

**Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический
университет им. И. И. Ползунова»**

Е. В. Шипицына, А. А. Грибанов

Электроприемники и потребители в системах электроснабжения

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям
по дисциплине «Приемники и потребители электрической
энергии систем электроснабжения» студентов направления
13.03.02. «Электроэнергетика и электротехника»
всех форм обучения

**Изд-во АлтГТУ
Барнаул • 2015**

УДК 62-83+621.313.2 (076.1)

Е.В. Шипицына Электроприемники и потребители в системах электроснабжения: учебно-методическое пособие к практическим занятиям по дисциплине «Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения» для студентов направления 13.03.02. «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения / Е.В. Шипицына, А.А. Грибанов / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И.Ползунова.– Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015.-74с.

В учебно-методическом пособии приведены теоретические сведения, задачи и примеры решения задач по дисциплине «Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения».

Рассмотрены и одобрены
на заседании Методической
школы им. О.И.Хомутова.
Протокол №2 от 28.01.2015 г.

Содержание

Введение.....	4
1. Расчет механических частей электроприводов.....	5
2. Определение параметров двигателя постоянного тока.....	13
3. Расчет пусковых резисторов двигателей постоянного тока.....	30
4. Определение параметров трехфазных асинхронных двигателей.....	41
5. Выбор электродвигателя.....	52

Введение

Целью освоения дисциплины «Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения» является формирование знаний в области использования электрической энергии в различных технологических процессах, изучение основных видов электротехнологического оборудования, рассмотрение вопросов использования электрических машин для привода рабочих машин, изучение принципов выбора электромеханических преобразователей, составления и работы схем автоматизированного управления электроприводом.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные виды и особенности электротехнологических промышленных установок, оборудования для осуществления технологических процессов, виды режимов работы электротехнологического оборудования, технико-экономические параметры установок, обеспечивающие эффективные режимы технологического процесса; уметь использовать обоснованные технические решения при разработке и проектировании электротехнологического оборудования; владеть навыками принятия технических решений при разработке и проектировании электротехнологического оборудования, навыками расчета и выбора электрооборудования с эффективными технико-экономическими параметрами.

В основе дисциплины «Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения» лежат курсы высшей школы «Высшая математика», «Физика», «Теоретические основы электротехники», «Электротехническое и конструкционное материаловедение».

Основные знания, приобретенные в процессе изучения курса, широко используется при изучении дисциплин профессионального цикла «Системы электроснабжения», «Монтаж и эксплуатация систем электроснабжения».

1 РАСЧЁТ МЕХАНИЧЕСКИХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Любой механизм для обеспечения его эффективной работы нуждается в устройстве, которое будет передавать ему механическую энергию. Для серийно выпускаемых технологических механизмов (станков, насосов, компрессоров, бытовой техники и др.), как правило, электродвигатель поставляют в комплекте. Если же этого не происходит, то параметры рекомендуемого к использованию электродвигателя указывают в прилагаемой к технологическому механизму документации.

В то же время если такой технологический механизм только разрабатывается, то параметры электродвигателя неизвестны и необходимо их определять. Положение осложняется тем, что отсутствуют сами исходные данные, которые обычно используют при выборе электродвигателя. Поэтому необходимо проводить расчёт механического движения подвижных частей, чтобы получить эти исходные данные.

В механическом движении электропривода участвуют:

- подвижная часть электродвигателя (ротор);
- элементы механического передаточного устройства;
- исполнительный орган.

Совокупность этих элементов называется *кинематической схемой электропривода* (механической частью).

Известно, что движение любого элемента механической части электропривода подчиняется законам механики. Поступательное и вращательное движения элемента описывают уравнениями движения:

$$\sum F = m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt}; \quad (1)$$

$$\sum M = J \frac{d\omega}{dt} + \omega \frac{dJ}{dt}, \quad (2)$$

где $\sum F$ и $\sum M$ – совокупность, соответственно, сил и моментов, действующих на элемент;

m – масса элемента;

J – момент инерции элемента;

t – время;

ω и v – скорость, соответственно, угловая и линейная.

Уравнение (1) соответствует поступательному движению, а (2) – вращательному.

В большинстве случаев масса и момент инерции элементов при движении не меняются. Поэтому их производные оказываются равными нулю и уравнения упрощаются:

$$\sum F = m \frac{dv}{dt} = ma ; \quad (3)$$

$$\sum M = J \frac{d\omega}{dt} = J\varepsilon , \quad (4)$$

где $a = \frac{dv}{dt}$ и $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$ – ускорения при поступательном и вращательном движениях.

Элементы, образующие механическую часть электропривода, связаны между собой и оказывают друг на друга соответствующее воздействие. Поэтому при анализе механического движения одного из элементов необходимо учитывать влияние на него других элементов кинематической схемы электропривода. Учёт влияния других элементов достигается путём пересчёта входящих в уравнения движения (1) и (2) сил, моментов, масс и моментов инерции к элементу, движение которого рассматривается. То есть производят операцию *приведения*. В этом случае пересчитанные параметры называют *приведёнными*.

Рассмотрим на примере технологию проведения операции приведения для механической части электропривода подъёмной лебёдки, представленной на рисунке 1, а). Цифрами на этом рисунке обозначены:

1 – электродвигатель вращательного движения с моментом инерции J_0 ;

2 – механический тормоз;

3, 7 – муфты соединительные, механические;

4 – одноступенчатый редуктор;

5, 6 – шестерни редуктора (приводят во вращение со скоростью ω_6 барабан 8);

8 – барабан подъёмной лебёдки;

9 – трос;

10 – крюк;

11 – груз массой m .

С помощью троса 9 и крюка 10 поднимается или спускается груз 11 с линейной скоростью $v_{лн}$.

При выполнении расчётов примем следующее допущение: все элементы схемы абсолютно жёсткие и между ними отсутствуют зазоры.

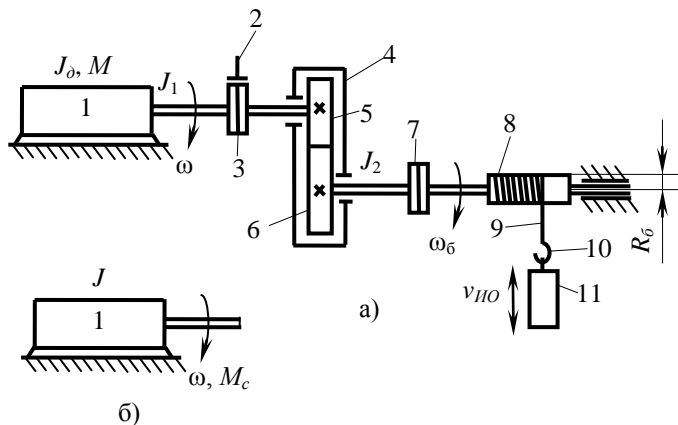


Рисунок 1 – Кинематическая схема электропривода
подъёмной лебёдки

Операцию приведения можно выполнять относительно любого элемента схемы. Однако поскольку целью расчёта является получение данных для выбора электродвигателя, то следует вычислять значения параметров для электродвигателя 1, являющегося источником механического движения.

Сущность приведения состоит в том, что реальную механическую схему электропривода заменяют некоторой эквивалентной схемой, основой которой является электродвигатель 1, а все элементы представлены некоторыми приведёнными величинами (рисунок 1, б): M_c – моментом нагрузки; J – моментом инерции. Моменты сопротивления и инерции самого электродвигателя при расчётах должны быть учтены, соответственно, в M_c и J .

Поэтому, для определения приведённого момента инерции следует:

- моменты инерции вращающихся элементов разделить на квадрат передаточного числа между этими элементами и валом двигателя;
- массы поступательно движущихся элементов умножить на квадрат радиуса приведения кинематической схемы между этими элементами и валом двигателя;
- полученные выше результаты сложить с моментами инерции электродвигателя и элементов, вращающихся с его скоростью.

Полученное по этим правилам выражение для нашего случая будет иметь вид:

$$J = J_{\partial} + J_1 + \frac{J_2}{i^2} + m\rho^2, \quad (5)$$

где $i = \frac{\omega}{\omega_6} = \frac{z_2}{z_1}$ – передаточное число редуктора;

z_2, z_1 – число зубцов шестерён 5 и 6;

$\rho = \frac{v_{ИО}}{\omega} = \frac{\omega_6 R_6}{\omega} = \frac{R_6}{i}$ – радиус приведения кинематической схемы между исполнительным органом (крюком 10) и валом двигателя;

J_1 – суммарный момент инерции элементов, вращающихся со скоростью ω (кроме двигателя);

J_2 – суммарный момент инерции элементов, вращающихся со скоростью ω_6 .

При подъёме груза к исполнительному органу от электропривода должна быть подведена механическая мощность, равная

$$P_{ИО} = F_{ИО} v_{ИО} = mg v_{ИО}, \quad (6)$$

где $F_{ИО}$ – усилие, развиваемое исполнительным органом;

g – ускорение силы тяжести.

Приведённый момент нагрузки для поступательного движения равен

$$M_c = \frac{mg v_{ИО}}{\eta \omega} = \frac{F_{ИО} \rho}{\eta}, \quad (7)$$

где η – результирующий коэффициент полезного действия кинематической цепи, учитывающий механические потери, равный

$$\eta = \eta_{ред} \eta_{бар} \eta_{\partial}, \quad (8)$$

где $\eta_{ред}$ – коэффициент полезного действия редуктора;

$\eta_{бар}$ – коэффициент полезного действия барабана;

η_{∂} – коэффициент полезного действия электродвигателя, учитывающий трение в подшипниках, аэродинамическое сопротивление воздуха и т.д.

Если исполнительный орган совершает вращательное движение, то приведённый момент нагрузки равен

$$M_c = \frac{\omega_{ИО} M_{ИО}}{\eta \omega} = \frac{M_{ИО}}{\eta i}. \quad (9)$$

При спуске груза выражения (7) и (9) примут вид

$$M_c = F_{HO} \rho \eta, \quad (10)$$

$$M_c = \frac{M_{HO} \eta}{i}. \quad (11)$$

Такое изменение выражений объясняется тем, что уменьшающаяся энергия груза передаётся двигателю, частично расходуясь на преодоление потерь в кинематической схеме.

Кроме того, следует пользоваться следующим выражением, описывающим взаимосвязь момента и скорости вращения:

$$M = \frac{P}{\omega} = 9,55 \frac{P}{n}, \quad (12)$$

где M – вращающий момент, Н·м;

P – мощность на валу, Вт;

ω – угловая скорость вращения, рад/с;

n – частота вращения вала, об/мин.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Задача 1-0. Механизм подъёма мостового крана, кинематическая схема которого показана на рисунке 2, имеет следующие данные: $n_d = 1500$ об/мин; $J_0 = 0,2$ кг·м²; $J_1 = 0,05$ кг·м²; $J_2 = 3$ кг·м²; $z_1 = z_3 = 10$; $z_2 = z_4 = 50$; $D = 0,6$ м. Считать, что КПД передач механизма не зависят от скорости и нагрузки и составляют: для каждой пары шестерён $\eta_1 = \eta_2 = 0,95$; барабан – канат $\eta_3 = 0,95$; блок – канат $\eta_4 = 0,95$. Определить приведённые к валу двигателя момент сопротивления и момент инерции механизма для случаев подъёма и спуска груза $m = 1500$ кг.

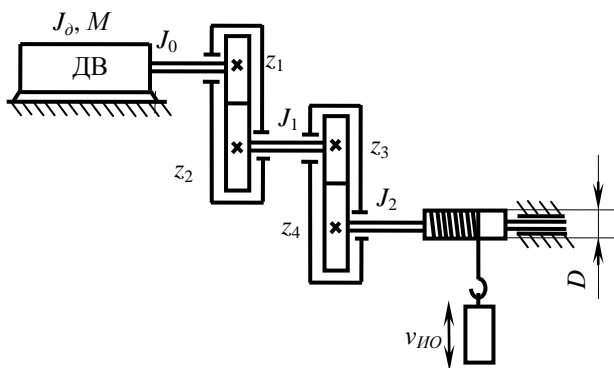


Рисунок 2 – Кинематическая схема механизма подъёма мостового крана

Решение. Передаточное число первого редуктора равно

$$i_1 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{50}{10} = 5.$$

Соответственно передаточное число второго редуктора равно

$$i_2 = \frac{z_4}{z_3} = \frac{50}{10} = 5.$$

Частота вращения барабана равна

$$n_6 = \frac{n_d}{60i_1i_2} = \frac{1500}{60 \cdot 5 \cdot 5} = 1 \text{ об/с.}$$

Скорость подъёма и спуска груза

$$v_{HO} = \pi D n_6 = 3,14 \cdot 0,6 \cdot 1 = 1,884 \text{ м/с.}$$

При подъёме груза:

момент сопротивления на валу барабана

$$M_{c1}^n = \frac{mg \frac{D}{2}}{\eta_3 \eta_4} = \frac{1500 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,6}{2}}{0,95 \cdot 0,95} = 4891,4 \text{ Н·м;}$$

момент сопротивления на промежуточном валу

$$M_{c2}^n = \frac{M_{c1}^n}{i_2 \eta_2} = \frac{4891,4}{5 \cdot 0,95} = 1029,77 \text{ Н·м;}$$

момент сопротивления на промежуточном валу, приведённый к валу двигателя,

$$M_c^n = \frac{M_{c2}^n}{i_1 \eta_1} = \frac{1029,77}{5 \cdot 0,95} = 216,79 \text{ Н·м;}$$

приведённый момент инерции механизма

$$J^n = J_0 + \frac{J_1}{i_1^2 \eta_1} + \frac{J_2}{i_1^2 i_2^2 \eta_1 \eta_2} + m \left(\frac{D}{2 i_1 i_2 \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4} \right)^2 = 0,2 + \frac{0,05}{5^2 \cdot 0,95} + \frac{3}{5^2 \cdot 5^2 \cdot 0,95 \cdot 0,95} + 1500 \left(\frac{0,6}{2 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,95} \right)^2 = 0,533 \text{ кг·м}^2.$$

При спуске груза:

момент сопротивления на валу барабана

$$M_{c1}^c = mg \frac{D}{2} \eta_3 \eta_4 = 1500 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,6}{2} \cdot 0,95 \cdot 0,95 = 3984,1 \text{ Н·м;}$$

момент сопротивления на промежуточном валу

$$M_{c2}^c = \frac{M_{c1}^c \eta_2}{i_2} = \frac{3984,1 \cdot 0,95}{5} = 756,98 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

момент сопротивления на промежуточном валу, приведённый к валу двигателя,

$$M_c^c = \frac{M_{c2}^c \eta_1}{i_1} = \frac{756,98 \cdot 0,95}{5} = 143,83 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

приведённый момент инерции механизма

$$J^c = J_0 + \frac{J_1 \eta_1}{i_1^2} + \frac{J_2 \eta_1 \eta_2}{i_1^2 i_2^2} + m \left(\frac{D \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4}{2 i_1 i_2} \right)^2 = 0,2 + \frac{0,05 \cdot 0,95}{5^2} +$$

$$+ \frac{3 \cdot 0,95 \cdot 0,95}{5^2 \cdot 5^2} + 1500 \left(\frac{0,6 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,95}{2 \cdot 5 \cdot 5} \right)^2 = 0,35 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

ЗАДАЧИ

Задача 1-1. Для схемы, приведённой на рисунке 1, выполнить операцию приведения в случае подъёма груза при следующих параметрах кинематической схемы: $J_0 = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $J_1 = 0,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $J_2 = 2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $m = 1000 \text{ кг}$; $R_0 = 0,15 \text{ м}$; $v_{HO} = 0,9 \text{ м/с}$; $z_1 = 14$; $z_2 = 86$; $\eta_{ред} = 0,97$; $\eta_{бар} = 0,96$.

Задача 1-2. Задачу 1-1 решить для случая спуска груза.

Задача 1-3. Схема механической части электропривода лифта приведена на рисунке 3. Заданы: грузоподъёмность лифта $m_T = 500 \text{ кг}$; скорость движения кабины 6 $v_{HO} = 1 \text{ м/с}$; масса кабины $m_K = 200 \text{ кг}$; масса противовеса 8 $m_{ПВ} = 400 \text{ кг}$; диаметр канатоведущего шкива 5 $d_{КШ} = 1,3 \text{ м}$; передаточное число редуктора 4 $i_p = 5$; КПД механической части $\eta_{мн} = 0,97$; длина канатов 7 $L_T = 80 \text{ м}$; масса погонного метра каната $m_T = 2 \text{ кг/м}$; моменты инерции двигателя 2 $J_0 = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и других элементов $J_1 = 0,06 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $J_2 = 1,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Двигатель 2 связан с тормозом 1 и через муфту 3 с редуктором 4.

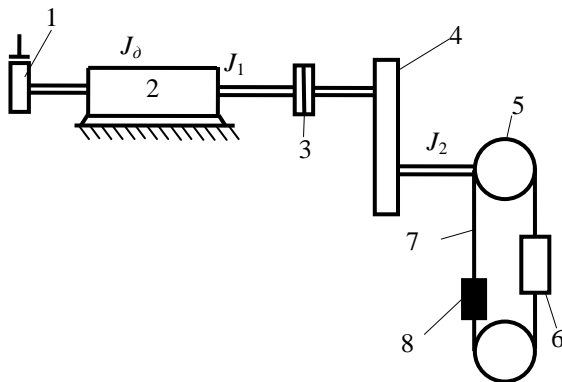


Рисунок 3 – Кинематическая схема лифта

Задача 1-4. Строгальный станок имеет кинематическую схему, изображённую на рисунке 4, со следующими данными: $z_1 = 20$, $z_2 = 60$, $z_3 = 35$, $z_4 = 59$, $z_5 = 30$, $z_6 = 88$, $z_7 = 40$, $z_8 = 56$, $J_1 = 0,011 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_2 = 0,052 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_3 = 0,026 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_4 = 0,074 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_5 = 0,048 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_6 = 0,107 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_7 = 0,064 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $J_8 = 0,166 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Вес стола $G_c = 1230 \text{ кгс}$, максимальный вес обрабатываемого изделия 1800 кгс , скорость вращения двигателя $n_d = 420 \text{ об/мин}$, его момент инерции $J_d = 0,293 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, КПД каждой пары передачи со столом $\eta = 0,98$, шаг колеса $t_g = 25,13 \text{ мм}$. Определить момент инерции всей системы, приведённой к валу двигателя.

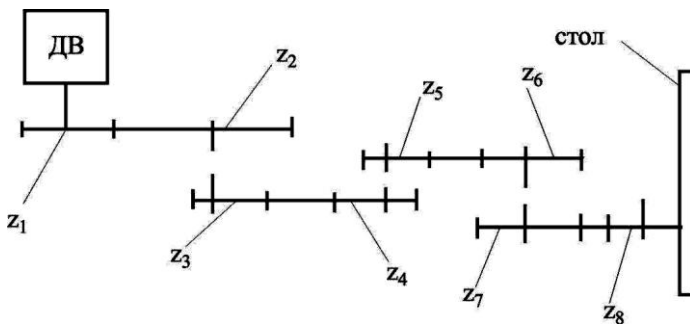


Рисунок 4 – Кинематическая схема строгального станка

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Двигатели постоянного тока получили распространение для привода технологических механизмов, которые требуют обеспечения регулирования скорости в довольно широком диапазоне.

Основными номинальными данными двигателей постоянного тока являются: напряжение U_n , В; мощность на валу P_n , кВт; частота вращения n_n , об/мин; КПД η , %. В некоторых случаях могут быть также известны сопротивление якоря $R_{я}$, Ом, включающее сопротивление обмотки якоря, добавочных полюсов, компенсационной обмотки и щётчного контакта; сопротивление обмотки возбуждения $R_{ов}$, Ом, ЭДС якоря E_n , В.

В электроприводах используются двигатели постоянного тока с независимым, последовательным и смешанным возбуждением.

При независимом возбуждении якорь и обмотка возбуждения питаются от разных источников (рисунку 5).

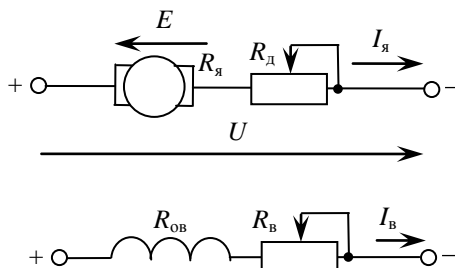


Рисунок 5 – Обобщённая принципиальная схема двигателя постоянного тока с независимым возбуждением

Если принять допущения о том, что реакция якоря не учитывается, а момент на валу двигателя равен электромагнитному моменту, то параметры двигателя постоянного тока с независимым возбуждением связаны между собой следующими соотношениями:

$$U = E + I_{я} R ; \quad (13)$$

$$E = k \Phi \omega ; \quad (14)$$

$$M = k \Phi I_{я} , \quad (15)$$

где U – подводимое к якорю напряжение, В;

R – суммарное сопротивление якорной цепи, равное

$$R = R_{я} + R_{д} ; \quad (16)$$

R_d – сопротивление добавочного регулировочного реостата, Ом;
 Φ – магнитный поток, Вб;
 I_a – ток, протекающий по цепи якоря, А;
 ω – угловая скорость вращения двигателя, рад/с;
 M – момент, развиваемый двигателем, Н·м;
 k – конструктивный коэффициент двигателя, равный

$$k = \frac{pN}{2\pi a}; \quad (17)$$

p – число пар полюсов двигателя, шт.;
 N – число активных проводников обмотки якоря, шт;
 a – число параллельных ветвей обмотки якоря, шт.

Уравнение механической характеристики (зависимости угловой скорости от момента) двигателей постоянного тока с независимым возбуждением имеет вид

$$\omega = \frac{U}{C} - \frac{MR}{C^2}, \quad (18)$$

где C – постоянный коэффициент, равный

$$C = k\Phi. \quad (19)$$

В другом виде выражение (18) может быть записано как

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega, \quad (20)$$

где ω_0 – скорость идеального холостого хода, рад/с, равная

$$\omega_0 = \frac{U}{C}; \quad (21)$$

$\Delta\omega$ – статическое изменение скорости относительно скорости идеального холостого хода, рад/с, равное

$$\Delta\omega = \frac{MR}{C^2}. \quad (22)$$

Уравнение электромеханической характеристики (зависимости скорости двигателя от тока якоря) записывается в виде

$$\omega = \frac{U - I_a R}{C}. \quad (23)$$

У двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением обмотки якоря и возбуждения имеют общий источник питания и подключены к нему параллельно (рисунок 6). При этом справедливы выражения (13) – (23), а ток, потребляемый двигателем из сети, равен

$$I = I_a + I_b, \quad (24)$$

где I_b – ток, протекающий по цепи возбуждения, А.

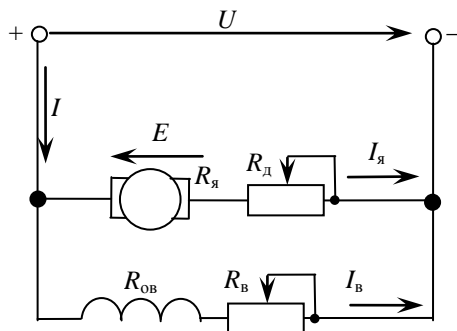


Рисунок 6 – Обобщённая принципиальная схема двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением

На рисунке 7 представлена схема цепи якоря при последовательном включении двухступенчатого добавочного регулировочного реостата, а на рисунке 8 – механические характеристики двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением при различном числе включённых ступеней реостата.

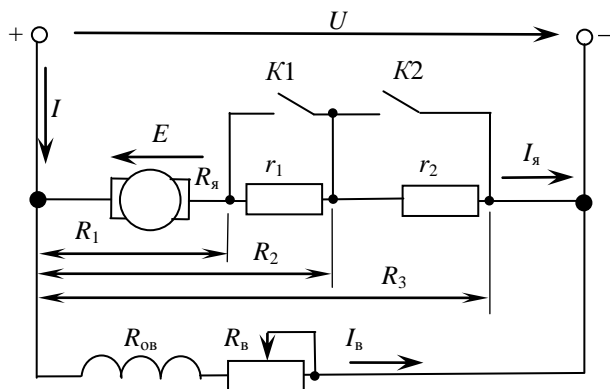


Рисунок 7 – Принципиальная схема силовых соединений при использовании двухступенчатого реостатного регулирования скорости двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением:

r_1, r_2 – соответственно, сопротивление первой и второй ступени реостата; $K1, K2$ – контакты, выводящие ступени реостата из работы.

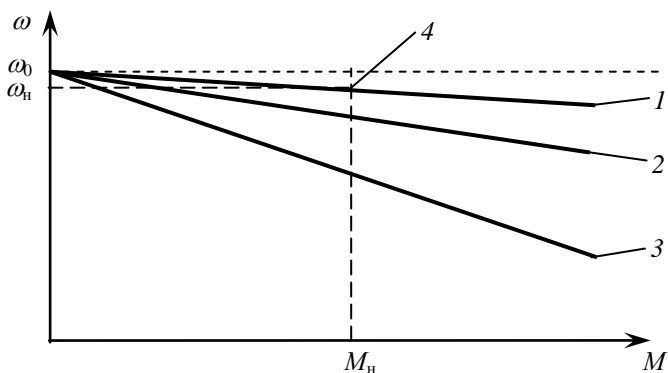


Рисунок 8 – Механические характеристики двигателей постоянного тока:

1 – естественная характеристика двигателя постоянного тока с независимым (параллельным) возбуждением ($R_1 = R_n$); 2 – характеристика двигателя постоянного тока с независимым (параллельным) возбуждением с включением дополнительного регулировочного резистора ($R_2 > R_1$); 3 – характеристика двигателя постоянного тока с независимым (параллельным) возбуждением с включением дополнительного регулировочного резистора с большим сопротивлением ($R_3 > R_2$); 4 – точка номинального режима работы на естественной характеристике двигателя постоянного тока с независимым (параллельным) возбуждением.

Двигатели постоянного тока с последовательным возбуждением нашли широкое применение в электроприводах электрического транспорта и ряда грузоподъёмных машин. В этих двигателях обмотка возбуждения подключена последовательно в цепь якоря (рисунок 9). Ток, потребляемый двигателем из сети, равен

$$I = I_{\text{я}} = I_{\text{в}}. \quad (25)$$

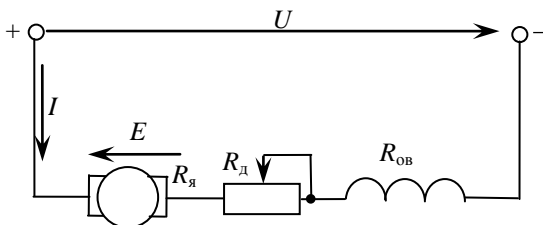


Рисунок 9 – Обобщённая принципиальная схема двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением

У двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением магнитный поток зависит от тока, протекающего по обмотке якоря. В результате целесообразно учитывать эту зависимость при получении механической и электромеханической характеристик. Используемая для упрощения линейная аппроксимация кривой намагничивания позволяет получить аналитические выражения механической и электромеханической характеристик, однако такое приближение оказывается грубым и эти зависимости не могут быть использованы для проведения точных инженерных расчётов. На практике применяют так называемые универсальные характеристики двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением (рисунок 10).

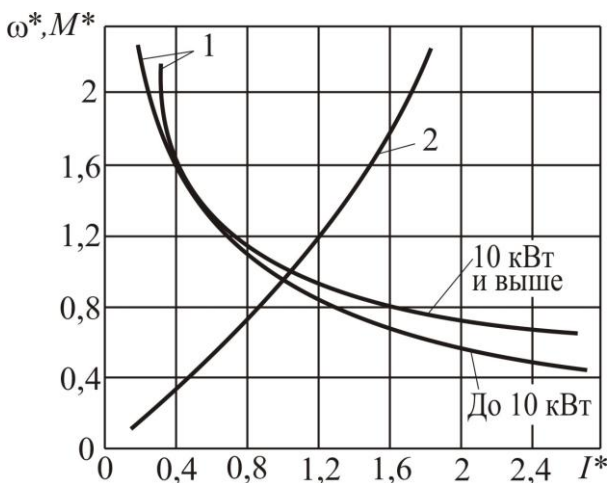


Рисунок 10 – Универсальные характеристики двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением:

1 – зависимость относительной скорости $\omega^* = \frac{\omega}{\omega_n}$ от относительного тока $I^* = \frac{I}{I_n}$; 2 – зависимость относительного момента $M^* = \frac{M}{M_n}$ от относительного тока.

В ряде особых случаев на практике используются двигатели постоянного тока со смешанным возбуждением. Их отличие от двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением состоит в том, что обмотка возбуждения разделена на две части, одна из которых включена в цепь якоря ($R_{об1}$), а другая ($R_{об2}$) имеет независимое либо параллельное питание от источника электроэнергии (рисунок 11).

Для практических расчётов используются универсальные характеристики двигателей постоянного тока со смешанным возбуждением, которые приведены на рисунке 12.

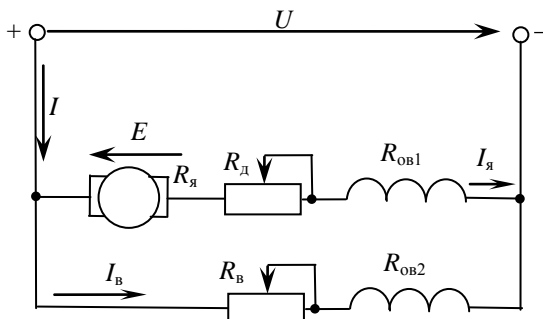


Рисунок 11 – Принципиальная схема включения двигателя постоянного тока со смешанным возбуждением.

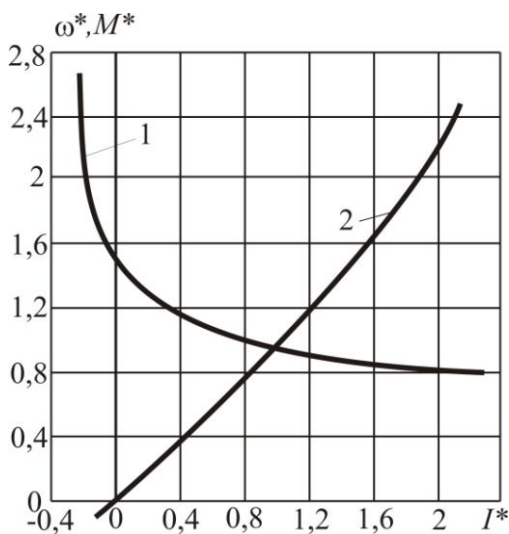


Рисунок 12 – Универсальные характеристики двигателей постоянного тока со смешанным возбуждением:

1 – зависимость относительной скорости $\omega^* = \frac{\omega}{\omega_n}$ от относительного тока $I^* = \frac{I}{I_n}$; 2 – зависимость относительного момента $M^* = \frac{M}{M_n}$ от относительного тока.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 2-0-1. Двигатель постоянного тока имеет следующие данные, приведённые на его щитке: $P = 3,2$ кВт; $U = 110$ В, $I = 38,2$ А, $n = 3000$ об/мин. Определить вращающий момент и КПД двигателя.

Решение. Вращающий момент

$$M = 9,55 \frac{P}{n} = 9,55 \frac{3200}{3000} = 10,19 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{P}{UI} = \frac{3200}{110 \cdot 38,2} = 0,762.$$

Задача 2-0-2. Двигатель постоянного тока П-101 с номинальными данными: $P_{\text{ном}} = 42$ кВт, $U_{\text{ном}} = 110$ В, $I_{\text{ном}} = 446$ А, $n_{\text{ном}} = 750$ об/мин, $R_{\text{я}} = 0,0125$ Ом, $R_{\text{в}} = 9,45$ Ом приводит в движение лебёдку подъёмного крана. Определить:

– режим работы двигателя при спуске груза, а также силу тока в якоре и величину момента на валу при скорости 800 об/мин;

– режим работы двигателя и его скорость при подъёме груза, если в цепь якоря включены добавочный реостат с сопротивлением $R_{\text{доб}} = 0,325$ Ом и момент сопротивления $M_{\text{с}} = 637,65$ Н·м.

Построить для этих случаев механические характеристики электродвигателя.

Решение. Поскольку двигатель имеет параллельное возбуждение, то номинальный ток возбуждения равен

$$I_{\text{вн}} = \frac{U_{\text{ном}}}{R_{\text{в}}} = \frac{110}{9,45} = 11,6 \text{ А}.$$

Номинальный ток якоря равен

$$I_{\text{ян}} = I_{\text{ном}} - I_{\text{в}} = 446 - 11,6 = 434,4 \text{ А}.$$

Величина произведения $k\Phi$ равна

$$C = k\Phi = \frac{60(U_{\text{ном}} - I_{\text{ян}}R_{\text{я}})}{2\pi n_{\text{ном}}} = \frac{60 \cdot (110 - 434,4 \cdot 0,0125)}{2 \cdot 3,14 \cdot 750} = 1,332.$$

Угловая скорость идеального холостого хода равна

$$\omega_0 = \frac{U_{\text{ном}}}{C} = \frac{110}{1,332} = 82,58 \text{ рад/с}.$$

Номинальная угловая скорость вращения

$$\omega = \frac{2\pi n_{\text{ном}}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 750}{60} = 78,5 \text{ рад/с}.$$

Угловая скорость вращения для $n = 800$ об/мин составляет

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 800}{60} = 83,73 \text{ рад/с.}$$

Величина тока для скорости вращения $n = 800$ об/мин

$$I = \frac{U_{\text{ном}} - C\omega}{R_{\text{я}}} = \frac{110 - 1,332 \cdot 83,73}{0,0125} = -122,27 \text{ А.}$$

Электромагнитный момент определим по выражению

$$M_{\text{эм}} = CI = 1,332 \cdot (-122,27) = -162,86 \text{ Н·м.}$$

Найдём потери вращения

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{вр}} &= \frac{U_{\text{ном}} I_{\text{ном}} - I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} - U_{\text{ном}} I_{\text{вн}} - P_{\text{ном}}}{1000} = \\ &= \frac{110 \cdot 446 - 434,4^2 \cdot 0,0125 - 110 \cdot 11,6 - 42000}{1000} = 3,425 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

Потери момента вращения составляют

$$\Delta M = 9,55 \frac{\Delta P_{\text{вр}}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \frac{3,425}{750} = 43,61 \text{ Н·м.}$$

Момент на валу равен

$$M_{\text{в}} = M_{\text{эм}} - \Delta M = -162,86 - 43,61 = -206,47 \text{ Н·м.}$$

Следует учесть, что момент нагрузки в нашем случае является *активным*. То есть, он может быть только положительным.

Номинальный момент равен

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \frac{42000}{750} = 534,8 \text{ Н·м.}$$

Скорость двигателя при подъёме груза

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{U_{\text{ном}}}{C} - \frac{M(R_{\text{я}} + R_{\text{доб}})}{C^2} = \frac{110}{1,332} - \frac{637,65 \cdot (0,0125 + 0,325)}{1,332^2} = \\ &= -38,7 \text{ рад/с.} \end{aligned}$$

Построим механические характеристики. Они представлены на рисунке 13. Как уже говорилось, момент нагрузки является активным, поэтому характеристика рекуперативного торможения лежит не во второй четверти, а в четвёртой.

Как видно из расчёта и характеристик, представленных на рисунке 13, при спуске груза двигатель работает в режиме рекуперативного торможения, а при подъёме оказывается в тормозном режиме механического противовключения, то есть груз начинает опускаться. Таким образом, при включении добавочного сопротивления в

цепь якоря двигатель оказывается неспособным выполнять работу с такой нагрузкой.

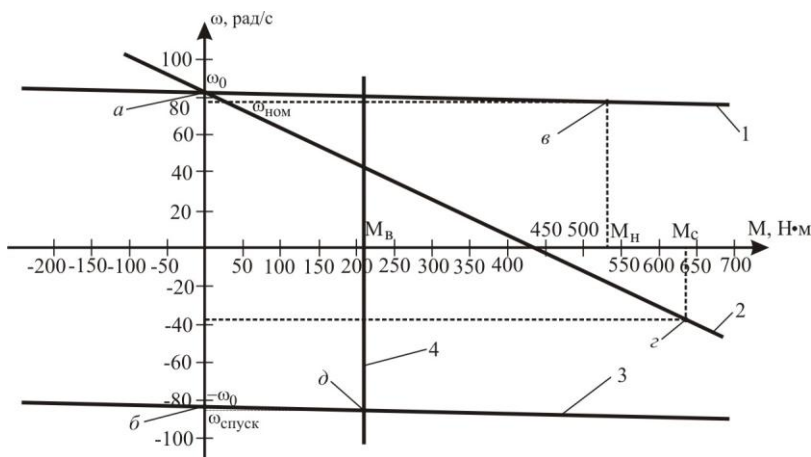


Рисунок 13 – Механические характеристики двигателя постоянного тока при подъёме и спуске груза:

1 – естественная механическая характеристика при вращении двигателя в прямом направлении; 2 – искусственная механическая характеристика при включении в цепь якоря добавочного реостата сопротивлением $R_{доб} = 0,325$ Ом; 3 – естественная механическая характеристика при вращении двигателя в обратном направлении; 4 – механическая характеристика исполнительного органа при спуске груза; а – точка идеального холостого хода при вращении двигателя в прямом направлении; б – точка идеального холостого хода при вращении двигателя в обратном направлении; в – точка номинального режима работы; г – точка работы при подъёме груза при включённом добавочном реостате в цепь якоря сопротивлением $R_{доб} = 0,325$ Ом; д – точка работы при спуске груза.

Задача 2-0-3. Двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением включён в сеть с напряжением $U = 220$ В. Номинальный ток двигателя $I = 42$ А. Сопротивление обмотки якоря $R_a = 0,2$ Ом, сопротивление обмотки возбуждения $R_b = 110$ Ом. Ток, потребляемый в режиме холостого хода, $I_0 = 3,636$ А. Падение напряжения на щётке $\Delta U = 0,5$ В. Найти коэффициент полезного действия.

Решение. Ток возбуждения равен

$$I_b = \frac{U}{R_b} = \frac{220}{110} = 2 \text{ А.}$$

Ток якоря равен

$$I_{\text{я}} = I - I_{\text{в}} = 42 - 2 = 40 \text{ А.}$$

Потери мощности в обмотке якоря

$$P_{\text{зя}} = I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} = 40^2 \cdot 0,2 = 320 \text{ Вт.}$$

Потери холостого хода, равные сумме потерь в магнитопроводе двигателя, в обмотке возбуждения и механических потерь, составляют:

$$P_{\text{х}} = P_{\text{м}} + P_{\text{в}} + P_{\text{мех}} = UI_0 = 220 \cdot 3,636 = 800 \text{ Вт.}$$

Потери в щётчных контактах

$$P_{\text{щ}} = 2AU_{\text{я}} = 2 \cdot 0,5 \cdot 40 = 40 \text{ Вт.}$$

Добавочные потери

$$P_{\text{доб}} = 0,1 \cdot P_{\text{х}} = 0,1 \cdot 800 = 80 \text{ Вт.}$$

Коэффициент полезного действия равен

$$\eta = \frac{UI - P_{\text{х}} - P_{\text{зя}} - P_{\text{щ}} - P_{\text{доб}}}{UI} = \frac{220 \cdot 42 - 800 - 320 - 40 - 80}{220 \cdot 42} = 0,87.$$

Задача 2-0-4. Для двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением и номинальными данными: $P_{\text{ном}} = 4,5 \text{ кВт}$, $I_{\text{ном}} = 28 \text{ А}$, $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$, $n_{\text{ном}} = 880 \text{ об/мин}$, $M_{\text{ном}} = 49 \text{ Н·м}$, $R_{\text{я}} = 0,87 \text{ Ом}$, $R_{\text{ов}} = 0,26 \text{ Ом}$ по универсальным характеристикам рассчитать естественные внешнюю и механические характеристики двигателя, вычислить величины сопротивлений добавочных реостатов, включаемых для снижения скорости при номинальном моменте до 600 и 300 об/мин, а также рассчитать и построить искусственные механические характеристики для этих реостатов.

Решение. Переведём заданные в условии задачи значения скорости вращения в соответствующие значения угловой скорости:

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{2\pi n_{\text{ном}}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 880}{60} = 92,11 \text{ рад/с.}$$

$$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 600}{60} = 62,8 \text{ рад/с.}$$

$$\omega_2 = \frac{2\pi n_2}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 300}{60} = 31,4 \text{ рад/с.}$$

Номинальные значения $I_{\text{ном}}$, $M_{\text{ном}}$, $\omega_{\text{ном}}$ принимаем за 1 относительную единицу (о.е.).

По универсальным характеристикам (рисунок 10) необходимо задаться различными значениями I^* , M^* , ω^* в о.е. от номинальных и

определить их величины в абсолютных единицах. Например, для значения $I^* = 0,4$ о.е. расчёты выглядят так:

$$I = I_{\text{ном}} \cdot I^* = 28 \cdot 0,4 = 11,2 \text{ А};$$

$$M = M_{\text{ном}} \cdot M^* = 49 \cdot 0,4 = 19,6 \text{ Н·м};$$

$$\omega = \omega_{\text{ном}} \cdot \omega^* = 92,11 \cdot 1,6 = 147,376 \text{ рад/с}.$$

Результаты вычислений для других значений I , M , ω сведём в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчёта значений для построения естественной характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

I^*	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
I , А	11,2	16,8	22,4	28	33,6	39,2	44,8	50,4	56
ω , рад/с	147,38	119,74	101,32	92,11	78,3	64,48	59,87	55,27	50,67
M , Н·м	19,6	29,4	36,75	49	58,8	71,05	85,75	107,8	122,5

Номинальное сопротивление двигателя

$$R_{\text{ном}} = \frac{U_{\text{ном}}}{I_{\text{ном}}} = \frac{220}{28} = 7,86 \text{ Ом}.$$

Общее сопротивление якоря и обмотки возбуждения

$$R_{\text{я-ов}} = R_{\text{я}} + R_{\text{ов}} = 0,87 + 0,26 = 1,13 \text{ Ом}.$$

Величину сопротивления добавочного реостата, необходимую для снижения скорости до ω_1 , находим по формуле реостатной характеристики

$$\omega_R = \frac{U - I(R_{\text{я-ов}} + R_{\text{доб}})}{U - IR_{\text{я-ов}}} \omega_e, \quad (26)$$

где ω_e – угловая скорость на естественной характеристике, определяемая для соответствующего тока (таблица 1), рад/с.

Выразим из уравнения (26) $R_{\text{доб}}$. Положим $U = U_{\text{ном}}$, $I = I_{\text{ном}}$, $\omega_e = \omega_{\text{ном}}$. В результате получим

$$R_{\text{доб1}} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_{\text{ном}}}\right)(R_{\text{ном}} - R_{\text{я-ов}}) = \left(1 - \frac{62,8}{92,11}\right)(7,86 - 1,13) = 2,14 \text{ Ом}.$$

Аналогично найдём величину сопротивления добавочного реостата, необходимую для снижения угловой скорости до ω_2 . Получим

$$R_{доб2} = \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_{ном}}\right) (R_{ном} - R_{я-ов}) = \left(1 - \frac{31,4}{92,11}\right) (7,86 - 1,13) = 4,5 \text{ Ом.}$$

Скорость на искусственных характеристиках находим по формуле (26). Результаты вычислений сведём в таблицу 2. По данным расчётов построим естественную и искусственную механические характеристики, которые приведены на рисунке 14.

Таблица 2 – Результаты расчёта значений для построения искусственных характеристик двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

I^*	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
ω_1 , рад/с	130,34	98,32	76,37	62,81	47,37	33,69	25,98	18,71	11,92
ω_2 , рад/с	111,55	74,71	48,86	30,49	13,26	-0,25	-11,39	-21,61	-30,81
M , Н·м	19,6	29,4	36,75	49	58,8	71,05	85,75	107,8	122,5

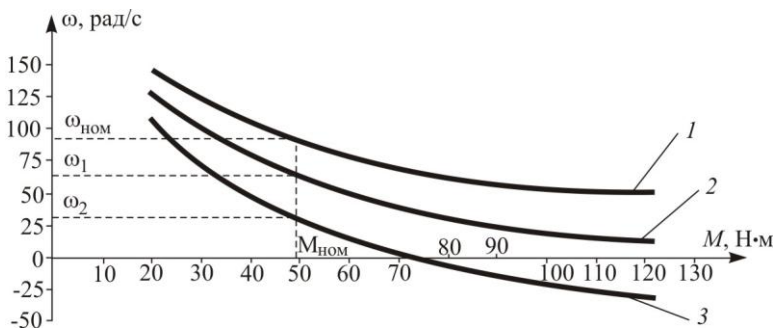


Рисунок 14 – Механические характеристики двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением:

1 – естественная механическая характеристика; 2 – искусственная механическая характеристика при включении добавочного реостата сопротивлением $R_{доб1} = 2,14$ Ом; 3 – искусственная механическая характеристика при включении добавочного реостата сопротивлением $R_{доб2} = 4,5$ Ом.

ЗАДАЧИ

Задача 2-1. Определить КПД двигателя, если потребляемая им из сети мощность равна $P_1=15$ кВт, а мощность, развиваемая на валу двигателя в номинальном режиме, составляет $P_{2н}=13,8$ кВт.

Задача 2-2. Определить общие потери в двигателе и момент, развиваемый двигателем в номинальном режиме, если он при этом потребляет из сети мощность 32 кВт, а его КПД $\eta = 0,92$. Номинальная скорость вращения двигателя 1000 об/мин.

Задача 2-3. Определить КПД двигателя постоянного тока в номинальном режиме, если $P_n=13$ кВт, $U_n=110$ В, $I_n=140$ А, $n_n=1000$ об/мин.

Задача 2-4. Определить номинальный момент, развиваемый двигателем, и момент на валу двигателя, если $P_n=2,8$ кВт, $U_n=110$ В, $I_n=30$ А, $n_n=1000$ об/мин.

Задача 2-5. Определить сопротивление якорной цепи двигателя постоянного тока с независимым возбуждением, если $P_n=18$ кВт, $U_n=110$ В, $I_n=200$ А, $n_n=1500$ об/мин.

Задача 2-6. Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением ($P_n=22$ кВт, $U_n=220$ В, $I_n=120$ А, $n_n=1000$ об/мин) работает на естественной механической характеристике с номинальным моментом. Построить естественную механическую характеристику.

Задача 2-7. Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением ($P_n= 50$ кВт, $U_n= 440$ В, $I_n=150$ А, $n_n=1460$ об/мин) работает с моментом сопротивления, равным $0,62 M_n$. Определить, на какой скорости работает двигатель. Построить естественную механическую характеристику.

Задача 2-8. Определить, с каким моментом сопротивления будет работать двигатель постоянного тока с независимым возбуждением ($P_n=15$ кВт, $U_n=220$ В, $I_n=75$ А, $n_n=1000$ об/мин) на естественной механической характеристике, если $n = 0,9 n_n$.

Задача 2-9. С каким моментом M_c работает двигатель постоянного тока с независимым возбуждением на естественной механической характеристике ($P_n=45$ кВт, $U_n=440$ В, $I_n=115$ А, $n_n=1200$ об/мин), если $n = 800$ об/мин. Построить естественную механическую характеристику.

Задача 2-10. Построить естественную и искусственную механические характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением ($P_n=27$ кВт, $U_n= 440$ В, $I_n=72$ А, $\omega_n=157$ рад/с), если в цепь якоря двигателя включено добавочное сопротивление 5 Ом.

Задача 2-11. Определить какое добавочное сопротивление необходимо включить в цепь якоря двигателя постоянного тока с независимым возбуждением ($P_n=30$ кВт, $U_n=220$ В, $I_n=145$ А, $\omega_n=167$ рад/с), если он вращается со скоростью 300 об/мин при номинальном моменте.

Задача 2-12. С каким моментом сопротивления работает двигатель постоянного тока с независимым возбуждением ($P_n=5,8$ кВт, $U_n=220$ В, $I_n=28$ А, $n_n=1500$ об/мин), если его скорость на искусственной характеристике $\omega_n=107$ рад/с? Определить, с какой скоростью работает двигатель, если в его якорную цепь включено добавочное сопротивление $1,5$ Ом.

Задача 2-13. Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением ($P_n=4,3$ кВт, $U_n=110$ В, $I_n=45$ А, $n_n=1000$ об/мин) работает на скорости $n = 700$ об/мин с моментом сопротивления $M_c=15$ Н·м. Какое добавочное сопротивление включено при этом в цепь якоря электродвигателя?

Задача 2-14. Какое добавочное сопротивление необходимо включить в цепь якоря двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением ($P_n=11$ кВт, $U_n=220$ В, $I_n=52$ А, $n_n=1000$ об/мин), чтобы, имея на валу $M_c= 65$ Н·м, он мог работать со скоростью $n =700$ об/мин?

Задача 2-15. Двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением ($P_n=20$ кВт, $U_n=440$ В, $I_n=50$ А, $n_n=1000$ об/мин) вращает механизм на холостом ходу через редуктор с передаточным числом 20 . Какова скорость и момент на валу механизма, если ток холостого хода составляет 20% от номинального?

Задача 2-16. Определить, с какими скоростями будет вращаться двигатель на естественной и искусственной механических характеристиках, если момент сопротивления на валу двигателя $M_c=120$ Н·м, а дополнительное сопротивление, включаемое в цепь якоря, $R_{доб}= 0,3$ Ом. Паспортные данные двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением: $P_n=37$ кВт, $U_n=220$ В, $I_n=180$ А, $n_n=2500$ об/мин.

Задача 2-17. Какова будет скорость двигателя постоянного тока независимого возбуждения ($P_n=1,8$ кВт, $U_n=110$ В, $I_n=50$ А, $n_n=750$ об/мин), работающего с моментом сопротивления $M_c=45$ Н·м на естественной характеристике? Как изменится его скорость, если в цепь якоря внести добавочные сопротивления $R_{доб}= 0,35$ Ом и $R_{доб}= 1,1$ Ом?

Задача 2-18. Двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением с номинальными данными: $P_n= 5,5$ кВт, $U_n= 220$ В, $I_n=31$ А, $n_n=1200$ об/мин, $R_{я}= 0,9$ Ом, $R_{ов}= 0,18$ Ом работает на подъём груза и развивает при этом номинальный момент. Определить сопротивление добавочного реостата, который надо включить в цепь якоря двигателя, чтобы получить скорость 300 об/мин.

Задача 2-19. Определить сопротивление добавочного реостата, который необходимо включить в цепь якоря двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением ($P_n=12$ кВт, $U_n=220$ В, $I_n=64$

А, $n_n=750$ об/мин, $R_{\text{посл}}=0,1$ Ом), чтобы при нагрузке номинальным моментом он развивал скорость 500 об/мин. Построить искусственные механическую и электромеханическую характеристики.

Задача 2-20. Определить скорость, с которой будет вращаться двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением ($P_n=40$ кВт, $U_n=440$ В, $I_n=95$ А, $n_n=1000$ об/мин, $R_{\text{посл}}=0,03$ Ом), при $M_c=350$ Н·м и $R_{\text{доб}}=0,4$ Ом. Построить искусственную механическую характеристику.

Задача 2-21. Определить сопротивление добавочного реостата, который необходимо включить в цепь якоря двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением ($P_n=20$ кВт, $U_n=220$ В, $I_n=120$ А, $n_n=980$ об/мин, $R_{\text{посл}}=0,05$ Ом), чтобы при $M_c=250$ Н·м скорость составляла 38% от номинальной. Построить искусственную электромеханическую характеристику.

Задача 2-22. С каким моментом будет работать двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением ($P_n=17$ кВт, $U_n=220$ В, $I_n=85$ А, $n_n=1000$ об/мин, $R_{\text{посл}}=0,06$ Ом) на искусственной механической характеристике со скоростью 600 об/мин, если в цепь якоря включено добавочное сопротивление 2 Ом?

Задача 2-23. С какой скоростью будет вращаться двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением ($P_n=35$ кВт, $U_n=440$ В, $I_n=85$ А, $\omega_n=105$ рад/с, $R_{\text{посл}}=0,033$ Ом) при $M_c=0,6M_n$ и $R_{\text{доб}}=0,4$ Ом? Построить искусственную механическую характеристику.

Задача 2-24. Определить сопротивление добавочного реостата, который необходимо включить в цепь якоря двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением ($P_n=12$ кВт, $U_n=220$ В, $I_n=64$ А, $n_n=760$ об/мин, $R_{\text{посл}}=0,098$ Ом), чтобы при нагрузке $M_c=0,8M_n$ он развивал скорость 400 об/мин. Построить искусственную механическую характеристику.

Задача 2-25. Определить сопротивление добавочного реостата, который необходимо включить в цепь якоря двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением ($P_n=40$ кВт, $U_n=440$ В, $I_n=100$ А, $n_n=1500$ об/мин, $R_{\text{посл}}=0,025$ Ом), чтобы при $M_c=200$ Н·м скорость составила 30% от n_n . Построить искусственную механическую характеристику.

Задача 2-26. Определить сопротивление добавочного реостата, который включён в цепь якоря двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением ($P_n=35$ кВт, $U_n=440$ В, $I_n=90$ А, $n_n=1000$ об/мин, $R_{\text{посл}}=0,033$ Ом), если при нагрузке $M_c=380$ Н·м скорость составила 600 об/мин. Построить искусственную механическую характеристику.

Задача 2-27. С какой скоростью вращается двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением при $M_c = 0,8M_n$, если добавочное сопротивление в якорной цепи равно 40% от номинального, а параметры двигателя: $P_n = 40$ кВт, $U_n = 440$ В, $I_n = 100$ А, $n_n = 1500$ об/мин, $R_{\text{посл}} = 0,025$ Ом? Построить искусственную механическую характеристику.

Задача 2-28. С какой скоростью вращается двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением при $M_c = 130$ Н·м, если добавочное сопротивление в якорной цепи равно 0,5 Ом от номинального, а параметры двигателя: $P_n = 10$ кВт, $U_n = 220$ В, $I_n = 50$ А, $n_n = 650$ об/мин, $R_{\text{посл}} = 0,1$ Ом? Построить искусственную механическую характеристику.

Задача 2-29. С какой скоростью вращается двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением ($P_n = 15$ кВт, $U_n = 220$ В, $I_n = 75$ А, $n_n = 1000$ об/мин) при $M_c = 160$ Н·м? Построить механическую и электромеханическую характеристики.

Задача 2-30. С какой скоростью вращается двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением ($P_n = 12$ кВт, $U_n = 110$ В, $I_n = 115$ А, $n_n = 1000$ об/мин, $R_{\text{посл}} = 0,098$ Ом) при $M_c = 0,5M_n$, если последовательно включённый добавочный реостат имеет сопротивление 10 Ом? Построить искусственную механическую характеристику.

Задача 2-31. Определить сопротивление добавочного реостата, который включён в цепь якоря двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением ($P_n = 50$ кВт, $U_n = 220$ В, $I_n = 250$ А, $\omega_n = 105$ рад/с, $R_{\text{посл}} = 0,02$ Ом), если при нагрузке $M_c = 500$ Н·м скорость составила 78 рад/с. Построить искусственную механическую характеристику.

Задача 2-32. Определить скорость двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением ($P_n = 3$ кВт, $U_n = 220$ В, $I_n = 15$ А, $n_n = 1000$ об/мин, $R_{\text{посл}} = 0,3$ Ом) при моменте нагрузки $M_c = 20$ Н·м. Построить механическую и электромеханические характеристики.

Задача 2-33. Определить сопротивление добавочного реостата, который необходимо включить в цепь якоря двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением ($P_n = 40$ кВт, $U_n = 440$ В, $I_n = 100$ А, $n_n = 1500$ об/мин, $R_{\text{посл}} = 0,025$ Ом), чтобы при нагрузке моментом $M_c = 1800$ Н·м он развивал скорость 500 об/мин. Построить искусственные механическую и электромеханическую характеристики.

Задача 2-34. Определить скорость, с которой будет вращаться двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением ($P_n = 35$ кВт, $U_n = 440$ В, $I_n = 90$ А, $n_n = 1000$ об/мин, $R_{\text{посл}} = 0,033$ Ом),

при $M_c=260$ Н·м и $R_{доб} = 0,4$ Ом. Построить искусственную механическую характеристику.

Задача 2-35. Определить сопротивление добавочного реостата, который необходимо включить в цепь якоря двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением ($P_n=3$ кВт, $U_n=220$ В, $I_n=15$ А, $n_n=1000$ об/мин, $R_{посл}= 0,3$ Ом), чтобы при $M_c=25$ Н·м скорость составляла 60% от номинальной. Построить искусственную электромеханическую характеристику.

3 РАСЧЁТ ПУСКОВЫХ УСТРОЙСТВ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

При пуске двигателя с параллельным возбуждением необходимо выполнить два основных условия:

- не допустить чрезмерно большого пускового тока, опасного для обмотки якоря, щёточных контактов и коллектора;
- обеспечить момент, необходимый для разбега двигателя с механизмом.

На практике используется три способа пуска двигателей постоянного тока:

- прямой пуск: включение якоря на номинальное напряжение сети. Способ используется в основном для двигателей малой мощности, у которых пусковые токи невелики;
- пуск с постепенным повышением напряжения на якоре: используется только в тех случаях, когда к точности регулирования скорости предъявляются высокие требования. Способ требует использования дорогого электронного оборудования (регулируемых выпрямителей), в связи с чем используется редко;
- реостатный пуск: получил широкое распространение ввиду простоты реализации. Заключается в подключении последовательной обмотки якоря во время пуска специальных реостатов, ограничивающих пусковой ток.

При неподвижном якоре ($n = 0$) индуцированная в обмотке якоря ЭДС равна нулю, поэтому при пуске двигателя без пускового реостата ток в обмотке якоря равен

$$I_{\Pi} = \frac{U}{R_{\text{я}}}, \quad (27)$$

где $R_{\text{я}}$ – сопротивление якоря, включающее сопротивление обмотки якоря, добавочных полюсов и щётки;

U – напряжение, подаваемое на обмотку якоря.

Так как в машинах постоянного тока сопротивление якоря составляет десятые и даже сотые доли Ома, то в случае непосредственного пуска двигателя в ход при номинальном напряжении сети ток якоря становится недопустимо большим. Поэтому у всех двигателей (за исключением двигателей малой мощности) ток в цепи якоря при пуске двигателя в ход ограничивают включением в цепь пускового реостата. При этом ток в цепи якоря становится равным

$$I_{\Pi} = \frac{U}{R_{\text{я}} + R_{\Pi}}, \quad (28)$$

где R_{Π} – сопротивление пускового реостата.

По мере увеличения частоты вращения якоря сопротивление пускового реостата (рисунок 15) необходимо уменьшить для сохранения динамического момента, благодаря которому обеспечивается разбег двигателя. При этом пусковой ток и момент двигателя за время пуска должны колебаться в заданных пределах. Обычно пусковой реостат делится на несколько секций. R_1 , R_2 и так далее (рисунок 15) назовём сопротивлениями ступеней при пуске, а r_1 , r_2 и так далее – сопротивлениями секций пускового реостата. Рассчитать параметры пускового реостата можно двумя методами: графическим и аналитическим.

При использовании графического метода расчёта пускового реостата строят пусковую диаграмму (рисунок 16), по горизонтальной оси которой откладывают пусковые моменты или токи: максимальный $M_1(I_1)$ и минимальный $M_2(I_2)$ моменты двигателя в конце разгона на любой из ступеней сопротивления, который обычно называют *переключающим моментом*. Моменты $M_1(I_1)$ и $M_2(I_2)$ для двигателей постоянного тока обычно принимают:

$$M_1 = (2 \div 2,5) M_n ; I_1 = (2 \div 2,5) I_n ;$$

$$M_2 = (1,1 \div 1,2) M_c ; I_2 = (1,1 \div 1,2) I_c ,$$

где M_n (I_n) – номинальный момент и ток двигателя;

M_c (I_c) – нагрузочный момент и ток двигателя.

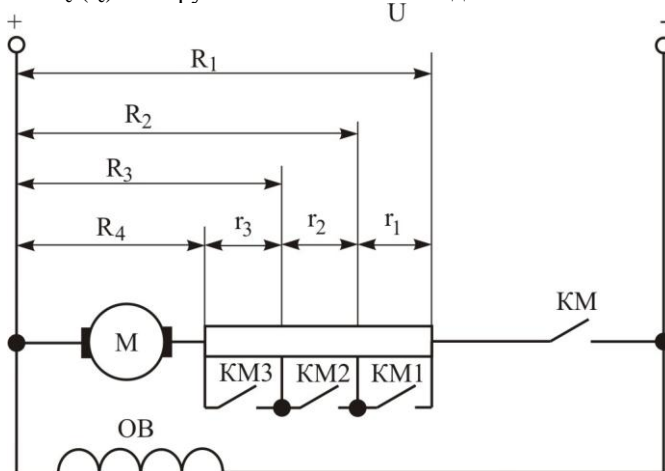


Рисунок 15 – Схема включения пускового реостата

$R_{\text{я}}$ принимается по каталогу или определяется по формуле

$$R_{\text{я}} = \frac{U}{I_{\text{н}}} 0,5(1 - \eta_{\text{н}}), \quad (29)$$

где $\eta_{\text{н}}$ – КПД двигателя при номинальной нагрузке;

$I_{\text{н}}$ – номинальный ток двигателя.

На вертикальной оси в выбранном масштабе откладывают частоту вращения при работе на холостом ходу n_0 (ω_0), которую можно определить по формуле

$$n_0 = n_{\text{н}} \frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} R_{\text{я}}} ; \quad \omega_0 = \omega_{\text{н}} \frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} R_{\text{я}}} , \quad (30)$$

или

$$n_0 = \frac{U}{C_e} ; \quad \omega_0 = \frac{U}{C} , \quad (31)$$

$$C_e = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} R_{\text{я}}}{n_{\text{н}}} ; \quad C = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} R_{\text{я}}}{\omega_{\text{н}}} , \quad (32)$$

где $n_{\text{н}}$ ($\omega_{\text{н}}$) – номинальная частота вращения (угловая скорость) двигателя.

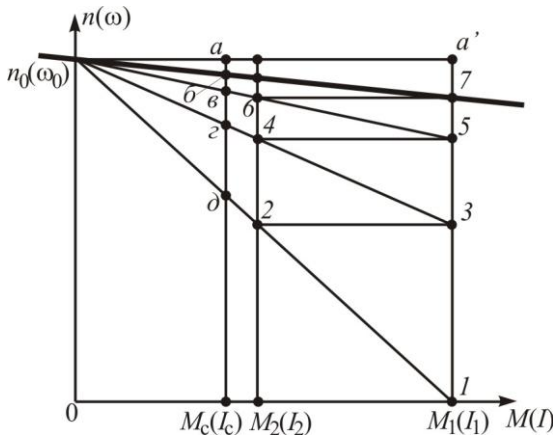


Рисунок 16 – Пусковые характеристики электродвигателя

Из точки, соответствующей номинальному моменту, проводят перпендикуляр $M_{\text{н}}a$, откладывают на нём в масштабе частоту вращения якоря $n_{\text{н}}$ и получают точку b (рисунок 16). Соединяя прямой точку b с точкой идеального холостого хода n_0 , получают естествен-

ную механическую характеристику двигателя $n_0б$. Отрезок $аб$ между горизонтальной прямой $n_0а$ и естественной механической характеристикой $n_0б$ соответствует сопротивлению якоря $R_я$.

Прямая $1n_0$ будет первой характеристикой, соответствующей полному сопротивлению резистора. С точки 1 начинается разбег двигателя. При достижении двигателем переключающего момента M_2 первую секцию резистора выключают, что изобразится горизонталью, проведённой через точку 2 . При пересечении этой горизонтали с перпендикуляром $M_1а'$ находится точка 3 второй искусственной характеристики. Отрезок $1-3$ в масштабе сопротивлений и даёт сопротивление первой секции резистора. Далее двигатель продолжает разбег по второй искусственной характеристике $3n_0$. При достижении двигателем переключающего момента M_2 вторую секцию резистора выключают, что изобразится горизонталью, проведённой через точку 4 . При пересечении этой горизонтали с перпендикуляром $M_1а'$ находится точка 5 третьей искусственной характеристики. Отрезок $3-5$ в масштабе сопротивлений даёт сопротивление второй секции резистора. Двигатель продолжает разбег по третьей искусственной характеристике $5n_0$. При достижении двигателем переключающего момента M_2 третью секцию резистора выключают, что изобразится горизонталью, проведённой через точку 6 . При пересечении этой горизонтали с естественной механической характеристикой $n_0б$ находится точка 7 . При этом возможны три характерные ситуации:

- пересечение горизонтали с естественной механической характеристикой лежит точно на вертикали $M_1а'$ – точка 7 получена;
- пересечение горизонтали с естественной механической характеристикой лежит левее вертикали $M_1а'$ – точка 7 не получена;
- пересечение горизонтали с естественной механической характеристикой лежит левее вертикали $M_1а'$ – точка 7 не получена.

Для того чтобы получить точку 7 в двух последних случаях, необходимо повторить построения, внося следующие изменения:

- незначительно *увеличить* $M_2(I_2)$;
- незначительно *уменьшить* $M_1(I_1)$.

Отрезок $5-7$ в масштабе сопротивлений даёт сопротивление второй секции резистора. Далее двигатель продолжает разбег по естественной механической характеристике и достигает рабочей точки $б$.

Масштаб для сопротивления, Ом/мм, равен $\mu_c = \frac{R_{\text{я}}}{7a'}$,

где $7a'$ – отрезок прямой, соответствующий сопротивлению якоря $R_{\text{я}}$.

При аналитическом расчёте необходимо помнить, что число пусковых ступеней ускорения для двигателей малой мощности (до 10 кВт) равно 1–2, для двигателей средней мощности (до 50 кВт) – 2–3, а для двигателей большей мощности – 3–4.

Если число ступеней неизвестно, то его можно определить по формуле

$$m = \frac{\lg \frac{U_{\text{н}}}{R_{\text{я}} I_1}}{\lg \lambda}, \quad (33)$$

где m – число ступеней пускового резистора;

I_1 – максимальный пусковой ток электродвигателя;

$\lambda = \frac{I_1}{I_2}$ – отношение максимального пускового тока к пере-

ключающему.

Если m получается дробным, то изменяют I_1 или I_2 таким образом, чтобы получилось целое число. Если число ступеней резистора известно, то отношение λ можно определить по формулам:

для режима работы с редкими пусками используется значение номинального тока двигателя $I_{\text{н}}$

$$\lambda = \sqrt[m+1]{\frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{я}} I_{\text{ф}}}}; \quad (34)$$

для напряжённо работающих приводов с большим числом включений в час используется значение максимального тока I_1 при пуске

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{U_{\text{н}}}{R_{\text{я}} I_1}}. \quad (35)$$

Сопротивления отдельных ступеней определяют следующим образом: $R_1 = \frac{U_{\text{н}}}{I_1}$; $R_2 = \frac{R_1}{\lambda}$; $R_3 = \frac{R_2}{\lambda}$ и т.д.

Сопротивление секций пускового реостата равно

$$r_1 = R_1 - R_2 = \frac{U_{\text{н}}}{I_1} \cdot \frac{\lambda - 1}{\lambda}; \quad (36)$$

$$r_2 = R_2 - R_3 = \frac{U_{\text{н}}}{I_1} \cdot \frac{\lambda - 1}{\lambda^2}; \quad (37)$$

$$r_i = R_i - R_{i+1} = \frac{U_{\text{н}}}{I_1} \cdot \frac{\lambda - 1}{\lambda^i}. \quad (38)$$

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 3-0-1. Графически определить величины пусковых сопротивлений для двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением типа П-71 с номинальными данными: $P_{\text{ном}} = 11 \text{ кВт}$, $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$, $I_{\text{ном}} = 62 \text{ А}$, $n_{\text{ном}} = 1000 \text{ об/мин}$, $R_{\text{я}} = 0,33 \text{ Ом}$.

При пуске двигателя величина момента колеблется от $M_1 = 2,5M_{\text{ном}}$ до $M_2 = 1,5M_{\text{ном}}$.

При решении этой задачи считать, что ток якоря равен току двигателя (пренебречь током возбуждения), момент на валу равен электромагнитному моменту двигателя (пренебречь моментом потерь вращения).

Решение. Номинальный момент равен

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \frac{11000}{1000} = 105,05 \text{ Н·м.}$$

Скорость идеального холостого хода составляет

$$n_0 = n_{\text{н}} \frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} R_{\text{я}}} = 1000 \cdot \frac{220}{220 - 62 \cdot 0,33} = 1100 \text{ об/мин.}$$

Значения максимального момента и момента переключения:

$$M_1 = 2,5M_{\text{ном}} = 2,5 \cdot 105,05 = 262,625 \text{ Н·м;}$$

$$M_2 = 1,5M_{\text{ном}} = 1,5 \cdot 105,05 = 157,575 \text{ Н·м.}$$

По естественной механической характеристике и найденным значениям M_1 и M_2 строим пусковую диаграмму.

Последующие искусственные характеристики проводим, начиная с нижней, проходящей через точку d , затем через точку z и т.д., как показано на рисунке 17.

Отрезки на линии ad соответствуют величинам пусковых сопротивлений в определённом масштабе. Для определения этого масштаба находим сопротивление всей якорной цепи в положении,

соответствующем реостатной характеристике, которая проходит через точку δ

$$R_1 = \frac{U_{\text{ном}}}{I_1} = \frac{U_{\text{ном}}}{2,5 I_{\text{ном}}} = \frac{220}{2,5 \cdot 62} = 1,42 \text{ Ом.}$$

Таким образом, масштаб сопротивлений составил

$$\mu = \frac{R_1}{a\delta} = \frac{1,42}{55} = 0,0258 \text{ Ом/мм.}$$

Пусковые сопротивления $R_{\text{п}}$ для положений реостата определяют по величинам отрезков $\delta\epsilon$, $\delta\zeta$, $\delta\theta$:

$$R_{\text{п1}} = \delta\epsilon\mu = 43 \cdot 0,0258 = 1,11 \text{ Ом;}$$

$$R_{\text{п2}} = \delta\zeta\mu = 21 \cdot 0,0258 = 0,54 \text{ Ом;}$$

$$R_{\text{п1}} = \delta\theta\mu = 8 \cdot 0,0258 = 0,206 \text{ Ом.}$$

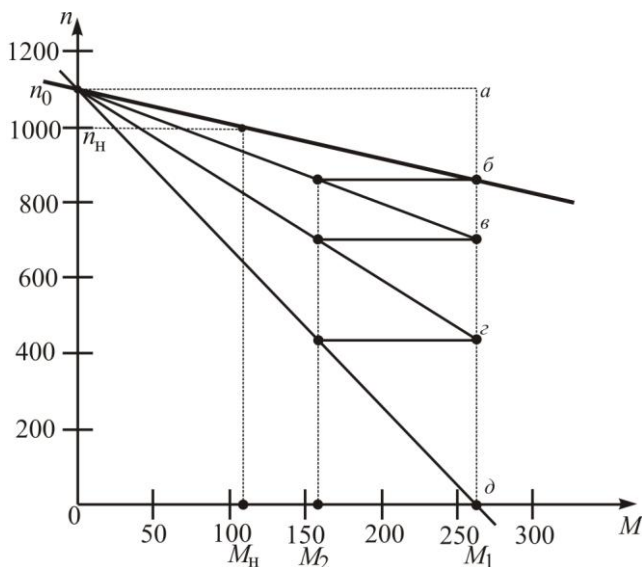


Рисунок 17 – Пусковая диаграмма двигателя П-71

Задача 3-0-2. Грузовая лебёдка приводится в движение двигателем постоянного тока П-81 с номинальными данными: $P_{\text{ном}} = 32 \text{ кВт}$, $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$, $I_{\text{ном}} = 170 \text{ А}$, $n_{\text{ном}} = 1500 \text{ об/мин}$, $R_{\text{я}} = 0,067 \text{ Ом}$, максимальный момент $M_{\text{max}} = 2,2 M_{\text{ном}}$. Пуск производится в 4 ступени.

Определить величины пусковых сопротивлений, полное сопротивление пускового реостата.

Решение. Номинальное сопротивление якоря равно

$$R_{\text{ном}} = \frac{U_{\text{ном}}}{I_{\text{ном}}} = \frac{220}{170} = 1,29 \text{ Ом.}$$

Для нахождения отношения максимального момента к моменту переключения воспользуемся соотношением

$$\lambda = m \sqrt{\frac{R_{\text{я}} M_{\text{ном}}}{R_{\text{ном}} M_{\text{max}}}} = 4 \sqrt{\frac{0,069}{1,29 \cdot 2,2}} = 1,72.$$

Сопротивление якорной цепи на отдельных ступенях пускового реостата равно:

$$R_1 = R_{\text{я}} \lambda = 0,067 \cdot 1,72 = 0,115 \text{ Ом;}$$

$$R_2 = R_1 \lambda = 0,115 \cdot 1,72 = 0,198 \text{ Ом;}$$

$$R_3 = R_2 \lambda = 0,198 \cdot 1,72 = 0,34 \text{ Ом;}$$

$$R_4 = R_3 \lambda = 0,34 \cdot 1,72 = 0,585 \text{ Ом.}$$

Сопротивления ступеней пускового реостата составляют

$$r_1 = R_4 - R_3 = 0,585 - 0,34 = 0,245 \text{ Ом;}$$

$$r_2 = R_3 - R_2 = 0,34 - 0,198 = 0,142 \text{ Ом;}$$

$$r_3 = R_2 - R_1 = 0,198 - 0,115 = 0,083 \text{ Ом;}$$

$$r_4 = R_1 - R_{\text{я}} = 0,115 - 0,067 = 0,048 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление пускового реостата равно

$$r_{\text{п}} = R_4 - R_{\text{я}} = 0,585 - 0,067 = 0,518 \text{ Ом.}$$

ЗАДАЧИ

Задача 3-1. Компрессор имеет электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением с номинальными данными: $P_{\text{ном}} = 32 \text{ кВт}$, $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$, $R_{\text{я}} = 0,095 \text{ Ом}$, $I_{\text{ном}} = 170 \text{ А}$, $n_{\text{ном}} = 1500 \text{ об/мин}$, $\eta = 86 \%$. Рассчитать количество ступеней и величины пусковых сопротивлений во всех положениях реостата, если при пуске момент электродвигателя изменяется от $M_1 = 2M_{\text{ном}}$ до $M_2 = 1,25M_{\text{ном}}$.

Задача 3-2. Выбрать величину сопротивления пускового реостата при пуске в одну ступень и определить начальный пусковой ток для двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением с номинальными данными: $P_{\text{ном}} = 4,2 \text{ кВт}$, $U_{\text{ном}} = 110 \text{ В}$, $R_{\text{я}} = 0,222$

Ом, $I_{\text{ном}} = 48,9 \text{ А}$, $n_{\text{ном}} = 750 \text{ об/мин}$, при условии, что пусковой момент $M_{\text{пуск}} = 1,8M_{\text{ном}}$ (считать коэффициент самоиндукции якоря равным нулю.)

Задача 3-3. Определить величину пускового тока двигателей постоянного тока с параллельным возбуждением при пуске напрямую, если $P_{\text{ном}} = 0,7 \text{ кВт}$, $U_{\text{ном}} = 65 \text{ В}$, $I_{\text{ном}} = 13 \text{ А}$, $n_{\text{ном}} = 1000 \text{ об/мин}$. Нарисовать механические характеристики (естественную и пусковую).

Задача 3-4. Определить величину сопротивления добавочного реостата при пуске двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением в одну ступень ($P_{\text{ном}} = 35 \text{ кВт}$, $U_{\text{ном}} = 440 \text{ В}$, $I_{\text{ном}} = 85 \text{ А}$, $n_{\text{ном}} = 1500 \text{ об/мин}$), если $M_{\text{доп}} = 2,2M_{\text{ном}}$, $M_{\text{с}} = 200 \text{ Н·м}$. До какой скорости разгонится двигатель на этой характеристике?

Задача 3-5. Рассчитать величину сопротивления добавочного реостата в цепи якоря двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением ($P_{\text{ном}} = 42 \text{ кВт}$, $U_{\text{ном}} = 440 \text{ В}$, $I_{\text{ном}} = 100 \text{ А}$, $n_{\text{ном}} = 1450 \text{ об/мин}$, $\lambda_{\text{ном}} = 2,7$) при пуске в одну ступень, чтобы максимальный пусковой момент не превышал допустимого значения.

Задача 3-6. Какое значение тока при пуске будет потреблять двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением ($P_{\text{ном}} = 55 \text{ кВт}$, $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$, $I_{\text{ном}} = 260 \text{ А}$, $n_{\text{ном}} = 970 \text{ об/мин}$, $\lambda_{\text{ном}} = 2,2$), если в цепь якоря включён добавочный реостат с сопротивлением $R_{\text{доб}} = 2,2 \text{ Ом}$. Проверить пусковой ток по перегрузочной способности.

Задача 3-7. Можно ли запустить двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением ($P_{\text{ном}} = 34 \text{ кВт}$, $U_{\text{ном}} = 440 \text{ В}$, $I_{\text{ном}} = 80 \text{ А}$, $n_{\text{ном}} = 1450 \text{ об/мин}$, $\lambda_{\text{ном}} = 2,4$) при моменте сопротивления $M_{\text{с}} = 1,5M_{\text{ном}}$, если в цепь якоря включён добавочный реостат с сопротивлением $R_{\text{доб}} = 5,2 \text{ Ом}$?

Задача 3-8. Рассчитать необходимое число пусковых ступеней реостата, чтобы пустить двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением ($P_{\text{ном}} = 70 \text{ кВт}$, $U_{\text{ном}} = 440 \text{ В}$, $I_{\text{ном}} = 170 \text{ А}$, $n_{\text{ном}} = 2800 \text{ об/мин}$, $M_{\text{доп}} = 2,1M_{\text{ном}}$), работающий в номинальном режиме.

Задача 3-9. Рассчитать число пусковых ступеней реостата, чтобы пустить двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением ($P_{\text{ном}} = 16 \text{ кВт}$, $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$, $I_{\text{ном}} = 80 \text{ А}$, $n_{\text{ном}} = 2800 \text{ об/мин}$,

$M_{\text{доп}} = 1,9M_{\text{ном}}$), работающий с моментом $M_c = 62$ Н·м. До какой скорости разгонится двигатель на естественной механической характеристике?

Задача 3-10. Рассчитать число и величину пусковых ступеней реостата для пуска двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением ($P_{\text{ном}} = 24$ кВт, $U_{\text{ном}} = 220$ В, $I_{\text{ном}} = 120$ А, $n_{\text{ном}} = 1450$ об/мин, $M_{\text{доп}} = 2,2M_{\text{ном}}$), работающего с моментом $M_c = 120$ Н·м. Определить скорость двигателя при переключении на каждой ступени.

Задача 3-11. Рассчитать число и величину пусковых ступеней реостата для пуска двигателя постоянного тока ($P_{\text{ном}} = 24$ кВт, $U_{\text{ном}} = 220$ В, $I_{\text{ном}} = 120$ А, $n_{\text{ном}} = 1450$ об/мин, $M_{\text{доп}} = 2,2M_{\text{ном}}$), работающего с моментом $M_c = 165$ Н·м. До какой скорости разгонится двигатель на полном пусковом сопротивлении в цепи якоря?

Задача 3-12. Определить величину пусковых сопротивлений пускового реостата двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением ($P_{\text{ном}} = 41$ кВт, $U_{\text{ном}} = 440$ В, $I_{\text{ном}} = 100$ А, $n_{\text{ном}} = 2750$ об/мин, $M_{\text{мах}} = 1,8M_{\text{ном}}$), если $M_c = 0,75M_{\text{ном}}$, а число пусковых ступеней принято $m = 6$. Определите скорость двигателя на каждой переключаемой ступени.

Задача 3-13. Определите величину пусковых сопротивлений пускового реостата двигателя постоянного тока с независимым возбуждением ($P_{\text{ном}} = 45$ кВт, $U_{\text{ном}} = 220$ В, $I_{\text{ном}} = 215$ А, $n_{\text{ном}} = 2800$ об/мин, $M_{\text{доп}} = 2M_{\text{ном}}$), если число пусковых ступеней $m = 5$.

Задача 3-14. Сколько ступеней пускового реостата понадобится, чтобы запустить двигатель постоянного тока с независимым возбуждением ($P_{\text{ном}} = 45$ кВт, $U_{\text{ном}} = 220$ В, $I_{\text{ном}} = 215$ А, $n_{\text{ном}} = 2800$ об/мин, $M_{\text{доп}} = 2M_{\text{ном}}$) при нагрузке $M_c = M_{\text{хх}} = 0,2M_{\text{ном}}$ и при $M_c = 1,2M_{\text{ном}}$? Определить, до какой скорости будет разгоняться двигатель на каждой ступени.

Задача 3-15. Произойдёт ли запуск двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением ($P_{\text{ном}} = 1,5$ кВт, $U_{\text{ном}} = 220$ В, $I_{\text{ном}} = 8$ А, $\omega_{\text{ном}} = 100$ рад/с), если $M_c = 1,3M_{\text{ном}}$, а в цепь якоря введено $R_{\text{доб}} = 4,6$ Ом?

Задача 3-16. Рассчитать число и величину пусковых ступеней реостата двигателя постоянного тока с независимым возбуждением

($P_{\text{ном}} = 16 \text{ кВт}$, $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$, $I_{\text{ном}} = 75 \text{ А}$, $n_{\text{ном}} = 750 \text{ об/мин}$, $M_{\text{доп}} = 2,2M_{\text{ном}}$), если двигатель работает с моментом сопротивления $M_{\text{с}} = 140 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Задача 3-17. Для двигателя постоянного тока с независимым возбуждением типа 2ПА-132 с номинальными данными $P_{\text{ном}} = 7 \text{ кВт}$, $U_{\text{ном}} = 440 \text{ В}$, $\eta_{\text{ном}} = 83\%$, $n_{\text{ном}} = 2240 \text{ об/мин}$ определить сопротивление пускового реостата, который обеспечит ограничение тока при пуске до уровня $I_{\text{доп}} = 2,5I_{\text{ном}}$.

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРЁХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

На практике для построения механических характеристик и определения важнейших параметров асинхронных двигателей применяются расчёты по паспортным данным. В этих случаях должны быть известны $P_{\text{ном}}$, $U_{\text{ном}}$, $I_{\text{ном}}$, $n_{\text{ном}}$, $\cos \varphi_{\text{ном}}$, $\eta_{\text{ном}}$.

Уравнение механической характеристики асинхронного двигателя

$$M = \frac{2M_{\text{к}}(1 + qs_{\text{к}})}{\frac{s}{s_{\text{к}}} + \frac{s_{\text{к}}}{s} + 2qs_{\text{к}}}; \quad (39)$$

или

$$M = \frac{2M_{\text{к}}}{\frac{s}{s_{\text{к}}} + \frac{s_{\text{к}}}{s}}, \quad (40)$$

где $M_{\text{к}}$ – максимальный момент, развиваемый двигателем;

M – значение момента двигателя при скольжении s ;

$q = \frac{r_1}{r_2'}$ – учитывает падение напряжения в статорной цепи;

r_1 – активное сопротивление обмотки статора;

r_2' – сопротивление ротора, приведённое к статору;

$s_{\text{к}}$ – максимальное скольжение, при котором двигатель развивает максимальный момент $M_{\text{к}}$.

Механическая характеристика строится для рабочей части по двум точкам:

– первая точка: $M = 0$; $n = n_1 = \frac{60f}{p}$,

где f – частота питающего тока, Гц;

p – число пар полюсов обмотки статора;

n_1 – синхронная частота вращения, об/мин;

– вторая точка: $n = n_{\text{ном}}$; $M = M_{\text{ном}} = 9,55 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}}$.

Далее, задаваясь скольжением s от 0 до 1, по формулам (39) или (40) строится механическая характеристика двигателя.

Максимальное скольжение можно определить:

1) по параметрам машины

$$s_K = \pm \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}}, \quad (41)$$

где x_1 – индуктивное сопротивление обмотки статора;

x_2' – индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведённое к статору;

2) по упрощённому соотношению

$$s_K = 5s_{\text{ном}}, \quad (42)$$

где $s_{\text{ном}} = \frac{n_1 - n_{\text{ном}}}{n_1}$ – номинальное скольжение;

3) по приближённой формуле

$$s_K = s_{\text{ном}} \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right), \quad (43)$$

где $\lambda = \frac{M_K}{M_{\text{ном}}}$ – перегрузочная способность двигателя (принимается по паспорту или каталогу).

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 4-0-1. Для асинхронного двигателя с фазным ротором со следующими номинальными данными: $P_{\text{ном}} = 125$ кВт,

$n_{\text{ном}} = 585$ об/мин, $n_0 = 600$ об/мин, $\lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 3,4$ рассчитать и

построить механическую характеристику в двигательном режиме. Потерями вращения пренебречь.

Решение. Номинальный момент равен

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \frac{125000}{585} = 2040,6 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Номинальное скольжение составляет

$$s_{\text{ном}} = \frac{n_0 - n_{\text{ном}}}{n_0} = \frac{600 - 585}{600} = 0,025.$$

Максимальный момент равен

$$M_{\text{max}} = \lambda M_{\text{ном}} = 3,4 \cdot 2040,6 = 6938 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Критическое скольжение составляет

$$s_K = s_{\text{ном}} \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) = 0,025 \cdot \left(3,4 + \sqrt{3,4^2 - 1} \right) = 0,167.$$

Дальнейший расчёт момента проведём по упрощённой формуле Клосса, задаваясь произвольными значениями s ,

$$M = \frac{2M_{\max}}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}.$$

Результаты расчёта сведём в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта механической характеристики асинхронного электродвигателя

s	$\frac{s}{s_K}$	$\frac{s_K}{s}$	$\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}$	M	n
0	0	∞	∞	0	600
0,025	0,15	6,68	6,83	2031,6	585
0,1	0,6	1,67	2,27	6112,78	540
0,167	1	1	2	6938	500
0,2	1,2	0,835	2,035	6818,67	480
0,3	1,8	0,557	2,357	5887,1	420
0,4	2,4	0,418	2,818	4924,1	360
0,5	2,99	0,334	3,324	4174,5	300
0,6	3,59	0,279	3,869	3586,5	240
0,7	4,19	0,239	4,429	3133	180
0,8	4,79	0,209	4,999	2775,2	120
0,9	5,39	0,185	5,575	2489	60
1	5,99	0,167	6,157	2253,7	0

По данным таблицы 3 построим механическую характеристику $n = f(M)$, которая представлена на рисунке 18.

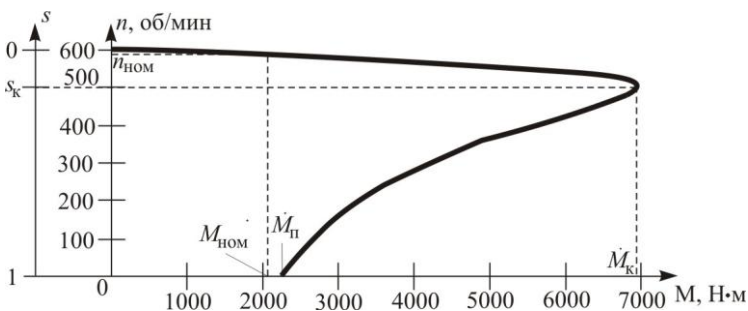


Рисунок 18 – Механическая характеристика асинхронного двигателя

Задача 4-0-2. Для привода подъёмного механизма принят электродвигатель со следующими номинальными данными: $P_{\text{ном}} = 60$ кВт при ПВ = 25%, $n_{\text{ном}} = 577$ об/мин, $n_0 = 600$ об/мин, $U_{\text{ном}} = 380$ В,

$$I_{\text{ном2}} = 600 \text{ А}, \quad \lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 2,9.$$

Определить скорость электродвигателя n_1 при моменте сопротивления $M_1 = 500$ Н·м; величины добавочных сопротивлений в цепи ротора при моменте $M_2 = 850$ Н·м и скоростях $n_2 = 440$ об/мин, $n_3 = 525$ об/мин; сопротивления в цепи ротора, если двигатель работает в генераторном режиме со скоростью $n_4 = 700$ об/мин и в режиме противобключения со скоростью $n_5 = 150$ об/мин.

Решение. Номинальный момент равен

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \frac{60000}{577} = 933 \text{ Н·м}.$$

Номинальное скольжение составляет

$$s_{\text{ном}} = \frac{n_0 - n_{\text{ном}}}{n_0} = \frac{600 - 577}{600} = 0,0383.$$

Максимальный момент равен

$$M_{\text{max}} = \lambda M_{\text{ном}} = 2,9 \cdot 933 = 2705,7 \text{ Н·м}.$$

Критическое скольжение составляет

$$s_{\text{к}} = s_{\text{ном}} \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) = 0,0383 \cdot \left(2,9 + \sqrt{2,9^2 - 1} \right) = 0,215.$$

Скольжение при заданном моменте $M_1 = 500$ Н·м определим по упрощённой формуле Клосса, считая механическую характеристику двигателя в рабочей части линейной. Получим

$$s_1 = s_{\text{ном}} \frac{M_1}{M_{\text{ном}}} = 0,0383 \frac{500}{933} = 0,0205.$$

Скорость при заданном моменте $M_1 = 500$ Н·м равна

$$n_1 = n_0 (1 - s_1) = 600 \cdot (1 - 0,0205) = 587,7 \text{ об/мин}.$$

Сопротивление ротора электродвигателя определим из выражения

$$m_2 I_{\text{ном2}}^2 R_2 = M_{\text{ном}} \omega_0 s_{\text{ном}}.$$

Решая это уравнение относительно R_2 , получим

$$R_2 = \frac{M_{\text{ном}} \omega_0 s_{\text{ном}}}{m_2 I_{\text{ном2}}^2} = \frac{2\pi n_0 M_{\text{ном}} s_{\text{ном}}}{60 m_2 I_{\text{ном2}}^2} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 600 \cdot 933 \cdot 0,0383}{60 \cdot 3 \cdot 160^2} = 0,0584 \text{ Ом.}$$

Скольжения при скоростях n_2 и n_3 соответственно равны:

$$s_2 = \frac{n_0 - n_2}{n_0} = \frac{600 - 440}{600} = 0,267,$$

$$s_3 = \frac{n_0 - n_3}{n_0} = \frac{600 - 525}{600} = 0,125.$$

Скольжение на естественной характеристике при моменте $M_2 = 850 \text{ Н·м}$ определим по уже использованному ранее выражению

$$s_{e2} = s_{\text{ном}} \frac{M_2}{M_{\text{ном}}} = 0,0383 \frac{850}{933} = 0,0349.$$

Сопротивление добавочного реостата, включённого последовательно в каждую фазу обмотки ротора для получения скорости n_2 , определим из следующего соотношения:

$$\frac{s_2}{s_{e2}} = \frac{R_2 + R_{\text{доб1}}}{R_2},$$

откуда

$$R_{\text{доб1}} = R_2 \left(\frac{s_2}{s_{e2}} - 1 \right) = 0,0584 \left(\frac{0,267}{0,0349} - 1 \right) = 0,388 \text{ Ом.}$$

Добавочное сопротивление $R_{\text{доб2}}$, включённое в каждую линию обмотки ротора, необходимо для получения скорости n_2 ,

$$R_{\text{доб2}} = R_2 \left(\frac{s_3}{s_{e2}} - 1 \right) = 0,0584 \left(\frac{0,125}{0,0349} - 1 \right) = 0,151 \text{ Ом.}$$

Скольжения в тормозном режиме при моменте $M_1 = 500 \text{ Н·м}$

$$s_4 = \frac{n_0 - n_4}{n_0} = \frac{600 - 700}{600} = -0,166,$$

$$s_5 = \frac{n_0 - n_5}{n_0} = \frac{600 - (-150)}{600} = 1,25.$$

Для получения этих скольжений сопротивления в цепи ротора должны быть равны:

в генераторном режиме

$$R_{\text{доб}} = R_2 \frac{s_4}{s_1} = 0,0584 \frac{0,166}{0,0205} = 0,473 \text{ Ом};$$

в режиме противовключения

$$R_{\text{доб}} = R_2 \frac{s_5}{s_1} = 0,0584 \frac{1,25}{0,0205} = 3,56 \text{ Ом}.$$

Построим механические характеристики. Результаты представлены на рисунке 19.

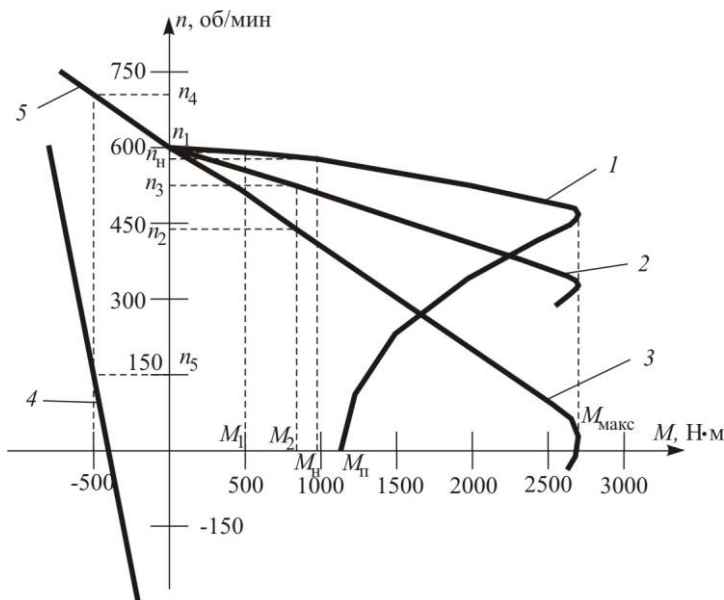


Рисунок 19 – Механические характеристики асинхронного двигателя при включении в цепь ротора добавочных регулировочных реостатов:

1 – естественная механическая характеристика; 2 – искусственная механическая характеристика при включении в цепь ротора реостата сопротивлением 0,151 Ом; 3 – искусственная механическая характеристика при включении в цепь ротора реостата сопротивлением 0,388 Ом; 4 – искусственная механическая характеристика торможения противовключением при включении в цепь ротора реостата сопротивлением 3,56 Ом; 5 – искусственная механическая характеристика рекуперативного торможения при включении в цепь ротора реостата сопротивлением 0,473 Ом.

Задача 4-0-3. Поршневой компрессор приводится во вращение асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором типа АО2-82-6 со следующими номинальными данными: $P_{\text{ном}} = 40$ кВт,

$$U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}, \quad I_{\text{ном}} = 76,8 \text{ А}, \quad n_{\text{ном}} = 980 \text{ об/мин}, \quad \lambda = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}} = 2,28,$$

$$\lambda_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 1,5, \quad k_{\text{т}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}} = 6,5, \quad \eta_{\text{ном}} = 90\%, \quad \cos \varphi_{\text{ном}} = 0,87,$$

$s_{\text{ном}} = 0,02$, $\cos \varphi_{\text{пуск}} = 0,45$. Электродвигатель пускается от сети ограниченной мощности с моментом нагрузки $M_{\text{с}} = 0,6M_{\text{ном}}$. Рассчитать активные сопротивления в линиях статора для максимального ограничения пускового тока электродвигателя.

Решение. Допустимый коэффициент снижения напряжения на зажимах двигателя

$$a = \sqrt{\frac{0,6M_{\text{ном}}}{\lambda_{\text{ном}}M_{\text{ном}}}} = \sqrt{\frac{0,6}{1,5}} = \sqrt{0,4} = 0,633.$$

Полное сопротивление короткого замыкания обмотки статора

$$z_{\text{кз}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}k_{\text{т}}I_{\text{ном}}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 6,5 \cdot 76,8} = 0,44 \text{ Ом}.$$

Активное и индуктивное сопротивления

$$R_{\text{кз}} = z_{\text{кз}} \cos \varphi_{\text{кз}} = 0,44 \cdot 0,45 = 0,198 \text{ Ом};$$

$$x_{\text{кз}} = \sqrt{z_{\text{кз}}^2 - R_{\text{кз}}^2} = \sqrt{0,44^2 - 0,198^2} = 0,393 \text{ Ом}.$$

Полное активное сопротивление при пуске

$$R_{\text{пуск}} = \sqrt{\frac{z_{\text{кз}}^2}{a^2} - x_{\text{кз}}^2} = \sqrt{\left(\frac{0,44}{0,633}\right)^2 - 0,393^2} = 0,575 \text{ Ом}.$$

Добавочное сопротивление в каждой линии статора

$$R_{\text{доб}} = R_{\text{пуск}} - R_{\text{кз}} = 0,575 - 0,198 = 0,377 \text{ Ом}.$$

ЗАДАЧИ

Задача 4-1. Определить величину добавочного сопротивления, которое необходимо включить в цепь ротора асинхронного двигателя со следующими номинальными данными: $P_{\text{ном}} = 3,5$ кВт, $n_{\text{ном}} = 910$ об/мин, $n_0 = 1000$ об/мин, $U_{\text{ном}} = 380$ В, $E_{\text{ном2}} = 204$ В, $I_{\text{ном2}} = 12,2$

А, если он должен работать с моментом сопротивления $M_c = 32$ Н·м при скорости 610 об/мин.

Задача 4-2. Асинхронный электродвигатель с фазным ротором со следующими номинальными данными: $P_{\text{ном}} = 22,5$ кВт, $n_{\text{ном}} = 1460$ об/мин, $n_0 = 1500$ об/мин, $U_{\text{ном}} = 380$ В, $E_{\text{ном2}} = 190$ В, $R_1 = 0,2$ Ом, $R_2 = 0,06$ Ом,

$$\lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 2 \text{ приводит в действие жёстко с ним соединённый центробеж-}$$

ный вентилятор. Механическая характеристика вентилятора задана уравнением $M_c = 12 + 53 \cdot 10^{-6} n^2$ Н·м. С какой скоростью n_1 будет работать вентилятор на естественной характеристике электродвигателя и какое нужно включить добавочное сопротивление $R_{\text{доб}}$ в цепь ротора, чтобы скорость вращения вентилятора была $n_2 = 1100$ об/мин?

Задача 4-3. Электродвигатель насоса пускается от сети переменного тока ограниченной мощности. Номинальные данные асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором типа 4А225М4УЗ: $P_{\text{ном}} = 55$ кВт, $U_{\text{ном}} = 380$ В, $n_{\text{ном}} = 1480$ об/мин,

$$\lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 2,5, \quad \lambda_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 1,3, \quad k_T = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}} = 7, \quad \eta_{\text{ном}} = 92,5 \%,$$

$\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,9$, $\cos \varphi_{\text{пуск}} = 0,4$. Определить величину пускового активного сопротивления в цепи статора, включённого во все линии, которое бы снижало пусковой ток на 30%.

Задача 4-4. Определить величину пускового активного сопротивления в цепи статора, включённого во все линии, для электродвигателя типа RA100L6 со следующими номинальными данными:

$$P_{\text{ном}} = 1,5 \text{ кВт}, \quad U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}, \quad n_{\text{ном}} = 925 \text{ об/мин}, \quad \lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 2,1,$$

$$\lambda_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 2, \quad k_T = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}} = 4,5, \quad \eta_{\text{ном}} = 76 \%, \quad \cos \varphi_{\text{ном}} = 0,76,$$

$\cos \varphi_{\text{пуск}} = 0,5$. Пусковое активное сопротивление должно снизить пусковой момент на 30%.

Задача 4-5. Определить необходимое сопротивление реактора, обеспечивающего остаточное напряжение $0,8 U_{\text{ном}}$ при непосредственном пуске двигателя серии АД4 от сети ограниченной мощно-

сти. Номинальные данные двигателя: $P_{\text{ном}} = 500$ кВт, $U_{\text{ном}} = 10000$

$$\text{В, } I_{\text{ном}} = 56,5 \text{ А, } k_{\text{т}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}} = 5,1, \cos \varphi_{\text{кз}} = 0,4.$$

Задача 4-6. Механизм приводится во вращение электродвигателем типа 4АК160М6У3 со следующими номинальными данными: $P_{\text{ном}} = 10$ кВт, $s_{\text{ном}} = 4,5\%$, $n_0 = 1000$ об/мин, $U_{\text{ном}} = 380$ В,

$$I_{\text{ном2}} = 20 \text{ А, } \lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 3,8. \text{ Какое дополнительное сопротивление}$$

необходимо включить в обмотку ротора, чтобы при нагрузке $0,7 \cdot M_{\text{ном}}$ двигатель вращался со скоростью 800 об/мин?

Задача 4-7. Механизм приводится во вращение электродвигателем типа 4АК160М4У3 со следующими номинальными данными: $P_{\text{ном}} = 14$ кВт, $s_{\text{ном}} = 4\%$, $n_0 = 1500$ об/мин, $U_{\text{ном}} = 380$ В, $I_{\text{ном2}} = 29$ А,

$$\lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 3,5. \text{ Какое дополнительное сопротивление необходимо}$$

включить в обмотку ротора, чтобы при нагрузке $0,8 \cdot M_{\text{ном}}$ двигатель вращался со скоростью 1000 об/мин?

Задача 4-8. Электродвигатель 4А90Л2У3 имеет следующие номинальные данные: $P_{\text{ном}} = 3$ кВт, $U_{\text{ном}} = 380$ В, $n_{\text{ном}} = 2840$

$$\text{об/мин, } \lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 2,2, \quad \lambda_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 2, \quad k_{\text{т}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}} = 6,5,$$

$\eta_{\text{ном}} = 84,5\%$, $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,88$. Определить: номинальный и пусковой токи; номинальный, максимальный и пусковой моменты; номинальное и критическое скольжение.

Задача 4-9. Электродвигатель 4АК160М4У3 имеет следующие номинальные данные: $P_{\text{ном}} = 14$ кВт, $s_{\text{ном}} = 4\%$, $n_0 = 1500$ об/мин,

$$U_{\text{ном}} = 380 \text{ В, } I_{\text{ном2}} = 29 \text{ А, } \lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 3,5. \text{ Определить сопротивление,}$$

которое необходимо ввести в каждую фазу обмотки ротора, чтобы в режиме динамического торможения при моменте 100 Н·м он имел скорость 500 об/мин.

Задача 4-10. Электродвигатель 4АК160М4У3 имеет следующие номинальные данные: $P_{\text{ном}} = 14$ кВт, $s_{\text{ном}} = 4\%$, $n_0 = 1500$ об/мин,

$$U_{\text{ном}} = 380 \text{ В, } I_{\text{ном2}} = 29 \text{ А, } \lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 3,5. \text{ Определить сопротивление,}$$

которое необходимо ввести в каждую фазу обмотки ротора, чтобы в режиме динамического торможения при моменте 100 Н·м он имел скорость 800 об/мин.

Задача 4-11. Электродвигатель 4АК160М4У3 имеет следующие номинальные данные: $P_{\text{ном}} = 14$ кВт, $s_{\text{ном}} = 4\%$, $n_0 = 1500$ об/мин,

$U_{\text{ном}} = 380$ В, $I_{\text{ном2}} = 29$ А, $\lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 3,5$. Определить сопротивление,

которое необходимо ввести в каждую фазу обмотки ротора, чтобы в режиме торможения противовключением при моменте 90 Н·м он имел скорость 800 об/мин.

Задача 4-12. Электродвигатель РА112М2 имеет следующие номинальные данные: $P_{\text{ном}} = 4$ кВт, $U_{\text{ном}} = 380$ В, $n_{\text{ном}} = 2895$ об/мин,

$\lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 3,3$, $\lambda_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 2,2$, $k_{\text{т}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}} = 6,8$, $\eta_{\text{ном}} = 84\%$,

$\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,87$. Определить: номинальный и пусковой токи; номинальный, максимальный и пусковой моменты; номинальное и критическое скольжение.

Задача 4-13. Электродвигатель РА112М4 имеет следующие номинальные данные: $P_{\text{ном}} = 4$ кВт, $U_{\text{ном}} = 380$ В, $n_{\text{ном}} = 1430$ об/мин,

$\lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 2,9$, $\lambda_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 2,2$, $k_{\text{т}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}} = 6,5$, $\eta_{\text{ном}} = 85,5\%$,

$\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,84$. Определить: номинальный и пусковой токи; номинальный, максимальный и пусковой моменты; момент нагрузки, при котором двигатель вращается со скоростью 1400 об/мин; потери мощности при номинальной нагрузке.

Задача 4-14. Постройте механическую характеристику и зависимость $n = f(I_2)$ для двигателя 4АНК250SB4У3, имеющего следующие номинальные данные: $P_{\text{ном}} = 90$ кВт, $s_{\text{ном}} = 4\%$, $n_0 = 1500$

об/мин, $U_{\text{ном}} = 380$ В, $I_{\text{ном2}} = 260$ А, $\lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 2,5$.

Задача 4-15. Постройте механическую характеристику и зависимость $n = f(I_2)$ для двигателя 4АНК335М4У3, имеющего следующие номинальные данные: $P_{\text{ном}} = 400$ кВт, $s_{\text{ном}} = 2\%$, $n_0 = 1500$

об/мин, $U_{\text{ном}} = 380$ В, $I_{\text{ном2}} = 485$ А, $\lambda = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 2$.

Задача 4-16. Электродвигатель АИР200М12/6 имеет следующие номинальные данные: $P_{\text{ном}} = 14$ кВт, $U_{\text{ном}} = 380$ В, $n_{\text{ном}} = 980$ об/мин,

$$\lambda = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}} = 2, \quad \lambda_{\text{пуск}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 1,7, \quad k_{\text{т}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}} = 6,5, \quad \eta_{\text{ном}} = 89\%,$$

$\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,85$. Определить: номинальный и пусковой токи; номинальный, максимальный и пусковой моменты; момент нагрузки, при котором двигатель вращается со скоростью 970 об/мин; потери мощности при номинальной нагрузке.

5 ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Необходимо отметить, что электродвигатель является основой всей системы электропривода. Для приведения в движение одного и того же производственного механизма можно использовать различные двигатели. Все двигатели на современном этапе развития элементной базы систем управления допускают регулирование скорости в широких диапазонах. Поэтому при равных технических результатах, обеспечиваемых различными вариантами реализации систем электропривода, на передний план выходят *экономические критерии*: первоначальная стоимость системы и эксплуатационные расходы. Несмотря на большой опыт эксплуатации электроприводов и наличие рекомендаций по применению тех или иных типов двигателей для привода характерных исполнительных органов рабочих машин, постоянно появляются новые механизмы, для которых ещё нет однозначных решений.

Выбор электродвигателя – задача сложная, потому что требует учёта множества факторов. Рассмотрим основные из них.

Для выбора электродвигателя необходимо в первую очередь определить к какому типовому режиму можно отнести изменение его нагрузочных и тепловых параметров во времени. Это поможет правильно подобрать математический аппарат для расчёта мощности электродвигателя. ГОСТ 28173 (МЭК 60034-1) устанавливает следующие характерные режимы работы электродвигателей:

– **продолжительный режим работы S1.** Режим характеризуется неизменной нагрузкой и потерями при работе двигателя в течение времени, достаточного для достижения установившейся (неизменной) температуры всех его частей. Номинальная мощность двигателя в справочниках обычно приводится для этого режима;

– **кратковременный режим работы S2.** В этом режиме электродвигатель работает в течение времени, недостаточного для достижения всеми частями машины установившейся температуры, после чего следует остановка электродвигателя на время, достаточное для его охлаждения до температуры, не более чем на 2°C превышающей температуру окружающей среды. Мощность электродвигателя в кратковременном режиме P_{S2} можно ориентировочно определить по формуле:

$$\frac{P_{S2}}{P_{S1}} \leq 0,8 \frac{M_{\max}}{M_n} \cdot \frac{1}{e^{\frac{\Delta T_p}{T}}}, \quad (44)$$

где P_{S1} – номинальная мощность в длительном режиме;

M_{\max} – максимально допустимый момент;

M_n – номинальный момент двигателя;

Δt_p – время работы электродвигателя;

T – постоянная времени нагрева двигателя;

– **периодический повторно-кратковременный режим работы S3**. Данный режим представляет собой последовательность идентичных циклов работы, каждый из которых включает время работы при неизменной нагрузке, за которое электродвигатель не нагревается до установившейся температуры, и время стоянки, за которое двигатель не охлаждается до температуры окружающей среды. При этом потери при пуске не оказывают влияния на температуру частей электрической машины. Мощность двигателя в повторно-кратковременном режиме можно ориентировочно определить по выражению:

$$P_{S3} = P_{Sl} \sqrt{1 + \frac{\left(1 - \frac{ПВ}{100}\right) \cdot \beta_0}{(1 - K_0) \cdot \frac{ПВ}{100}}}, \quad (45)$$

где $\beta_0 = \frac{A_0}{A}$ – коэффициент ухудшения теплоотдачи при неподвижном роторе;

A, A_0 – теплоотдача, соответственно, при вращающемся с номинальной скоростью роторе и при неподвижном роторе, $\frac{Дж}{с \cdot ^\circ C}$;

K_0 – отношение потерь холостого хода к потерям при нагрузке;

ПВ – относительная продолжительность включения, %.

Значения коэффициентов β_0 и K_0 приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения коэффициентов β_0 и K_0 для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором серий АИ, 4АМ, 5А

Высота оси вращения, мм	β_0				K_0			
	2р=2	2р=4	2р=6	2р=8	2р=2	2р=4	2р=6	2р=8
80	0,55	0,6	0,55	0,6	0,25	0,4	0,55	0,6
112	0,35	0,4	0,5	0,5	0,25	0,3	0,33	0,38
132	0,35	0,35	0,4	0,4	0,25	0,3	0,33	0,38
160 – 180	0,3	0,35	0,35	0,35	0,2	0,23	0,3	0,36
200 – 250	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,22	0,27	0,32
280 – 315	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,27	0,28

– **периодический повторно-кратковременный режим с влиянием пусковых процессов S4.** Режим включает в себя последовательность идентичных режимов работы, каждый из которых содержит время пуска Δt_D , время работы при постоянной нагрузке Δt_p , за которое двигатель не успевает нагреться до установившейся температуры, и время стоянки Δt_R , за которое электродвигатель не охлаждается до температуры окружающей среды. Допустимое число пусков в час двигателя, имеющего динамический момент инерции ротора J_M , кг·м², и работающего в режиме S4 со статической нагрузкой на валу, которая определяется мощностью P_2 , кВт, и динамической нагрузкой, находимой при помощи динамического момента инерции приводимой машины J_{EXT} , кг·м², по формулам:

$$Z = Z_0 \frac{K_M \cdot K_p}{F_j}; \quad (46)$$

$$K_M = 1 - \frac{m_{ст.ср}}{m_{д.ср}}; \quad (47)$$

$$K_p = 1 - \left(\frac{P_2}{P_{2н}} \right) \cdot \frac{(1 - K_a) \cdot \frac{ПВ}{100}}{(1 - K_a) \cdot \frac{ПВ}{100} + \left(1 - \frac{ПВ}{100} \right) \cdot \beta_o}; \quad (48)$$

$$F_j = \frac{J_M + J_{EXT}}{J_M}, \quad (49)$$

где Z_0 – допустимое число пусков в час двигателя без статической и динамической нагрузки на валу;

$m_{ст.ср}$ – относительное значение среднего за время разгона статического момента на валу двигателя;

$m_{д.ср}$ – относительное значение среднего за время разгона момента вращения двигателя.

Время разгона двигателя Δt_D , с, до номинальной скорости вращения определяется по формуле:

$$\Delta t_D = 0,109 \cdot \left(\frac{n_f}{100} \right) \cdot \frac{J_M + J_{EXT}}{P_{2н}} \cdot \frac{1}{m_{д.ср} \cdot m_{ст.ср}}; \quad (50)$$

– **периодический повторно-кратковременный режим с влиянием пусковых процессов и электрическим торможением S5.** Данный режим включает в себя все те же элементы, что и S4, но

дополнительно присутствует дополнительный период Δt_F быстрого электрического торможения. Данный режим характерен для привода лифтов;

– **перемежающийся режим работы S6**. Режим состоит из последовательности идентичных циклов, каждый из которых включает время работы Δt_p с постоянной нагрузкой P и время работы на холостом ходу Δt_v , при чём длительность этих периодов такова, что температура двигателя не достигает установившегося значения. Мощность двигателя, работающего в этом режиме, ориентировочно можно определить по формуле:

$$\frac{P_{S6}}{P_{S1}} \leq 0,8 \cdot \frac{M_{\max}}{M_n} P_{S6} \leq P_{S1} \cdot \sqrt{\frac{100}{ПВ}}; \quad (51)$$

– **периодический перемежающийся режим с влиянием пусковых процессов и электрическим торможением S7**. Режим состоит из последовательности идентичных циклов, каждый из которых включает достаточно длительное время пуска Δt_D , время работы с постоянной нагрузкой Δt_p и быстрое электрическое торможение Δt_F . Так как режим не содержит пауз, то для него $ПВ = 100\%$. Если электрическое торможение осуществляется реверсированием, то следует иметь в виду, что один реверс в тепловом отношении эквивалентен трём пускам;

– **периодический перемежающийся режим с периодически изменяющейся частотой вращения S8**. Данный режим образует последовательность идентичных циклов, каждый из которых включает разгон, работу с неизменной нагрузкой и частотой вращения n_1 , электрическое торможение, работу при другой частоте вращения n_2 и нагрузке, электрическое торможение и т.д. Этот режим реализуется в многоскоростных двигателях с переключением пар полюсов.

– **режим с непериодическими изменениями нагрузки и частоты вращения S9**. Это режим работы, при котором нагрузка и частота вращения обычно изменяются непериодически в пределах допустимого рабочего диапазона. Этот режим часто включает перегрузки, которые могут значительно превышать полную нагрузку (или полные нагрузки)

Задача выбора состоит в поиске такого двигателя, который:

- 1) обеспечивает заданный технологический цикл рабочей машины;
- 2) соответствует условиям окружающей среды и компоновки с рабочей машиной;
- 3) при всём этом имеет нормативный (допустимый) нагрев.

Выбор электродвигателя с недостаточной мощностью приведёт:

- к нарушению заданного цикла;
- снижению производительности рабочей машины;
- повышенному нагреву электродвигателя и выходу его из строя.

При завышении мощности выбираемого электродвигателя повышается первоначальная стоимость электропривода, увеличиваются потери, снижаются КПД и $\cos \varphi$.

Таким образом, обоснованный выбор типа и мощности электродвигателя является важной задачей, определяющей технико-экономические показатели системы «электропривод – рабочая машина».

Выбор электродвигателя проводят в определённой последовательности:

- выполняют расчёт мощности и предварительный выбор двигателя;
- проводят проверку выбранного двигателя по условиям пуска, перегрузки и нагрева.

Если электродвигатель удовлетворяет всем предъявленным требованиям, то выбор заканчивается, а если нет, то следует выбрать другой двигатель (как правило, большей мощности) и проверки повторяются.

Основой для расчёта мощности и выбора электродвигателя являются:

- нагрузочная диаграмма исполнительного органа;
- тахограмма (диаграмма скорости) исполнительного органа рабочей машины.

Нагрузочная диаграмма – это изменение приведённого к валу двигателя статического момента нагрузки во времени. Пример её приведён на рисунке 20, а.

Тахограмма – зависимость скорости исполнительного органа во времени (после приведения –

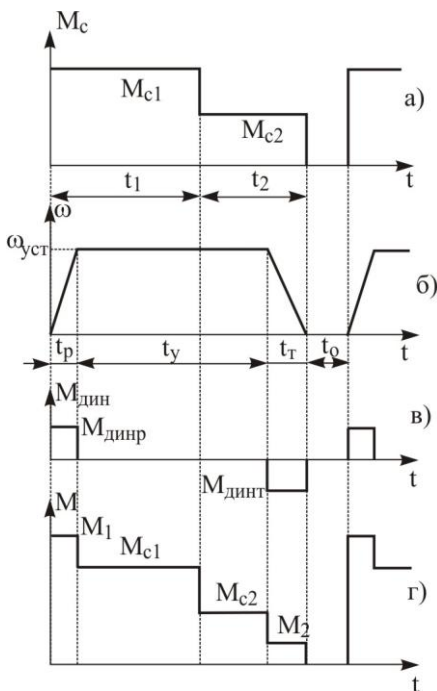


Рисунок 20 - Примеры нагрузочной диаграммы (а), тахограммы (б), диаграммы динамических моментов (в) и диаграммы момента двигателя (г).

зависимость скорости вала двигателя от времени). Пример её приведён на рисунке 20, б.

Расчётный момент двигателя должен удовлетворять следующему условию:

$$M_{\text{расч}} \geq K_3 M_{\text{сэ}}, \quad (52)$$

где K_3 – коэффициент запаса, равный 1,1÷1,3. Учитывает динамические режимы электродвигателя, когда он работает с повышенным моментом и током;

$M_{\text{сэ}}$ – эквивалентный момент нагрузки. Он определяется по нагрузочной диаграмме с использованием следующего выражения:

$$M_{\text{сэ}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_{ci}^2 t_i}{t_{\text{ц}}}}, \quad (53)$$

где M_{ci} – момент на i -м участке нагрузочной диаграммы;

t_{ci} – продолжительность i -го участка нагрузочной диаграммы;

$t_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла работы, определяется по формуле

$$t_{\text{ц}} = t_p + t_y + t_T + t_o, \quad (54)$$

где t_p – продолжительность разгона;

t_y – продолжительность установившегося движения привода;

t_T – продолжительность торможения;

t_o – продолжительность останова до начала следующего цикла.

В большинстве случаев скорость двигателя принимают равной скорости установившегося движения исполнительного органа $\omega_{\text{расч}} = \omega_{\text{уст}}$.

Определение расчётной мощности проводят по выражению

$$P_{\text{расч}} = M_{\text{расч}} \omega_{\text{расч}} = K_3 M_{\text{сэ}} \omega_{\text{уст}}. \quad (55)$$

По каталогу необходимо выбрать электродвигатель ближайший по мощности и скорости вращения. При этом требуется проверить его соответствие по следующим показателям:

- роду и величине напряжения сети;
- конструктивному исполнению (условиям компоновки с исполнительным органом);
- способу вентиляции и защите от действия окружающей среды (учесть условия работы электропривода).

Выбранный электродвигатель нужно проверить *по перегрузочной способности*. Для этого рассчитывается зависимость момента двигателя от времени – нагрузочная диаграмма двигателя. Она строится с помощью уравнения механического движения

$$M = M_c + J \frac{d\omega}{dt} = M_c + M_{\text{дин}} . \quad (56)$$

Динамический момент $M_{\text{дин}}$ определяется суммарным приведённым моментом инерции J и заданным ускорением на участке разгона и замедлением на участке торможения тахограммы, если считать график $\omega(t)$ на участках разбега и торможения линейным, то динамический момент на этих участках, соответственно, равен

$$M_{\text{динр}} = J \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = J \frac{\omega_{\text{уст}}}{t_p} ; \quad (57)$$

$$M_{\text{динт}} = -J \frac{\omega_{\text{уст}}}{t_t} . \quad (58)$$

Зная график динамического момента при ускорении и замедлении и характеристику $M(t)$, то есть нагрузочную диаграмму, построенную на основании уравнения движения, можно определить суммарный момент, значение которого в зависимости от знака динамического момента либо увеличится, либо уменьшится. При сопоставлении максимального допустимого момента двигателя M_{max} с максимальным моментом M_1 должно выполняться условие

$$M_{\text{max}} \geq M_1 . \quad (59)$$

В рассмотренном примере $\dot{I}_1 = \dot{I}_{\text{пл}} + \dot{I}_{\text{торм}}$.

Если это соотношение не выполняется, то двигатель не сможет преодолеть силы сопротивления механизма и выполнить работу. Поэтому необходимо выбрать другой двигатель большей мощности.

Обычно для двигателя постоянного тока максимальный допустимый момент принимают равным

$$M_{\text{max}} = M_{\text{доп}} = (1,5 \div 2,5) M_{\text{ном}} ; \quad (60)$$

для асинхронного двигателя с фазным ротором можно принять

$$M_{\text{max}} \approx M_{\text{кр}} . \quad (61)$$

Если проводится выбор асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, то необходимо также провести *проверку по условиям пуска*. Вызвано это формой механической характеристики: момент при пуске меньше, чем максимальный момент.

Эта проверка осуществляется путём сравнения пускового момента $M_{\text{п}}$ двигателя с моментом нагрузки при пуске $M_{\text{сп}}$. Должно выполняться соотношение

$$M_{\text{п}} \geq M_{\text{сп}}. \quad (62)$$

В нашем примере (рисунок 20, з) $M_{\text{сп}} = M_1$. Если условие (62) не выполняется, то двигатель не сможет при пуске преодолеть силы сопротивления механизма. При неподвижном роторе в этом случае возникнет процесс, равносильный короткому замыканию в обмотках. Если двигатель не будет отключён защитой, то сгорит. Поэтому нужно выбрать двигатель большей мощности.

Если выбранный электродвигатель удовлетворяет рассмотренным условиям, то далее осуществляется *проверка по нагреву*. Данная проверка основана на проверке положения о том, что двигатель может при работе нагреваться лишь до некоторой допустимой температуры, которая определяется нагревостойкостью изоляционных материалов. В соответствии с ГОСТ нагревостойкость изоляции по допустимой температуре нагрева разделена на 6 классов. В электродвигателях в настоящее время наибольшее распространение получили классы В (до 130°C), F (до 155°C) и H (до 180°C).

Существуют две разновидности методов проверки выбранного электродвигателя по нагреву: прямой метод проверки и косвенные.

Сущность **прямого метода проверки по нагреву** состоит в сопоставлении допустимой температуры для двигателя с той, которую он имеет при работе. Если рабочая температура не превышает допустимую, то электродвигатель работает в *допустимом тепловом режиме* и наоборот.

Для удобства обычно оценивается не абсолютное значение температуры, а так называемый *перегрев* τ , который определяется по выражению

$$\tau = t_{\text{дв}} - t_{\text{ос}}, \quad (63)$$

где $t_{\text{дв}}$ – температура двигателя, °C;

$t_{\text{ос}}$ – температура окружающей среды, °C.

Температуру окружающей среды обычно принимают равной 40°C, которой соответствует номинальная мощность, указанная на щитке двигателя. Следует помнить, что при более низкой температуре окружающей среды двигатель может быть нагружен больше, чем установленное значение номинальной мощности, а при более высокой температуре окружающей среды нагрузка должна быть снижена.

При проверке по нагреву должно выполняться условие

$$\tau_{\max} \leq \tau_{\text{доп}}, \quad (64)$$

где $\tau_{\text{доп}}$ – допустимый перегрев двигателя, определяемый классом изоляции (нормативный);

τ_{\max} – максимальный перегрев при работе двигателя.

При использовании прямого метода проверки двигателей по нагреву необходимо знать тепловые параметры – его теплоотдачу A и теплоёмкость C . Это значительно затрудняет расчёты, так как эти параметры обычно в справочниках не приводятся. В связи с этим в большинстве случаев проверка двигателей по нагреву осуществляется **косвенными методами**, не требующими построения графика $\tau(t)$.

На практике получили распространение следующие разновидности косвенных методов проверки двигателей по нагреву:

а) метод средних потерь. Его суть заключается в определении средних потерь мощности $\Delta P_{\text{ср}}$ за цикл работы двигателя и сопоставление их с номинальными $\Delta P_{\text{ном}}$. В данном случае следует применять следующие соотношения:

$$\Delta P_{\text{ср}} \leq \Delta P_{\text{ном}}; \quad (65)$$

$$\Delta P_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i t_i}{t_{\text{ц}}}; \quad (66)$$

$$\Delta P_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}} (1 - \eta_{\text{ном}})}{\eta_{\text{ном}}}; \quad (67)$$

б) метод эквивалентных величин. Данный метод используется в том случае, если известен график изменения определённого параметра, который получен либо расчётным, либо экспериментальным путём. В зависимости от того, график какого параметра используется, существуют следующие разновидности данного метода:

– метод эквивалентного момента

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 t_i}{t_{\text{ц}}}} = M_{\text{экв}} \leq M_{\text{ном}}; \quad (68)$$

– метод эквивалентного тока. Используется соотношение

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 t_i}{t_{\text{ц}}}} = I_{\text{экв}} \leq I_{\text{ном}}; \quad (69)$$

– метод эквивалентной мощности

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 t_i}{t_{\text{ц}}}} = P_{\text{экв}} \leq P_{\text{ном}} . \quad (70)$$

Все косвенные методы проверки по нагреву имеют границы своей применимости, так как являются упрощёнными. Условия применения этих методов приведены в таблице 5.

Всё о чём идёт речь выше имеет непосредственное отношение к электроприводам при наличии нагрузочных диаграмм и тахограмм. Однако для большинства задач выбора электродвигателей на практике получили распространение эмпирические выражения для случаев работы электропривода с постоянной нагрузкой в длительном режиме.

Таблица 5 – Условия применения косвенных методов проверки по нагреву

Метод	Условия применения
Средних потерь	Средний перегрев установившийся и не изменяется во времени.
Эквивалентного момента	1. Известен график изменения момента двигателя во времени. 2. Магнитный поток постоянен во время всего цикла работы.
Эквивалентного тока	1. Известен график изменения тока двигателя во времени. 2. Постоянные потери за цикл работы не изменяются. 3. Сопротивления главных цепей двигателя за цикл работы не изменяются.
Эквивалентной мощности	1. Известен график изменения тока двигателя во времени. 2. Постоянные потери за цикл работы не изменяются. 3. Магнитный поток за цикл работы не изменяется. 4. Скорость двигателя на всех участках цикла постоянна.

Для вентиляторов, насосов и компрессоров расчётная мощность, кВт, вычисляется по формулам

$$P_{\text{рвент}} = \frac{QH \cdot 10^{-3}}{\eta \eta_{\text{п}}} ; \quad (71)$$

$$P_{\text{рнас}} = \frac{\gamma Q H \cdot 10^{-3}}{\eta \eta_{\text{п}}}; \quad (72)$$

$$P_{\text{ркомпр}} = \frac{Q \cdot 10^{-3}}{\eta \eta_{\text{п}}} \frac{A_{\text{и}} + A_{\text{а}}}{2}, \quad (73)$$

где Q – производительность, м³/с;

H – для вентиляторов – давление газа, Н/м², для насосов – высота напора, равная сумме высот всасывания и нагнетания, м;

γ – плотность жидкости, кг/м³;

η – КПД вентилятора, насоса или компрессора, указываемый в каталогах (примерно 0,4 – 0,9);

$\eta_{\text{п}}$ – КПД передачи между двигателем и механизмом;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$A_{\text{и}}$ – удельная работа изотермического сжатия, Н·м/м³ (с отводом выделяющегося тепла) до абсолютного давления, равного Н+10⁵ Па;

$A_{\text{а}}$ – удельная работа адиабатического сжатия, Н·м/м³ (без отвода выделяющегося тепла) до абсолютного давления, равного Н+10⁵ Па.

Значения работы изотермического $A_{\text{и}}$ и адиабатического $A_{\text{а}}$ сжатия приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Работа изотермического и адиабатического сжатия

Н, МПа	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\frac{A_{\text{и}} + A_{\text{а}}}{2}$, Н·м/м ³	41750	73000	119500	155000	183000	207000	228000	247000	263500	278500

Мощность подбираемого двигателя должна содержать запас по сравнению с расчётными величинами не менее 5–10% с увеличением до 30–40% для малых мощностей до 5 кВт и 70–100% до 1 кВт.

Мощность двигателя подъёма крановых и лифтовых установок, кВт, рассчитывается по выражению

$$P_{\text{под}} = \frac{(G_0 + G_{\text{пол}} - G_{\text{пр}}) \cdot v \cdot 10^{-3}}{\eta}, \quad (74)$$

где G_0 , $G_{\text{пол}}$, $G_{\text{п}}$ – веса, соответственно, кабины, полезного груза, противовеса, Н;

v – скорость подъёма, м/с;
 η – КПД механизма, обычно 0,75–0,8.

Мощность двигателя передвижения тележек, кВт, определяется по формуле

$$P_{\text{тел}} = K_{\text{т}} G v 7,5 \cdot 10^{-3}, \quad (75)$$

где $K_{\text{т}}$ – эмпирический коэффициент, равный 4–6 для подшипников качения и 6–8 для подшипников скольжения.

Мощность двигателя передвижения мостового крана, кВт, при подшипниках качения равна

$$P_{\text{мост}} = K_{\text{м}} G v 7,5 \cdot 10^{-3}, \quad (76)$$

а при подшипниках скольжения

$$P_{\text{мост}} = \frac{0,14 G v d \cdot 10^{-3}}{\eta D}, \quad (77)$$

где $K_{\text{м}}$ – эмпирический коэффициент, равный 3;
 d, D – диаметры шейки и ходового колеса, м;
 $7,5$ – удельное тяговое усилие, кгс/тс;
 η – КПД редуктора, принимается 0,9.

Для привода конвейеров и транспортёров расчётная мощность составляет

$$P = \frac{F v \cdot 10^{-3}}{\eta}, \quad (78)$$

где F – тяговое усилие, Н;
 v – скорость, м/с;
 η – КПД механизма и редуктора.

При расчёте момента двигателя рольганга необходимо использовать выражение

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{с}} + M_{\text{б}} = (G_{\text{р}} + G_{\text{пол}}) \mu \frac{d}{2} + G_{\text{пол}} f + G_{\text{пол}} \mu_1 \frac{D}{2}, \quad (79)$$

где $M_{\text{с}}, M_{\text{б}}$ – моменты статический и буксовки, Н·м;
 μ, μ_1 – коэффициенты трения в подшипниках качения ($\mu = 0,05 \div 0,01$) и заготовки по роликам ($\mu_1 = 0,3$ для горячего металла и 0,15 для холодного);

$G_{\text{р}}, G_{\text{пол}}$ – вес ролика (роликов) и полезного перемещающегося груза на ролик или рольганг, Н;
 d, D – диаметр шейки и роликов, м;
 f – коэффициент трения качения, м.

Наиболее распространёнными в промышленности являются металлорежущие и деревообрабатывающие станки. Для их привода также необходимо выбирать электродвигатель. Сами по себе расчётные выражения просты, однако содержат большое количество коэффициентов, учитывающих особенности обрабатываемых материалов и технологического процесса. В каждом конкретном случае значения этих коэффициентов будут различны, поэтому для расчёта мощности электродвигателя лучше воспользоваться специальными справочниками.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 5-0-1. Определить, до какой допустимой мощности можно длительно нагружать асинхронный двигатель типа А-82-4 с короткозамкнутым ротором со следующими номинальными данными: $P_{\text{ном}} = 55$ кВт, $n_{\text{ном}} = 1460$ об/мин, класс изоляции А, если двигатель работает при температуре окружающего воздуха $\theta_1 = -15^\circ\text{C}$, $\theta_2 = +15^\circ\text{C}$, $\theta_3 = +50^\circ\text{C}$, коэффициент постоянных потерь $\alpha = 0,5$.

Решение. Допустимая мощность двигателя при температуре окружающего воздуха θ , отличной от $+40^\circ\text{C}$, определяется по формуле

$$P_{\text{доп}} = P_{\text{ном}} \sqrt{\frac{\tau_y}{\tau_{\text{ном}}} (1 + \alpha) - \alpha}. \quad (80)$$

При этом

$$\tau_y = \theta_{\text{ном}} + 40 - \theta_{\text{ов}}, \quad (81)$$

где $\theta_{\text{ном}}$ – номинальная температура для данного класса изоляции, $^\circ\text{C}$;

$\theta_{\text{ов}}$ – температура окружающего воздуха, $^\circ\text{C}$.

Тогда

$$P_{\text{доп1}} = 55 \sqrt{\frac{70 + 40 + 15}{70} (1 + 0,5) - 0,5} = 81,18 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{доп2}} = 55 \sqrt{\frac{70 + 40 - 15}{70} (1 + 0,5) - 0,5} = 68,16 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{доп3}} = 55 \sqrt{\frac{70 + 40 - 50}{70} (1 + 0,5) - 0,5} = 43,21 \text{ кВт}.$$

Задача 5-0-2. Выбрать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором серии 4А для работы в режиме кратковременной на-

грузки $P_k = 37$ кВт, действующей в течение $t_k = 14$ мин. Постоянная времени нагревания $T_n = 50$ мин, коэффициент потерь $\alpha = 0,5$. Скорость вращения должна быть около 1500 об/мин.

Решение. Термический коэффициент перегрузки

$$p_T = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_k}{T_n}}} = \frac{1}{1 - e^{-\frac{14}{50}}} = 4,1.$$

Механический коэффициент перегрузки

$$p_M = \sqrt{p_T + \alpha \cdot (p_T - 1)} = \sqrt{4,1 + 0,5 \cdot (4,1 - 1)} = 2,06.$$

Мощность двигателя

$$P_d = \frac{P_k}{p_M} = \frac{37}{2,06} = 18 \text{ кВт}.$$

По каталогу выбираем ближайший больший двигатель по мощности 4A160M4УЗ, $P_n = 18,5$ кВт, $n_{ном} = 1465$ об/мин, $\frac{M_{\max}}{M_{ном}} = 2,3$,

$$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{ном}} = 1,4.$$

Проверим выбранный двигатель по условиям пуска и механической перегрузки.

Номинальный момент выбранного двигателя равен

$$M_{ном} = 9,55 \frac{P_{ном}}{n_{ном}} = 9,55 \frac{18500}{1465} = 120,6 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Максимальный и пусковой моменты

$$M_{\max} = 2,3 M_{ном} = 2,3 \cdot 120,6 = 277,38 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{\text{пуск}} = 1,4 M_{ном} = 1,4 \cdot 120,6 = 168,84 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Момент сопротивления механизма

$$M_c = 9,55 \frac{P_k}{n_{ном}} = 9,55 \frac{37000}{1465} = 241,2 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Таким образом, $M_c = 241,2 \text{ Н}\cdot\text{м} > M_{\text{пуск}} = 168,84 \text{ Н}\cdot\text{м}$, то есть выбранный двигатель не подходит по условию пуска. Выберем следующий больший по мощности двигатель по каталогу. Им является

$$4A180S4Y3, \quad P_n = 22 \quad \text{кВт}, \quad n_{\text{ном}} = 1470 \quad \text{об/мин}, \quad \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}} = 2,3,$$

$$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 1,4.$$

Номинальный момент выбранного двигателя равен

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \frac{22000}{1470} = 142,925 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Максимальный и пусковой моменты

$$M_{\text{макс}} = 2,3M_{\text{ном}} = 2,3 \cdot 142,925 = 328,73 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{\text{пуск}} = 1,4M_{\text{ном}} = 1,4 \cdot 142,925 = 200,095 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Таким образом, $M_c = 241,2 \text{ Н}\cdot\text{м} > M_{\text{пуск}} = 200,095 \text{ Н}\cdot\text{м}$, то есть выбранный двигатель не подходит по условию пуска. Выберем следующий больший по мощности двигатель по каталогу. Им является

$$4A180M4Y3, \quad P_n = 30 \quad \text{кВт}, \quad n_{\text{ном}} = 1470 \quad \text{об/мин}, \quad \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}} = 2,3,$$

$$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 1,4.$$

Номинальный момент выбранного двигателя равен

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \frac{30000}{1470} = 194,9 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Максимальный и пусковой моменты

$$M_{\text{макс}} = 2,3M_{\text{ном}} = 2,3 \cdot 194,9 = 448,265 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{\text{пуск}} = 1,4M_{\text{ном}} = 1,4 \cdot 194,9 = 272,86 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Таким образом, $M_c = 241,2 \text{ Н}\cdot\text{м} < M_{\text{пуск}} = 272,86 \text{ Н}\cdot\text{м}$, то есть выбранный двигатель подходит по условию пуска. Условие механической перегрузки $M_c = 241,2 \text{ Н}\cdot\text{м} < M_{\text{макс}} = 448,265 \text{ Н}\cdot\text{м}$ выполняется.

Задача 5-0-3. Выбрать асинхронный двигатель с фазным ротором серии 4АК для графика нагрузки, изображённого на рисунке 21, где: $P_1 = 45 \text{ кВт}$, $P_2 = 23 \text{ кВт}$, $P_3 = 38 \text{ кВт}$, $t_1 = 1 \text{ мин}$, $t_2 = 4 \text{ мин}$, $t_3 = 1 \text{ мин}$, $t_0 = 4 \text{ мин}$. Принять постоянную нагрева двигателя $T_n = 50 \text{ мин}$, коэффициент ухудшения условий теплоотдачи $\beta_0 = 0,35$, коэффициент постоянных потерь $\alpha = 0,5$. Скорость вращения должна быть около 1500 об/мин.

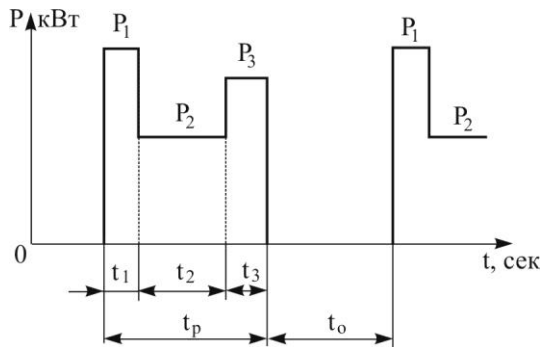


Рисунок 21 – График циклической нагрузки

Решение. Термический коэффициент перегрузки равен

$$p_{\tau} = \frac{1 - e^{-\frac{t_p}{T_n} - \frac{t_o}{T_o}}}{1 - e^{-\frac{t_p}{T_n}}}, \quad (82)$$

где t_p – время работы, равное $t_p = t_1 + t_2 + t_3 = 1 + 4 + 1 = 6$ мин;

t_o – время паузы, равное $t_o = 4$ мин;

T_o – постоянная времени охлаждения, равная

$$T_o = \frac{T_n}{\beta_o} = \frac{50}{0,35} = 143 \text{ мин.}$$

$$p_{\tau} = \frac{1 - e^{-\frac{6}{50} - \frac{4}{143}}}{1 - e^{-\frac{6}{50}}} = 1,24.$$

Механический коэффициент перегрузки равен

$$p_m = \sqrt{p_{\tau} + \alpha \cdot (p_{\tau} - 1)} = \sqrt{1,24 + 0,5 \cdot (1,24 - 1)} = 1,1.$$

Эквивалентная мощность за период работы

$$P_{\text{э}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} = \sqrt{\frac{45^2 \cdot 1 + 23^2 \cdot 4 + 38^2 \cdot 1}{1 + 4 + 1}} = 9,65 \text{ кВт.}$$

Необходимая мощность двигателя

$$P_{\text{д}} = \frac{P_{\text{э}}}{p_m} = \frac{9,65}{1,1} = 8,76 \text{ кВт.}$$

Ближайшим большим по мощности двигателем из заданной серии будет двигатель типа 4AK160S4Y3, $P_n = 11$ кВт, $n_{\text{ном}} = 1425$ об/мин,

$$\frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}} = 3.$$

Номинальный момент выбранного двигателя равен

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \frac{11000}{1425} = 73,72 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Максимальный момент выбранного двигателя равен

$$M_{\text{макс}} = 3M_{\text{ном}} = 3 \cdot 73,72 = 221,16 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Если пренебречь изменением скорости вращения по сравнению с номинальной, то можно определить наибольший момент, соответствующий мощности P_1 , по следующему выражению

$$M_1 = 9,55 \frac{P_1}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \frac{45000}{1425} = 301,58 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Выбранный двигатель не подходит по условиям механической перегрузки, так как $M_{\text{макс}} = 221,16$ Н·м оказывается меньше $M_1 = 301,58$ Н·м.

Следующий больший по мощности двигатель этой серии 4AK160M4Y3, $P_n = 14$ кВт, $n_{\text{ном}} = 1440$ об/мин, $\frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}} = 3,5$.

Номинальный момент выбранного двигателя равен

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \frac{14000}{1440} = 92,85 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Максимальный момент выбранного двигателя равен

$$M_{\text{макс}} = 3,5M_{\text{ном}} = 3,5 \cdot 92,85 = 324,97 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Выбранный двигатель подходит по условиям механической перегрузки, так как $M_{\text{макс}} = 324,97$ Н·м оказывается больше $M_1 = 301,58$ Н·м.

ЗАДАЧИ

Задача 5-1. Для насоса, работающего в длительном режиме с производительностью $Q = 0,3$ м³/ч, при напоре $H = 20$ м со скоростью вращения $n = 1450$ об/мин и имеющего КПД $\eta_{\text{нас}} = 0,55$, выбрать электродвигатель переменного тока. Двигатель непосредственно связан с насосом. Температура окружающего воздуха

$\theta_{\text{ср}} = +45^\circ \text{С}$. Напряжение сети переменного тока $U = 380 \text{ В}$. Удельный вес перекачиваемой жидкости $\gamma = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Задача 5-2. Для питания пневматического инструмента и пневматического оборудования шахт сжатым воздухом предусмотрена передвижная компрессорная станция с компрессором, имеющим следующие технические данные: производительность $Q = 4,65 \text{ м}^3/\text{мин}$, рабочее давление $H = 7 \cdot 10^5 \text{ Па}$, скорость вращения коленчатого вала $n = 960 \text{ об/мин}$, $\eta_{\text{м}} = 0,6 \div 0,8$. Для этого компрессора следует выбрать электродвигатель с непосредственным пуском от сети переменного тока напряжением 380 В.

Задача 5-3. Центробежный насос для перекачки воды используется в системе, приведённой на рисунке 22. Высота, соответствующая потерям напора в этой системе (динамический напор), $h_{\text{д}} = 5 \text{ м}$, производительность насоса $Q = 150 \text{ м}^3/\text{ч}$, скорость вращения насоса $n = 1450 \text{ об/мин}$, КПД $\eta_{\text{нас}} = 0,68$. Для привода насоса выбрать электродвигатель трёхфазного тока с номинальным напряжением 380 В.

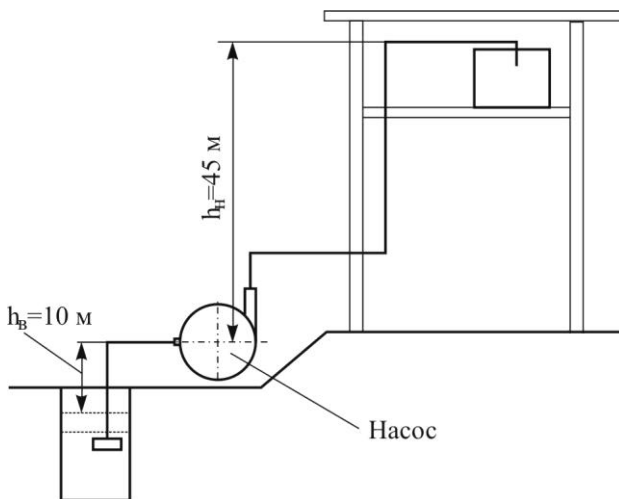


Рисунок 22 – Условная схема системы, в которой работает насос

Задача 5-4. Ленточный транспортёр работает в длительном режиме. Он приводится в движение электродвигателем через редуктор с передаточным отношением $i = 7,8$ и КПД $\eta = 0,96$. Момент сопротивления при движении гружёной ленты $M_{\text{с}} = 548 \text{ Н·м}$. Выбрать

электродвигатель для привода ленты, если её скорость $v = 3,25$ м/с, диаметр приводного барабана $D = 675$ мм и напряжение сети 380 В.

Задача 5-5. Для привода лебёдки выбрать электродвигатель постоянного тока с номинальным напряжением питания 440 В, если наибольшая скорость перемещения груза 9 м/с, диаметр барабана лебёдки $D = 1,88$ м, передаточное число редуктора $i = 10,35$, а КПД передачи $\eta_m = 0,96$. График нагрузки, приведённый к валу двигателя, показан на рисунке 23.

Задача 5-6. Выбрать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с напряжением питания 380 В и скоростью около 750 об/мин для привода механизма с нагрузочным графиком, представленным на рисунке 24.

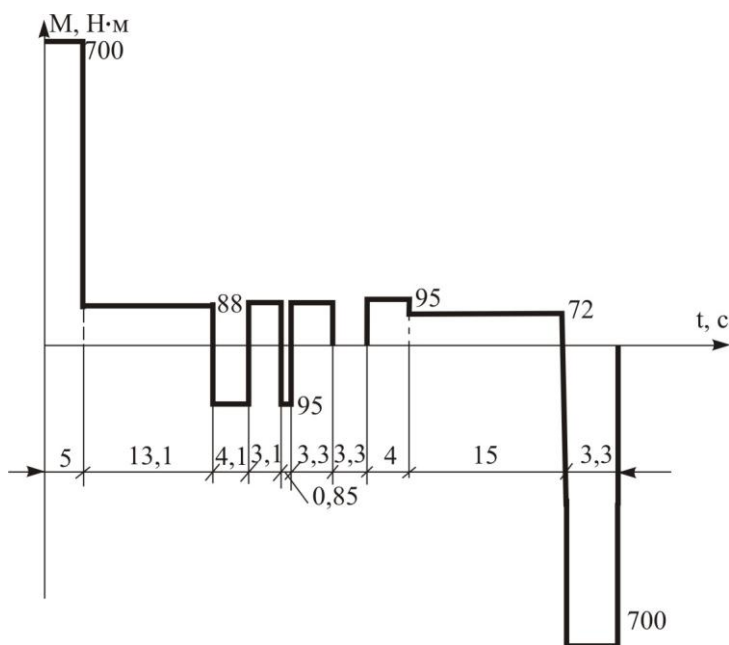


Рисунок 23 – Нагрузочный график лебёдки

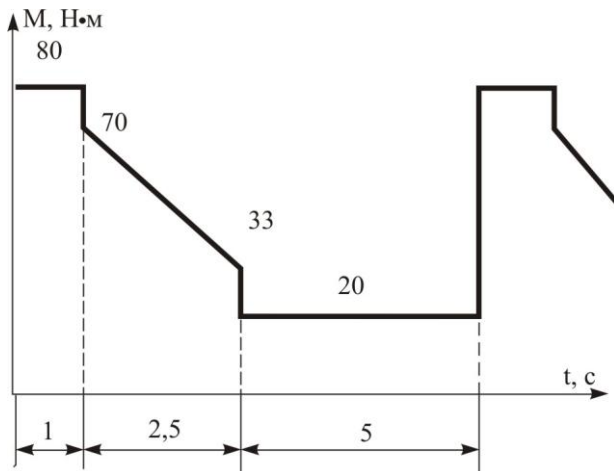


Рисунок 24 – Нагрузочный график механизма

Задача 5-7. Выбрать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с напряжением питания 380 В для дыропробивного станка, работающего по графику, который представлен на рисунке 25. Число рабочих ходов станка $z = 20$, средняя рабочая скорость пуансона $v = 15$ мм/с, высота хода $h = 15$ мм, $P_{\text{макс}} = 9,2$ кВт, $P_{\text{xx}} = 1$ кВт, КПД станка $\eta_{\text{ст}} = 0,75$, КПД передачи $\eta_{\text{пер}} = 0,95$.

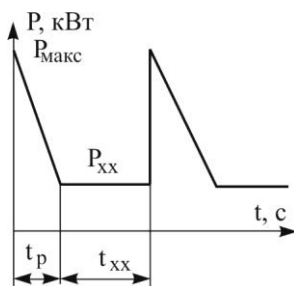


Рисунок 25 – Нагрузочный график долбежного станка

Задача 5-8. Выбрать электродвигатель переменного тока напряжением 380 В для автомата, график работы которого изображён на рисунке 26. Скорость вращения должна быть около 1500 об/мин.

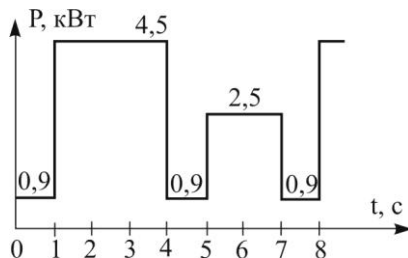


Рисунок 26 – График работы автомата

Задача 5-9. Лебёдка работает по графику, изображённому на рисунке 27. Режим работы лебёдки кратковременный. На основании графика выбрать электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением с частотой вращения 1000 об/мин из серии, предназначенной для длительного режима работы. Принять постоянную времени нагрева $T_n=105$ мин и отношение постоянных потерь к переменным $\alpha = 0,5$.

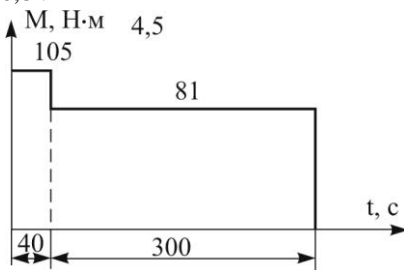


Рисунок 27 – Нагрузочный график работы лебёдки

Задача 5-10. Выбрать электродвигатель переменного тока с номинальным напряжением питания 380 В, предназначенный для перемещения суппорта крупного станка массой 550 кг. Скорость перемещения суппорта $v=15$ м/мин, коэффициент трения покоя в направляющих $\mu_0 = 0,2$ и трения движения $\mu = 0,1$, КПД передачи $\eta_n = 0,5$, скорость вращения электродвигателя должна быть равна $n = 1400$ об/мин.

Задача 5-11. Для лифта, грузоподъёмность которого 19,6 кН, скорость движения $v = 0,3$ м/с, вес кабины 18,62 кН и диаметр барабана лебёдки $D = 0,5$ м, рассчитать электродвигатель трёхфазного тока с номинальным напряжением питания 380 В при работе без противовеса и с противовесом, вес которого 28,42 кН. Общий КПД

передачи в направляющих при подъёме $\eta = 0,5$ и опускания $\eta_1 = 0,48$. Общее передаточное число $i = 82$. Высота подъёма $H = 12$ м. Пауза от подъёма до спуска $t_0 = 50$ с и от спуска до нового подъёма $t_{01} = 70$ с. Работа лифта заключается в подъёме груза и опускании порожней кабины. Необходимый момент при опускании без противовеса принять 0,017 от момента подъёма.

Задача 5-12. Выбрать электродвигатель переменного тока с номинальным напряжением питания 380 В для тележки крана, если вес тележки 98 кН, номинальная грузоподъёмность 98 кН, расчётная скорость $v = 55$ м/мин, сопротивление движению при полной нагрузке $F_c = 6,6$ кН, а при перемещении без груза $F_{c1} = 3,3$ кН, КПД передачи при полной нагрузке $\eta = 0,85$, а при передвижении без груза $\eta_0 = 0,78$, передаточное число от электродвигателя к колёсам $i = 18$, диаметр ходовых колёс $D_k = 0,35$ м, время стоянки при разгрузке $t_{01} = 100$ с и при погрузке $t_{02} = 150$ с, расстояние, на которое перемещается груз, $L = 50$ м. В одном направлении тележка перемещается полностью нагруженной, в другом – без груза.

Задача 5-13. Выбрать асинхронный двигатель для привода механизма, работа которого характеризуется графиком, приведённым на рисунке 28. Двигатель работает в повторно-кратковременном режиме с номинальной скоростью $n_{\text{ном}} = 910$ об/мин, $\beta_0 = 0,35$ – коэффициент, учитывающий условия охлаждения при остановке. $M_1 = 500$ Н·м, $M_2 = 400$ Н·м, $M_3 = 320$ Н·м, $M_4 = 350$ Н·м, $t_{\text{пуск}} = 2$ с – время пуска, $t_p = 130$ с – время работы, $t_T = 3$ с – время торможения, $t_o = 160$ с – время паузы.

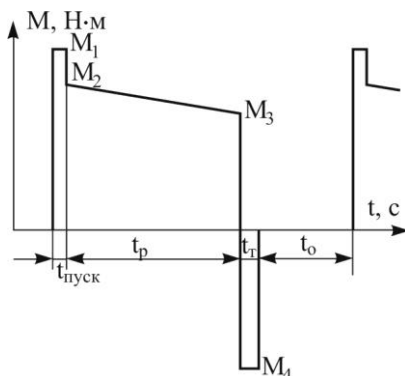


Рисунок 28 – Нагрузочный график механизма, работающего в повторно-кратковременном режиме

Задача 5-14. Для вентилятора выбрать трёхфазный асинхронный электродвигатель, если известно, что расчётная производительность $Q = 2,11 \text{ м}^3/\text{с}$, расчётный приведённый напор $H = 1590 \text{ Н/м}^2$, коэффициент полезного действия вентилятора $\eta_v = 0,56$, напряжение питания сети $U = 380 \text{ В}$, скорость вращения должна быть равна 1450 об/мин, вентилятор и двигатель соединены валами непосредственно.

Задача 5-15. Для дымососа выбрать трёхфазный асинхронный электродвигатель, если известно, что расчётная производительность $Q = 31,4 \text{ м}^3/\text{с}$, расчётный приведённый напор $H = 2097 \text{ Н/м}^2$, коэффициент полезного действия дымососа $\eta_d = 0,6$, напряжение питания сети $U = 6 \text{ кВ}$, скорость вращения должна быть около 730 об/мин, дымосос и двигатель соединены валами непосредственно.

Задача 5-16. Для компрессора производительностью $Q = 6 \text{ м}^3/\text{мин}$, рабочим давлением $H = 1 \text{ МПа}$, скорость вращения коленчатого вала $n = 960 \text{ об/мин}$, $\eta_m = 0,6 \div 0,8$ выбрать асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором с непосредственным пуском от сети переменного тока напряжением 380 В.

Задача 5-17. Двигатель постоянного тока типа 2ПФ 225L имеет следующие паспортные данные: $P_{\text{ном}} = 22 \text{ кВт}$, $n_{\text{ном}} = 750 \text{ об/мин}$, $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$, $\eta_{\text{ном}} = 0,832$. Определить тепловой режим двигателя при его работе по следующему циклу: время первого участка $t_1 = 15 \text{ мин}$, момент нагрузки $M_{c1} = 105 \text{ Н·м}$; время второго участка $t_2 = 10 \text{ мин}$, момент нагрузки $M_{c2} = 80 \text{ Н·м}$; время третьего участка $t_3 = 8 \text{ мин}$, момент нагрузки $M_{c3} = 110 \text{ Н·м}$. Ток возбуждения и сопротивление якорной цепи не изменяются. Заданный цикл относится к продолжительному режиму работы с переменной нагрузкой.

Задача 5-18. Работа электропривода характеризуется рисунком 20, а, б, при этом: $M_{c1} = 65 \text{ Н·м}$; $M_{c2} = 50 \text{ Н·м}$; $t_1 = 30 \text{ с}$; $t_2 = 20 \text{ с}$; $t_p = 3 \text{ с}$; $t_t = 2 \text{ с}$; $t_y = 45 \text{ с}$; $\omega_{\text{ст}} = 290 \text{ рад/с}$; $J = 0,9 \text{ кг·м}^2$. Определить расчётный момент и мощность двигателя и построить его нагрузочную диаграмму.

Задача 5-19. Определить мощность электродвигателя, предназначенного для перемещения суппорта крупного станка весом $G = 5400 \text{ Н}$. Скорость перемещения суппорта $v = 20 \text{ м/мин}$, коэффициент трения покоя в направляющих $\mu_0 = 0,2$ и трения движения $\mu = 0,1$, КПД передачи $\eta_n = 0,7$, скорость электродвигателя должна быть равна 1400 об/мин.

Задача 5-20. Для компрессора производительностью $Q = 8 \text{ м}^3/\text{мин}$, рабочим давлением $H = 0,8 \text{ МПа}$, скорость вращения коленчатого вала $n =$

960 об/мин, $\eta_m = 0,6 \div 0,8$ выбрать асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором с непосредственным пуском от сети переменного тока напряжением 380 В.

Задача 5-21. Выбрать синхронный двигатель 10 кВ для привода компрессора, имеющего следующие технические данные: производительность $Q = 4,65 \text{ м}^3/\text{с}$, рабочее давление $H = 10^6 \text{ Па}$, скорость вращения коленчатого вала $n = 1000 \text{ об/мин}$, $\eta_m = 0,6 \div 0,8$.

Задача 5-22. Для насосной станции главного подъёма требуется выбрать синхронный двигатель с номинальным напряжением 10 кВ. Технические сведения о работе насосов: плотность воды $\gamma = 1000 \text{ кг/м}^3$; высота всасывания $H_v = 10 \text{ м}$; высота нагнетания $H_n = 100 \text{ м}$; потери напора $H_{\pi} = 10 \text{ м}$; производительность насоса $Q = 8,5 \text{ м}^3/\text{с}$; $\eta_m = 0,6 \div 0,8$; валы насоса и электродвигателя соединены непосредственно.

Задача 5-23. Выбрать асинхронный двигатель с фазным ротором серии 4АНК для графика нагрузки, изображённого на рисунке 21, где: $P_1 = 60 \text{ кВт}$, $P_2 = 29 \text{ кВт}$, $P_3 = 44 \text{ кВт}$, $t_1 = 3 \text{ мин}$, $t_2 = 10 \text{ мин}$, $t_3 = 2 \text{ мин}$, $t_0 = 5 \text{ мин}$. Принять постоянную нагрева двигателя $T_n = 50 \text{ мин}$, коэффициент ухудшения условий теплоотдачи $\beta_0 = 0,35$, коэффициент постоянных потерь $\alpha = 0,5$. Скорость вращения должна быть равна 750 об/мин.

Задача 5-24. Для вентилятора выбрать трёхфазный асинхронный электродвигатель, если известно, что расчётная производительность $Q = 0,9 \text{ м}^3/\text{с}$, расчётный приведённый напор $H = 290 \text{ Н/м}^2$, коэффициент полезного действия вентилятора $\eta_v = 0,59$, напряжение питания сети $U = 380 \text{ В}$, скорость вращения должна быть равна 1450 об/мин, вентилятор и двигатель соединены валами непосредственно.

Задача 5-25. Для дымососа выбрать синхронный электродвигатель с напряжением питания 10 кВ, если известно, что расчётная производительность $Q = 54 \text{ м}^3/\text{с}$, расчётный приведённый напор $H = 4213 \text{ Н/м}^2$, коэффициент полезного действия дымососа $\eta_d = 0,6$, скорость вращения равна 750 об/мин, дымосос и двигатель соединены валами непосредственно.

Задача 5-26. Выбрать электродвигатель переменного тока напряжением 380 В для автомата, график работы которого изображён на рисунке 29. Скорость вращения должна быть около 1500 об/мин.

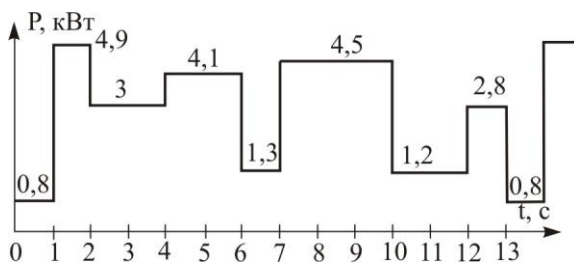


Рисунок 29 – График работы автомата

*Елена Владимировна Шипицына
Алексей Александрович Грибанов*

Электроприемники и потребители в системах электропитания. Учебно-методическое пособие