_p = 0$).

Задача 4.5. Асинхронный двигатель краново-металлургической серии типа МТКВ 511–8 номинальные мощность $P_{\text{ном}} = 28$ кВт при $PV_{\text{ном}} = 25\%$ и скорость $n_{\text{ном}} = 700$ об/мин. Оценить нагрев двигателя, если он будет периодически включаться на 3 мин и преодолевать при этом момент нагрузки $M_c = 350$ Н·м, после чего будет отклю-

чаться на 5 мин. Данный цикл работы относится к повторно-кратковременному режиму.

Задача 4.6. При продолжительности включения $PВ = 25\%$ номинальный момент двигателя равен $10 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Какой номинальный момент будет для этого электродвигателя при продолжительном режиме работы, если пренебречь постоянными потерями?

Задача 4.7. Проверить тепловой режим двигателя с номинальными данными: мощность $P_{\text{ном}} = 50 \text{ кВт}$; скорость $\omega_{\text{ном}} = 100 \text{ рад/с}$; момент инерции двигателя с передачей $J_{\text{дв}} = 5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Момент сопротивления механизма $M_{\text{м}} = 1250 \text{ Н}\cdot\text{м}$; установившаяся скорость механизма $\omega_{\text{м}} = 20 \text{ рад/с}$; момент инерции механизма $J_{\text{м}} = 250 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $\eta = 0,5$. Время пуска $t_{\text{п}} = 2 \text{ с}$, время торможения $t_{\text{т}} = 2 \text{ с}$, время работы $t_{\text{р}} = 26 \text{ с}$ и время паузы $t_{\text{о}} = 20 \text{ с}$. Коэффициент ухудшения теплоотдачи в периоды пуска и торможения $\gamma_{\text{т}} = 0,75$; коэффициент, учитывающий ухудшение теплообмена при остановке $\beta_{\text{т}} = 0,5$.

Задача 4.8. Оценить тепловой режим двигателя, работающего по следующей нагрузочной диаграмме: $t_1 = 5 \text{ с}$; $M_1 = 25 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $t_2 = 10 \text{ с}$; $M_2 = 17 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $t_0 = 35 \text{ с}$. Коэффициент ухудшения теплоотдачи в периоды пуска и торможения $0,75$; коэффициент, учитывающий ухудшение теплообмена при остановке $0,5$. Данные двигателя при $PВ_{\text{СТ}} = 25\%$; $P_{\text{н}} = 2 \text{ кВт}$; $\omega_{\text{н}} = 100 \text{ рад/с}$.

Задача 4.9. Электродвигатель АИРМ132S4 имеет следующие номинальные данные: $P_{\text{ном}} = 7,5 \text{ кВт}$; $S_{\text{ном}} = 3,3\%$; $m_{\text{к}} = 2,8$; $m_{\text{п}} = 2,1$. При работе двигателя с номинальной скоростью, скорость рабочего органа механизма $V_{\text{м}} = 0,5 \text{ м/с}$. Цикл работы механизма: $F_1 = 15 \text{ кН}$; $t_1 = 1 \text{ с}$; $F_2 = 5 \text{ кН}$; $t_2 = 7 \text{ с}$; $F_3 = 0,3 \text{ кН}$; $t_3 = 3 \text{ с}$; $t_0 = 10 \text{ с}$. Оценить тепловой режим работы двигателя, если $\eta_{\text{м}} = 45\%$; $\beta_0 = 0,45$; $\gamma = 0,5$; $T_{\text{н}} = 60 \text{ мин}$; нагрузка типа сухого трения.

Задача 4.10. Электродвигатель 4МТФ132LB6 имеет следующие номинальные данные: $P_{\text{ном}} = 7,5 \text{ кВт}$; $PВ_{\text{ном}} = 40\%$; $S_{\text{ном}} = 6,5\%$;

$m_K = 3,0$; $m_{II} = 2,0$. При работе двигателя с номинальной скоростью, скорость рабочего органа механизма $\omega_M = 30$ рад/с. Цикл работы механизма: $M_1 = 300$ Н·м; $t_1 = 0,5$ мин; $M_2 = 200$ Н·м; $t_2 = 2$ мин; $M_3 = 50$ Н·м; $t_3 = 1$ мин; $t_0 = 6$ мин. Оценить тепловой режим работы двигателя, если $\eta_M = 65\%$; $\beta_0 = 0,45$; $\gamma = 0,5$; $T_H = 60$ мин; нагрузка типа сухого трения.

Задача 4.11. Определить коэффициент увеличения мощности двигателя продолжительного режима при работе в кратковременном режиме. Постоянная времени нагрева двигателя $T_H = 60$ мин.

Задача 4.12. Найти коэффициент термической и механической перегрузки двигателя при кратковременном режиме при $t_p = 30$ мин и соотношение потерь $a_{II} = 60$.

Задача 2.13. Электропривод постоянного тока по системе ТП-Д с жесткой отрицательной обратной связью по скорости ω содержит двигатель ДЭВ-808 постоянного тока с независимым возбуждением: мощность $P_H = 68$ кВт, напряжение $U_H = 440$ В; ток $I_H = 170$ А; скорость $\omega_H = 125$ рад/с. Определить коэффициент усиления регулятора из условия заданной статической точности поддержания скорости замкнутой системы 5% в диапазоне регулирования скорости, равном 10, при условии, что момент сопротивления равен номинальному моменту двигателя, а коэффициент передачи преобразователя равен 40.

Литература

1. Фираго, Б. И. Расчеты по электроприводу производственных машин и механизмов : учеб. пособие / Б. И. Фираго. – Минск : Техноперспектива, 2012. – 639 с.
2. Фираго, Б. И. Регулируемый асинхронный электропривод / Б. И. Фираго – Минск : Двеста, 2010. – 140 с.
3. Фираго, Б. И. Теория электропривода : учеб. пособие / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик – Минск : ЗАО «Техноперспектива», 2004. – 527 с.
4. Онищенко, Г.Б. Электрический привод: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Г. Б. Онищенко. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Издательский центр «Академия», 2013. – 288 с.
5. Теория электропривода: учебник для вузов / С. А. Ковчин, Ю. А. Сабинин. – Санкт-Петербург : Энергоатомиздат, 2000. – 496 с.
6. Чиликин, М. Г. Теория автоматизированного электропривода / М. Г. Чиликин, В. И. Ключев, А. С. Сандлер. – М. : Энергия, 1979. – 616 с.
7. Захаренко В. С. Теория электропривода : курс лекций по од-ноим. дисциплине для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электро-приводы» дневной и заочной форм обучения / В. С. Захаренко, А. В. Козлов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011. – 171 с.
8. Алексеев, В. В. Электрический привод : учеб. пособие / В. В. Алексеев, П. В. Алексеев, А. Е. Козярук. – СПб., 2008. – 66 с.

Содержание

1. Механика электропривода.....	3
2. Электромеханические свойства электродвигателей	13
3. Выбор электродвигателей по мощности и проверка их по нагреву	21
Литература.....	33

**Дорощенко Игорь Васильевич
Савельев Вадим Алексеевич**

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

**Практикум
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»
дневной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 02.05.23.

Рег. № 42Е.
<http://www.gstu.by>