	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет»	Приложение к ОПОП ВО
		Методические указания

Кафедра электрических машин
и электрооборудования

Б1.В.09 Электропривод оборудования предприятий АПК

Методические указания к практическим занятиям

Направление подготовки
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки
Энергообеспечение предприятий

Квалификация выпускника
Бакалавр

Уфа 2025

УДК 363/1
ББК 40.76
М 54

Рекомендовано к изданию методической комиссией энергетического факультета, протокол № 7 от «27» марта 2025 г.

Составитель: к.т.н., доцент Ярмухаметов У.Р.

Ответственный за выпуск: заведующий кафедрой электрических машин и электрооборудования, к.т.н., доцент Акчурин С.В.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 РАСЧЁТ И ПОСТРОЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДПТ НЕЗАВИСИМОГО И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1	5
2 РАСЧЁТ И ПОСТРОЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2	19
3 РАСЧЁТ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ, СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЁТА. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3	24
4 РАСЧЁТ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ КРАТКОВРЕМЕННОГО И ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННОГО РЕЖИМА РАБОТЫ. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4	31
5 ИЗУЧЕНИЕ АППАРАТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5	37
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	46
ПРИЛОЖЕНИЯ 1,2,3,4,5,6	47

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине Б1.В.09 Электропривод оборудования предприятий АПК предназначены для обучающихся направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, профиль подготовки Энергообеспечение предприятий и призваны способствовать освоению рабочей программы по указанной дисциплине.

Тематика занятий семинарского типа (практических занятий) полностью соответствует содержанию рабочей программы дисциплины Б1.В.09 Электропривод оборудования предприятий АПК направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, профиль подготовки Энергообеспечение предприятий.

Содержание методических указаний направлено на углубленное изучение обучающимися наиболее важных модулей теоретического курса и включает рекомендуемую последовательность при выполнении работ, а также необходимые нормативные и информационные данные.

1 РАСЧЁТ И ПОСТРОЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДПТ НЕЗАВИСИМОГО И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Практическое занятие № 1

1.1 Основные формулы, характеризующие работу ДПТ и используемые при построении механических характеристик

Уравнение электрического равновесия цепи якоря двигателя постоянного тока (далее – ДПТ) записывают следующим образом:

$$U = E + IR = k\Phi\omega + I(R_{\text{я}} + R_{\text{д}}), \quad (1.1)$$

где U - напряжение, приложенное к цепи ДПТ, В;

E - ЭДС, наведенная в обмотке якоря ДПТ, В;

I - ток в цепи якоря ДПТ, А;

R - общее сопротивление цепи якоря, Ом;

k - безразмерный коэффициент, определяемый конструктивными параметрами двигателя;

Φ - магнитный поток ДПТ, Вб;

ω - угловая скорость вращения якоря ДПТ (далее – скорость), рад/с;

$R_{\text{я}}$ – внутреннее сопротивление цепи якоря ДПТ, состоящее из сопротивлений последовательно соединенных обмоток якоря $r_{\text{оя}}$, дополнительных полюсов $r_{\text{дп}}$ и компенсационной $r_{\text{ко}}$, щеточного контакта $r_{\text{щ}}$, а также сопротивления последовательной обмотки возбуждения $r_{\text{ов}}$ (для ДПТ последовательного возбуждения);

$R_{\text{д}}$ - сопротивление добавочного резистора, включаемого последовательно в цепь якоря, Ом.

Внутреннее сопротивление цепи якоря ДПТ с независимым возбуждением (НВ) и ДПТ последовательного возбуждения (ПВ) рассчитывается соответственно по формулам:

$$R_{\text{я}} \approx 0,5(1 - \eta_{\text{н}}) \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} = 0,5(1 - \eta_{\text{н}})R_{\text{н}}, \quad (1.2)$$

$$R_{\text{я}} \approx 0,75(1 - \eta_{\text{н}})R_{\text{н}}, \quad (1.3)$$

где $\eta_{\text{н}}$, $U_{\text{н}}$, $I_{\text{н}}$, $R_{\text{н}}$ – соответственно, номинальные КПД, напряжение, ток и сопротивление.

Электродвижущая сила (далее – ЭДС), наведенная в обмотке ДПТ при номинальной скорости $\omega_{\text{н}}$ и номинальном магнитном потоке $\Phi_{\text{н}}$,

$$E_{\text{н}} = C_{\text{н}}\omega_{\text{н}} = U_{\text{н}} - I_{\text{н}}R_{\text{я}} = U_{\text{н}} - \Delta U_{\text{я}}, \quad (1.4)$$

где C_H - коэффициент пропорциональности между ЭДС и скоростью, а также между электромагнитным моментом и током якоря в ДПТ при неизменном магнитном потоке возбуждения Φ_H .

Номинальный электромагнитный вращающий момент ДПТ

$$M_{эH} = k\Phi_H I_H = C_H I_H = M_H + M_{xx}, \quad (1.5)$$

где M_H - номинальный вращающий момент на валу электродвигателя, Н·м;

M_{xx} - момент холостого хода (момент потерь) двигателя, Н·м (этот момент мал относительно момента на валу двигателя, поэтому в приближенных расчетах им можно пренебречь).

Уравнение электромеханической характеристики ДПТ НВ [зависимость $w = f(I)$] записывают следующим образом

$$w = \frac{(U - IR)}{C} = w_0 - \Delta w, \quad (1.6)$$

где w_0 - скорость якоря при идеальном холостом ходе ДПТ, рад/с;

Δw - статическое падение скорости якоря, рад/с.

Уравнение механической характеристики ДПТ НВ [зависимость $w = f(M)$] записывают следующим образом

$$w = \frac{U}{C} - \frac{MR}{C^2} = w_0 - \Delta w, \quad (1.7)$$

где M - вращающий момент на валу двигателя, Н·м.

Мощность, потребляемая двигателем из электрической сети при номинальной нагрузке

$$P_{эH} = U_H I_H = \frac{P_H}{\eta_H} = \frac{M_H w_H}{\eta_H}, \quad (1.8)$$

где P_H - номинальная механическая мощность на валу двигателя, Вт;

$w_H = \pi \cdot n_H / 30$ - номинальная скорость якоря, рад/с;

n_H - номинальная частота вращения двигателя, мин⁻¹.

Номинальный вращающий момент на валу двигателя

$$M_H = P_H \cdot 10^3 / w_H. \quad (1.9)$$

Скорость идеального холостого хода

$$w_0 = \frac{U_H}{C_H} = \frac{w_H U_H}{U_H - I_H R_{я}} = \frac{w_H U_H}{E_H}. \quad (1.10)$$

Сопротивления добавочных резисторов, включаемых в цепь якоря ДПТ для ограничения тока при пуске, рекуперативном и динамическом торможении, а также при торможении противовключением рассчитывают по формулам:

$$R_{\text{доб п}} = \frac{U_c}{I_{\text{п}}} - R_{\text{я}}; \quad (1.11)$$

$$R_{\text{доб рт}} = \frac{(E_{\text{я}} - U_c)}{I_{\text{т}}} - R_{\text{я}}; \quad (1.12)$$

$$R_{\text{доб дт}} = \frac{E_{\text{я}}}{I_{\text{т}}} - R_{\text{я}}; \quad (1.13)$$

$$R_{\text{доб тп}} = \frac{(U_c + E_{\text{я}})}{I_{\text{т}}} - R_{\text{я}}; \quad (1.14)$$

где $I_{\text{п}}$ и $I_{\text{т}}$ - допустимые (предельные) начальные значения тока при пуске и торможении, А;

U_c , $E_{\text{я}}$ - напряжение сети и ЭДС якоря, В.

Полные потери мощности в двигателе при $P = P_{\text{н}}$

$$\Delta P_{\text{н}} = P_{\text{эн}} - P_{\text{н}} = P_{\text{н}} \left(\frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \right); \quad (1.15)$$

Угловая скорость вращения якоря ДПТ ПВ на реостатной характеристике при фиксированном значении тока I_i

$$w_{\text{и} i} = w_{\text{е} i} \frac{U_{\text{н}} - I_i (R_{\text{я}} + R_{\text{д}})}{U_{\text{н}} - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}, \quad (1.16)$$

где $w_{\text{е} i}$ - угловая скорость на естественной электромеханической характеристике при фиксированном токе, рад/с.

Физические величины, выраженные в относительных единицах:

- вращающий момент:

$$M_* = \frac{M}{M_{\text{н}}}; \quad (1.17)$$

- магнитный поток

$$\Phi_* = \frac{\Phi}{\Phi_{\text{н}}}; \quad (1.18)$$

- напряжение

$$U_* = \frac{U}{U_H}; \quad (1.19)$$

- перепад скорости

$$\delta = \frac{(w_0 - w)}{w_0}; \quad (1.20)$$

- скорость якоря ДПТ НВ

$$w_* = \frac{w}{w_0}; \quad (1.21)$$

- скорость якоря ДПТ ПВ

$$w_* = \frac{w}{w_H}; \quad (1.22)$$

- ток

$$I_* = \frac{I}{I_H} \text{ при } \Phi = \Phi_H. \quad (1.23)$$

Жесткость естественной механической характеристики

$$\beta = (M_{*0} - M_{*H}) / (w_{*0} - w_{*H}) \quad (1.24)$$

где M_{*0} – момент, соответствующий скорости идеального холостого хода, равный 0.

1.2 Расчет и построение механической и электромеханической характеристик ДПТ независимого возбуждения по каталожным данным

Пример. Для ДПТ НВ, используя его паспортные (номинальные) данные: $P_H = 2,5$ кВт; $U_H = 110$ В; $n_H = 1000$ мин⁻¹; $\eta_H = 72\%$, определить величины, характеризующие его работу в номинальном режиме и построить естественные механическую и электромеханическую характеристики.

Решение:

1. Номинальный ток двигателя

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{U_{\text{н}} \eta_{\text{н}}} = \frac{2,5 \cdot 10^3}{110 \cdot 0,72} = 31,6 \text{ А.}$$

2. Номинальное сопротивление двигателя

$$R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} = \frac{110}{31,6} = 3,48 \text{ Ом.}$$

3. Внутреннее сопротивление цепи якоря

$$R_{\text{я}} \approx 0,5(1 - \eta_{\text{н}}) \frac{U_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} = 0,5R_{\text{н}}(1 - \eta_{\text{н}}) = 0,5 \cdot 3,48(1 - 0,72) = 0,487 \text{ Ом.}$$

4. Падение напряжения в цепи якоря

$$\Delta U_{\text{я}} = I_{\text{н}} R_{\text{я}} = 31,6 \cdot 0,487 = 15,4 \text{ В.}$$

5. Электродвижущая сила (далее – ЭДС), наведенная в обмотке ДПТ НВ при номинальной скорости $w_{\text{н}}$ и номинальном магнитном потоке $\Phi_{\text{н}}$,

$$E_{\text{н}} = U_{\text{н}} - \Delta U_{\text{я}} = 110 - 15,4 = 94,6 \text{ В.}$$

6. Номинальная скорость якоря

$$w_{\text{н}} = \pi \cdot \frac{n_{\text{н}}}{30} = 0,105 \cdot n_{\text{н}} = 0,105 \cdot 1000 = 105 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

7. Номинальный вращающий момент на валу двигателя

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{w_{\text{н}}} = \frac{2,5 \cdot 10^3}{105} = 23,8 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

8. Мощность, потребляемая двигателем из электрической сети при номинальной нагрузке,

$$P_{\text{эн}} = U_{\text{н}} I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} = \frac{M_{\text{н}} w_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} = \frac{2,5}{0,72} = 3,47 \text{ кВт.}$$

9. Полные потери мощности в двигателе при $P = P_{\text{н}}$

$$\Delta P_{\text{н}} = P_{\text{эн}} - P_{\text{н}} = P_{\text{н}} \left(\frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \right) = 2,5 \left(\frac{1 - 0,72}{0,72} \right) = 0,97 \text{ кВт.}$$

10. Скорость идеального холостого хода при номинальном напряжении

$$w_0 = \frac{w_H U_H}{U_H - I_H R_{\text{я}}} = \frac{w_H U_H}{E_H} = \frac{105 \cdot 110}{94,6} = 122 \text{ рад/с.}$$

11. Коэффициент пропорциональности между ЭДС и скоростью

$$C_H = \frac{E_H}{w_H} = \frac{94,6}{105} = 0,9 \text{ В} \cdot \text{с.}$$

12. Номинальный электромагнитный вращающий момент

$$M_{\text{эH}} = C_H \cdot I_H = 0,9 \cdot 31,6 = 28,4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

13. Перепад скорости

$$\delta = \frac{(w_0 - w_H)}{w_0} = \frac{(122 - 105)}{122} = 0,14.$$

14. Момент холостого хода

$$M_{\text{xx}} = M_{\text{эH}} - M_H = 28,4 - 23,8 = 4,6 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

17. Скорость реального холостого хода

$$w_{\text{xx}} = \frac{U_H}{C_H} - \frac{M_{\text{xx}} R_{\text{я}}}{C_H^2} = \frac{110}{0,9} - \frac{4,6 \cdot 0,487}{0,9^2} = 119,2 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

18. Номинальная скорость якоря в относительных единицах

$$w_* = \frac{w_H}{w_0} = \frac{105}{122} = 0,86.$$

19. Жесткость естественной механической характеристики

$$\beta = \frac{(M_{*0} - M_{*H})}{(w_{*0} - w_{*H})} = \frac{(0 - 1)}{(1 - 0,86)} = -7,14.$$

Для построения естественных механической и электромеханической характеристик ДПТ НВ (рисунок 1.1), которые представляют собой прямые линии достаточно определить координаты 2 точек:

1) $w = w_0; M = 0, I = 0$

2) $w = w_H; M = M_H, I = I_H.$

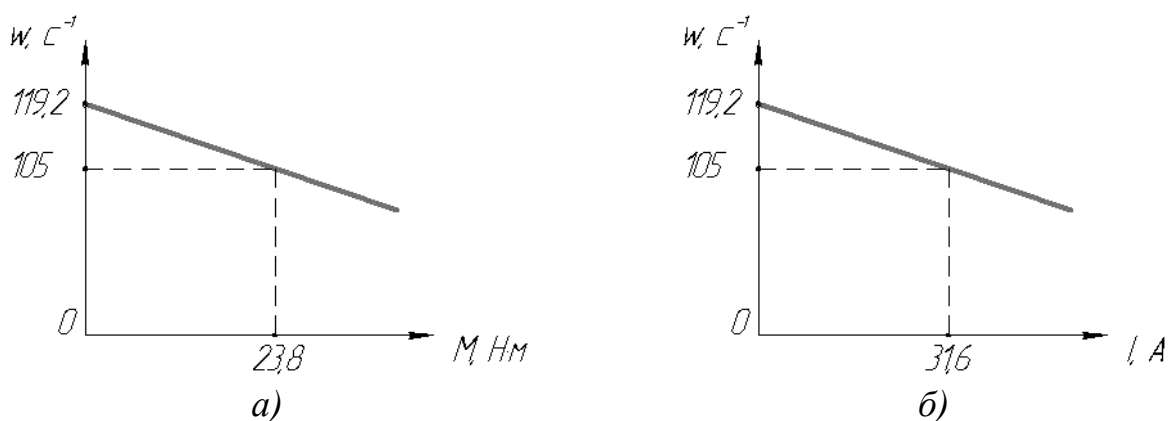


Рисунок 1.1 - Естественные механическая а) и электромеханическая б) характеристики ДПТ НВ

1.3 Расчет и построение естественных механических и электромеханических характеристик ДПТ последовательного возбуждения по каталожным данным

Пример. Для ДПТ последовательного возбуждения, используя его паспортные (номинальные) данные: $P_H = 3,3$ кВт; $U_H = 40$ В; $I_H = 96$ А; $n_H = 1250$ мин⁻¹, определить величины, характеризующие его работу в номинальном режиме, и построить естественные механическую и электромеханическую характеристики.

Решение:

1. Коэффициент полезного действия

$$\eta_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{I_H U_H} = \frac{3,3 \cdot 10^3}{96 \cdot 40} = 0,86.$$

2. Номинальная скорость якоря

$$\omega_H = \pi \cdot \frac{n_H}{30} = 0,105 \cdot n_H = 0,105 \cdot 1250 = 131 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

3. Номинальный вращающий момент на валу двигателя

$$M_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\omega_H} = \frac{3,3 \cdot 10^3}{131} = 25,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

4. Номинальное сопротивление двигателя

$$R_H = \frac{U_H}{I_H} = \frac{40}{96} = 0,42 \text{ Ом}.$$

5. Внутреннее сопротивление цепи якоря

$$R_{\text{я}} \approx 0,75(1 - \eta_{\text{н}})R_{\text{н}} = 0,75(1 - 0,86)0,42 = 0,04 \text{ Ом.}$$

6. Падение напряжения в цепи якоря

$$\Delta U_{\text{я}} = I_{\text{н}} R_{\text{я}} = 96 \cdot 0,04 = 3,84 \text{ В.}$$

7. ЭДС двигателя в номинальном режиме

$$E_{\text{н}} = U_{\text{н}} - \Delta U_{\text{я}} = 40 - 3,84 = 36,2 \text{ В.}$$

8. Коэффициент пропорциональности между ЭДС и скоростью

$$C_{\text{н}} = \frac{E_{\text{н}}}{w_{\text{н}}} = \frac{36,2}{131} = 0,28 \text{ В} \cdot \text{с.}$$

9. Мощность, потребляемая двигателем из электрической сети при номинальной нагрузке,

$$P_{\text{эH}} = \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} = \frac{3,3}{0,86} = 3,84 \text{ кВт.}$$

10. Полные потери мощности в двигателе при $P = P_{\text{н}}$

$$\Delta P_{\text{н}} = P_{\text{н}} \left(\frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \right) = 3,3 \left(\frac{1 - 0,86}{0,86} \right) = 0,54 \text{ кВт.}$$

Построение механических и электромеханических характеристик ДПТ последовательного возбуждения обычно производят графоаналитическим способом на основании данных каталогов, где приводятся универсальные характеристики $w_* = f(I_*)$, $M_* = f(I_*)$, и даны зависимости $w_* = \frac{w}{w_{\text{н}}}$, $M_* = \frac{M}{M_{\text{н}}}$ в функции относительного тока $I_* = \frac{I}{I_{\text{н}}}$ (рисунок 1.2).

С использованием универсальных характеристик заполняется таблица 1.1.

Таблица 1.1 - Расчет механических и электромеханических характеристик ДПТПВ

I_*	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0
M_*	0,24	0,71	1,22	1,84	-
w_*	2,0	1,24	0,92	0,73	0,6
$w = w_* \cdot w_{\text{н}}$	262	162	120	95	78
$M = M_* \cdot M_{\text{н}}$	6	18	31	46	-
$I = I_* \cdot I_{\text{н}}$	38,4	76,8	115	154	192

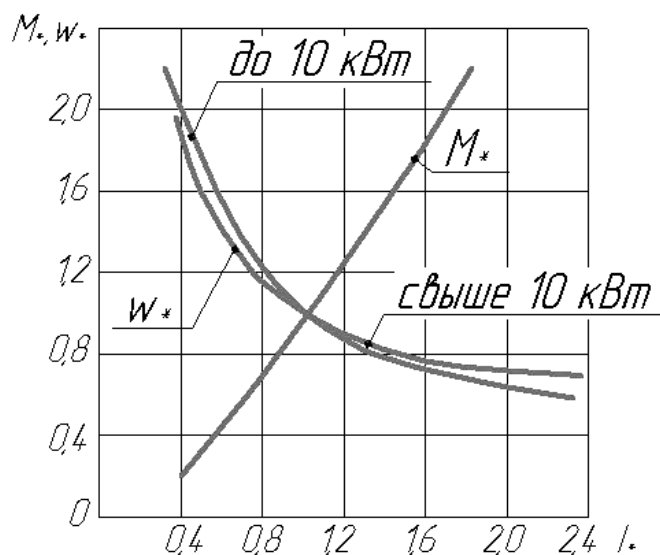


Рисунок 1.2 - Универсальные характеристики ДПТ ПВ

По полученным данным строятся естественные механическая $w=f(M)$ и электромеханическая $w=f(I)$ характеристики ДПТ последовательного возбуждения.

1.4 Построение искусственных механических характеристик ДПТ независимого возбуждения

Пример. Для ДПТ НВ, рассмотренного в п. 1.2, построить искусственные механические характеристики при:

- напряжении на якоре $U=0,5U_n$;
- сопротивлении цепи якоря $R=5R_{я}$;
- магнитном потоке $\Phi=0,8\Phi_n$;
- действуют одновременно все условия.

Решение:

Для построения искусственных механических характеристик также необходимо знать координаты 2-х точек: идеального холостого хода ($w_u=w_{0u}$; $M=0$) и номинального режима нагрузки ($w_u=w_n$; $M=M_n$).

1. Скорость вращения идеального холостого хода при $U=0,5U_n$

$$w_{0и1} = \frac{0,5U_n}{C_n} = \frac{0,5 \cdot 110}{0,9} = 61 \text{ рад/с.}$$

Скорость вращения при $M=M_n$ и $U=0,5U_n$

$$w_{н.и1} = w_{0и1} - \frac{M_n R_{я}}{C_n^2} = 61 - \frac{23,8 \cdot 0,487}{0,9^2} = 46,7 \text{ рад/с.}$$

На рисунке 1.3 построена искусственная характеристика 2 при $U=0,5U_n$.

2. При построении реостатной характеристики координаты точки 1 известны: (122; 0), т.к. w_0 не зависит от сопротивления добавочных резисторов. Скорость вращения $w_{н.и2}$ при $M = M_H$ и $R=5R_{я}$

$$w_{н.и2} = w_0 - \frac{M_H \cdot 5R_{я}}{C_H^2} = 122 - \frac{23,8 \cdot 5 \cdot 0,487}{0,9^2} = 50,4 \text{ рад/с.}$$

На рисунке 1.3 построена искусственная характеристика 3 при $R=5R_{я}$.

3. При изменении магнитного потока искусственную механическую характеристику строят по точкам:

- 1) $w = w_{0 \text{ и}3}; M = 0;$
- 2) $w = w_{H \text{ и}3}; M = M_H.$

$$w_{0 \text{ и}3} = \frac{U_H}{0,8 \cdot C_H} = \frac{110}{0,8 \cdot 0,9} = 153 \text{ рад/с,}$$

$$w_{H \text{ и}3} = \frac{U_H}{0,8 \cdot C_H} - \frac{M_H \cdot R_{я}}{(0,8 \cdot C_H)^2} = \frac{110}{0,8 \cdot 0,9} - \frac{23,8 \cdot 0,487}{(0,8 \cdot 0,9)^2} = 130,6 \text{ рад/с.}$$

На рисунке 1.3 построена искусственная характеристика 4 при $\Phi=0,8\Phi_H$.

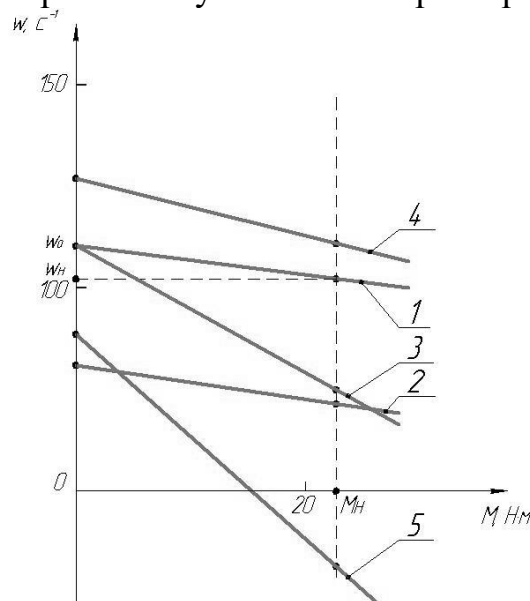


Рисунок 1.3 - Искусственные механические характеристики ДПТ НВ

4. При комплексном изменении напряжения, сопротивления и магнитного потока скорость идеального холостого хода равна:

$$w_{0 \text{ и}4} = \frac{0,5 \cdot U_H}{0,8 \cdot C_H} = \frac{0,5 \cdot 110}{0,8 \cdot 0,9} = 76,4 \text{ рад/с.}$$

Скорость при $M = M_H$

$$w_{H из} = w_{0 из} - \frac{M_H \cdot 5R_y}{(0,8 \cdot C_H)^2} = 76,4 - \frac{23,8 \cdot 5 \cdot 0,487}{(0,8 \cdot 0,9)^2} = -35,4 \text{ рад/с.}$$

На рисунке 1.3 для этого режима построена искусственная характеристика 5.

1.5 Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Для ДПТ независимого возбуждения, используя его паспортные данные, приведенные в таблице 1.2, определить величины, характеризующие его работу в номинальном режиме, построить естественные механическую и электромеханическую характеристики и рассчитать жесткость механической характеристики.

Таблица 1.2 - Варианты заданий для построения естественной характеристики ДПТ НВ

№ п/п	P_H , кВт	U_H , В	n_H , мин ⁻¹	η_H , %
1	2,8	220	750	66,5
2	4,2	110	950	72
3	5,5	220	1600	80,5
4	7,5	110	2200	83
5	11	220	3000	85,5
6	4,2	220	750	73
7	6	220	1000	79
8	7,5	220	1500	83
9	13	220	2240	87
10	16	220	3150	87
11	10	110	750	77,5
12	14	220	1000	82
13	18,5	220	1500	87
14	25	220	2120	89
15	15	110	750	82
16	20	220	1000	85,5
17	30	220	1500	88,5
18	15	220	500	77,5
19	22	220	750	83,2
20	30	220	1060	85
21	20,8	220	600	82,2
22	37	220	750	83,2
23	45	220	1000	86
24	75	220	1500	89
25	5,5	110	1500	79
26	7,5	220	2120	83,5
27	15	110	750	82
28	10	220	750	79

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5
29	6	110	1000	78
30	4,2	220	750	73

Задача 2. Для ДПТ последовательного возбуждения, используя его паспортные данные, приведенные в таблице 1.3, определить величины, характеризующие его работу в номинальном режиме, построить естественные механическую и электромеханическую характеристики.

Таблица 1.3 - Варианты заданий для построения естественной характеристики ДПТ ПВ

№ п/п	P_n , кВт	U_n , В	I_n , А	n_n , мин ⁻¹
1	2	3	4	5
1	0,18	110	3,5	1000
2	0,25	220	1,7	1500
3	0,55	110	7,9	3000
4	0,25	110	4,0	1000
5	0,37	220	2,1	1500
6	0,55	220	3,5	2200
7	0,75	110	10,7	1000
8	0,37	110	4,8	1000
9	0,75	220	5	2200
10	1,1	110	15,2	3000
11	0,18	220	1,6	1000
12	0,25	110	4,1	1500
13	1,5	110	19	1500
14	1,1	110	15,4	1000
15	2,2	220	13,4	3000
16	1,5	220	9,5	2200
17	1,1	220	6,1	1500
18	0,55	110	13,8	1000
19	0,75	110	10,4	1000
20	0,55	220	3,8	750
21	1,5	220	9,7	3000
22	1,1	220	6,7	2200
23	0,75	220	5,1	1500
24	0,55	220	3,9	1000
25	0,37	110	2,7	750
26	1,5	220	9,3	1500
27	1,1	220	7,2	1000
28	0,75	110	11	750
29	1,5	110	26,2	3000
30	1,1	110	19,3	1500

Задача 3. Для ДПТ НВ, рассмотренного в задаче 1.1, построить естественную и искусственные механические характеристики при изменении:

- напряжения на якоре U ;
- сопротивления цепи якоря R ;
- магнитного потока Φ ;
- одновременном изменении вышеперечисленных параметров.

Произвести сравнительную оценку полученных механических характеристик (изменение жесткости механических характеристик и скорости идеального холостого хода, направление регулирования скорости).

Таблица 1.4 - Варианты заданий для построения искусственных механических характеристик ДПТ независимого возбуждения

№ п/п	U	R	Φ
1	2	3	4
1	$0,5U_H$	$5R_{я}$	$0,9\Phi_H$
2	$0,6U_H$	$4R_{я}$	$0,8\Phi_H$
3	$0,7U_H$	$3R_{я}$	$0,7\Phi_H$
4	$0,8U_H$	$2R_{я}$	$0,6\Phi_H$
5	$0,9U_H$	$5R_{я}$	$0,5\Phi_H$
6	$0,8U_H$	$4R_{я}$	$0,4\Phi_H$
7	$0,7U_H$	$3R_{я}$	$0,9\Phi_H$
8	$0,6U_H$	$2R_{я}$	$0,8\Phi_H$
9	$0,5U_H$	$5R_{я}$	$0,7\Phi_H$
10	$0,6U_H$	$4R_{я}$	$0,6\Phi_H$
11	$0,7U_H$	$3R_{я}$	$0,5\Phi_H$
12	$0,8U_H$	$2R_{я}$	$0,4\Phi_H$
13	$0,9U_H$	$5R_{я}$	$0,9\Phi_H$
14	$0,8U_H$	$4R_{я}$	$0,8\Phi_H$
15	$0,7U_H$	$3R_{я}$	$0,7\Phi_H$
16	$0,6U_H$	$2R_{я}$	$0,6\Phi_H$
17	$0,5U_H$	$5R_{я}$	$0,5\Phi_H$
18	$0,6U_H$	$4R_{я}$	$0,4\Phi_H$
19	$0,7U_H$	$3R_{я}$	$0,9\Phi_H$
20	$0,8U_H$	$2R_{я}$	$0,8\Phi_H$
21	$0,9U_H$	$5R_{я}$	$0,7\Phi_H$
22	$0,8U_H$	$4R_{я}$	$0,6\Phi_H$
23	$0,7U_H$	$3R_{я}$	$0,5\Phi_H$
24	$0,6U_H$	$2R_{я}$	$0,4\Phi_H$
25	$0,5U_H$	$5R_{я}$	$0,9\Phi_H$
26	$0,6U_H$	$4R_{я}$	$0,8\Phi_H$
27	$0,7U_H$	$3R_{я}$	$0,7\Phi_H$
28	$0,8U_H$	$2R_{я}$	$0,6\Phi_H$
29	$0,9U_H$	$5R_{я}$	$0,5\Phi_H$
30	$0,8U_H$	$4R_{я}$	$0,4\Phi_H$

1.6 Вопросы для самоконтроля

1. Какие типы ДПТ применяются в ЭП?
2. Какова методика построения естественных механической и электро-механической характеристик ДПТ НВ?
3. Какова методика построения естественных механической и электро-механической характеристик ДПТ ПВ?
4. С какой целью запрещено соединять ДПТ ПВ с рабочей машиной через ременную передачу?
5. Что такое жесткость механической характеристики? Каким образом она определяется?
6. Что представляет собой универсальная характеристика ДПТ ПВ?
7. Назовите основные способы регулирования координат электроприводов с ДПТ НВ.
8. Как влияет величина сопротивления в цепи якоря на жесткость механической характеристики и скорость вращения ДПТ НВ и ДПТ ПВ?
9. Как изменяется жесткость механической характеристики и скорость вращения ДПТ НВ при изменении магнитного потока?
10. Как изменяется жесткость механической характеристики и скорость вращения ДПТ НВ при изменении напряжения в якорной цепи?

2 РАСЧЁТ И ПОСТРОЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Практическое занятие № 2

2.1 Основные формулы, характеризующие работу АД и используемые при построении механических характеристик

Частота (синхронная) вращения магнитного поля статора АД

$$n_0 = \frac{60f}{p}; \quad (2.1)$$

где f – частота питающего напряжения, Гц;

p – число пар полюсов.

Угловая скорость вращения магнитного поля статора АД

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}. \quad (2.2)$$

Скольжение АД

$$s = \frac{(\omega_0 - \omega)}{\omega_0}, \quad (2.3)$$

где ω – угловая скорость вращения ротора АД:

$$\omega = \omega_0(1 - s). \quad (2.4)$$

Номинальный момент АД вычисляется по формуле (1.9).

Этих данных достаточно для построения рабочего участка механической характеристики АД по двум точкам: номинальной нагрузки ($\omega_n; M_{ном}$) и идеального холостого хода ($\omega_0; 0$).

Для построения всей механической характеристики расчет продолжают в следующей последовательности.

Критический (максимальный) момент

$$M_{кр} = \mu_{кр} \cdot M_n, \quad (2.5)$$

где $\mu_{кр}$ – кратность критического (максимального) момента (паспортные данные АД).

Пусковой момент двигателя при $s = 1$

$$M_{\Pi} = \mu_{\Pi} \cdot M_{\text{H}}, \quad (2.6)$$

где μ_{Π} - кратность пускового момента (паспортные данные АД).
Пусковой ток двигателя

$$I_{\Pi} = k_i \cdot I_{\text{H}}, \quad (2.7)$$

где k_i - кратность пускового тока электродвигателя (паспортные данные АД).
Минимальный момент двигателя (значение скольжения, соответствующее минимальному моменту, ориентировочно принимают равным 0,84...0,86)

$$M_{\min} = \mu_{\min} \cdot M_{\text{H}}, \quad (2.8)$$

где μ_{\min} - кратность минимального момента.
Критическое скольжение АД

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{ном}} \left[\mu_{\text{кр}} + \sqrt{\mu_{\text{кр}}^2 - 1} \right]. \quad (2.9)$$

где $s_{\text{ном}}$ - номинальное скольжение.

Текущее значение вращающего момента при заданных величинах определяют по упрощенной формуле Клосса

$$M = \frac{2M_{\text{кр}}}{\frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s}}, \quad (2.10)$$

Для построения электромеханической (скоростной) характеристики АД можно воспользоваться формулой Шубейко

$$I_1 = \sqrt{(I_{\text{H}}^2 - I_0^2) \frac{s \cdot M}{s_{\text{HХ}} M_{\text{H}}} + I_0^2}, \quad (2.11)$$

где I_1 - ток статора, соответствующий скольжению s и моменту M ;

$I_{\text{H}}, M_{\text{H}}$ - номинальные значения тока статора и момента двигателя;

$s_{\text{HХ}}$ - скольжение на расчетной x -й характеристике, соответствующей номинальному моменту;

I_0 - ток холостого хода АД:

$$I_0 = I_{\text{H}} \left(\sin \varphi_{\text{H}} - \frac{s_{\text{H}}}{s_{\text{K}}} \cos \varphi_{\text{H}} \right). \quad (2.12)$$

Потери мощности в цепи ротора АД

$$\Delta P = P_{\text{э}} - P_{\text{мх}} = M w_0 - M w = M w_0 s, \quad (2.13)$$

где $P_{\text{э}}$ – электромагнитная мощность двигателя, Вт;

$P_{\text{мх}}$ – механическая мощность на валу ротора, Вт.

Частота тока ротора

$$f_1 = f \cdot s. \quad (2.14)$$

2.2 Расчет и построение естественной механической характеристики АД по каталожным данным

Пример. Рассчитать и построить механическую и электромеханическую характеристики АД с короткозамкнутым ротором типа АИР112М2, у которого: $P_{\text{н}} = 7,5$ кВт; $n_{\text{н}} = 2895$ мин⁻¹; $s_{\text{н}} = 3,5$ %; $\eta_{\text{н}} = 87,5$; $\mu_{\text{п}} = 2$; $\mu_{\text{кр}} = 2,2$; $\mu_{\text{мин}} = 1,6$; $k_i = 7,5$; $\cos \varphi_{\text{н}} = 0,88$. Определить величины, характеризующие его работу в номинальном режиме.

Решение:

1. Скорость вращения вала двигателя при идеальном холостом ходе

$$w_0 = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314 \text{ рад/с.}$$

2. Скорость вращения вала двигателя при номинальной нагрузке

$$w_{\text{н}} = w_0(1 - s_{\text{н}}) = 314(1 - 0,035) = 303 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

3. Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{w_{\text{н}}} = \frac{7,5 \cdot 10^3}{303} = 24,75 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

4. Критический (максимальный) момент

$$M_{\text{кр}} = \mu_{\text{кр}} \cdot M_{\text{н}} = 2,2 \cdot 24,75 = 54,5 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

5. Пусковой момент электродвигателя при $s=1$

$$M_{\text{п}} = \mu_{\text{п}} \cdot M_{\text{н}} = 2 \cdot 24,75 = 49,5 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

6. Минимальный момент двигателя при $s=0,85$

$$M_{min} = \mu_{min} \cdot M_H = 1,6 \cdot 24,75 = 39,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

7. Критическое скольжение

$$s_{кр} = s_{ном} \left[\mu_{кр} + \sqrt{\mu_{кр}^2 - 1} \right] = 0,035 \left[2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1} \right] = 0,14.$$

8. Скорость вращения при $s=s_{кр}$

$$w_{кр} = w_0(1 - s_{кр}) = 314(1 - 0,14) = 270 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

9. Скорость вращения при $s=s_{min}$

$$w_{min} = w_0(1 - s_{min}) = 314(1 - 0,85) = 47,1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

По расчетным данным строится механическая характеристика АД.

Текущее значение вращающего момента при заданных величинах скольжения (например, задаваясь значениями скольжения 0; 0,035; 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 1) определяют по упрощенной формуле Клосса (в качестве примера приведен расчет для значения скольжения $s = 0,1$)

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}} = \frac{2 \cdot 54,5}{\frac{0,1}{0,14} + \frac{0,14}{0,1}} = 51,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Полученные значения M и w приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Данные к построению естественной механической характеристики

s	1	0,7	0,5	0,3	0,14	0,035	0
$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	15,0	20,9	28,1	41,9	54,5	25,6	0
$w, \text{рад/с}$	0	94,2	157	219,8	270,0	303	314

На рисунке 2.1 представлена механическая характеристика 1, координаты которой определены только по каталожным данным, а для характеристики 2 момент определялся с использованием упрощенной формулы.

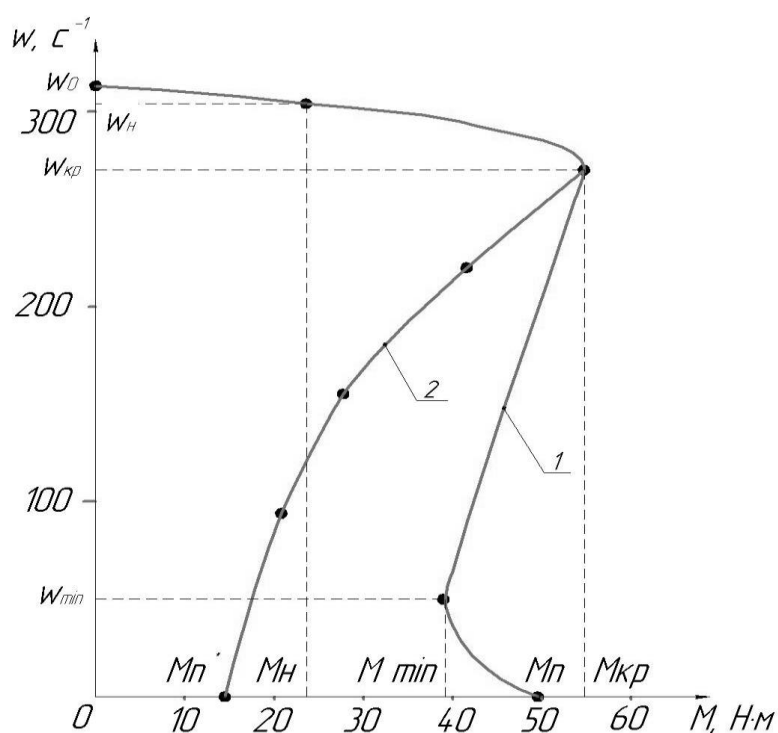


Рисунок 2.1 - Механическая характеристика АД

2.3 Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Для АД серии 4А и АИР из приложений 1 и 2 выписать согласно варианту значения: номинальной мощности на валу двигателя P_n , кВт; кратности критического момента $\mu_{кр}$; кратности пускового момента μ_p ; кратности пускового тока $k_{i, min}$; номинального КПД η_n , %; $\cos\varphi_n$. По каталожным данным рассчитать и построить механическую и электромеханическую характеристики АД. Рассчитать и построить механическую характеристику АД по упрощенной формуле Клосса.

2.4 Вопросы для самоконтроля

1. Какие основные части составляют конструкцию АД?
2. Какова методика построения естественных механической и электромеханической характеристик АД?
3. Что такое рабочая часть естественной механической характеристики АД?
4. Назовите характерные точки механической характеристики АД.
5. Что такое скольжение АД?

3 РАСЧЁТ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ, СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЁТА

Практическое занятие № 3

3.1 Основные формулы, используемые при выборе двигателя

Выбор электродвигателя производится обычно следующим образом: сначала рассчитывается требуемая мощность, а затем предварительно выбранный двигатель проверяется по условиям пуска, перегрузки и нагрева.

Продолжительный номинальный режим работы (*SI*) двигателя характеризуется неизменной нагрузкой в течение времени, за которое перегрев всех его частей достигает установившегося значения. Признаком режима *SI* является выполнение условия

$$t_p > 3T_n, \quad (3.1)$$

где t_p - время работы (включения) двигателя;

T_n - постоянная времени нагрева электродвигателя.

Работа двигателя в режиме *SI* может происходить с постоянной или переменной циклической нагрузкой.

Если при работе нагрузка не изменяется, то должен быть выбран двигатель с номинальной мощностью P_n , равной мощности нагрузки с учетом потерь в трансмиссии:

$$P_n \geq \frac{P_m}{\eta_n}, \quad (3.2)$$

где η_n - КПД передачи.

При переменной циклической нагрузке также будут изменяться его ток, момент и потери мощности. Проверка двигателя по нагреву в этом случае выполняется методами средних потерь или эквивалентных величин.

Сущность **метода средних потерь** заключается в определении средних потерь мощности ΔP_{cp} за цикл работы двигателя и сопоставлении их с номинальными потерями мощности ΔP_n , после чего делается заключение о нагреве двигателя.

Мощность двигателя для продолжительной переменной нагрузки

$$P_n \geq (1,2 \dots 1,3)P_m, \quad (3.3)$$

где P_m - среднее значение мощности по нагрузочной диаграмме исполнительного механизма.

Коэффициент полезного действия при i -ой нагрузке

$$\eta_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\eta_n} - 1\right) \left(\frac{\frac{\alpha}{\chi_i} + \chi_i}{\alpha + 1}\right)}, \quad (3.4)$$

где α – коэффициент потерь ($\alpha = 1$ для ДПТ НВ, $\alpha = 0,5$ для ДПТ ПВ, $\alpha = 0,5 \dots 0,7$ для АД, $\alpha = 1,5 \dots 2$ для синхронных двигателей);

χ - кратность тока ($\chi_i = \frac{I_i}{I_n} = \frac{P_i}{P_n}$).

Средние потери мощности за цикл

$$\Delta P_{cp} = \frac{\sum_1^n \Delta P_i \cdot t_i}{\sum_1^n t_i}. \quad (3.5)$$

Номинальные потери мощности двигателя определяются по каталожным данным по формуле (1.15).

Потери мощности на участках нагрузочной диаграммы при P_i нагрузке на валу двигателя

$$\Delta P_i = P_i \left(\frac{1 - \eta_i}{\eta_i} \right). \quad (3.6)$$

Допустимый нагрев двигателя будет при условии

$$\Delta P_{cp} \leq \Delta P_n. \quad (3.7)$$

Метод средних потерь позволяет оценить тепловой режим работы двигателя по среднему превышению температуры. В этом заключается определенная погрешность метода, поскольку максимальный перегрев двигателя на отдельных участках цикла может превышать средний. Кроме того, данный метод достаточно трудоемок, поэтому применяют другой, более удобный метод средне-квадратичных или эквивалентных величин.

Формула (3.5) справедлива, если постоянные потери не изменяются за цикл работы, а сопротивления главных цепей двигателя остаются неизменными.

Метод эквивалентного тока целесообразно использовать в том случае, когда известен график изменения тока двигателя во времени.

Ток $I_{\text{экв}}$ по условиям нагрева эквивалентен действительному, изменяющемуся во времени току двигателя

$$I_{\text{экв}} = \frac{\sum_1^n (I_i^2 \cdot t_i)}{t_{\text{ц}}}, \quad (3.8)$$

где $t_{\text{ц}}$ - время цикла.

Условие проверки двигателя по нагреву имеет вид:

$$I_{\text{экв}} \leq I_{\text{н}}. \quad (3.9)$$

Если выполняется условие (3.9), то при соблюдении указанных ранее условий нагрев двигателя не превысит допустимого уровня. Отметим, что условие (3.9) справедливо, если постоянные потери не изменяются за цикл работы. Это может быть при $w=\text{const}$, $\Phi=\text{const}$.

Метод эквивалентного момента удобно использовать, когда известен график изменения момента двигателя во времени и обеспечивается постоянство магнитного потока двигателя на протяжении всего цикла работы.

Если условия выполняются, то формула для расчета эквивалентного по условиям нагрева момента имеет вид:

$$M_{\text{экв}} = \frac{\sum_1^n (M_i^2 \cdot t_i)}{t_{\text{ц}}} \leq M_{\text{н}}. \quad (3.10)$$

Метод эквивалентной мощности используется, если известен график изменения мощности во времени, и при условии постоянства потерь, магнитного потока и скорости двигателя на всех участках рабочего цикла.

При этом эквивалентная по условиям нагрева мощность определяется по выражению

$$P_{\text{экв}} = \frac{\sum_1^n (P_i^2 \cdot t_i)}{t_{\text{ц}}} \leq P_{\text{н}}. \quad (3.11)$$

Если пуск осуществляется под нагрузкой, а выбран асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, необходим проверочный расчет по условиям пуска.

Необходимые номинальный момент $M_{\text{н пуск}}$ и мощность $P_{\text{н пуск}}$ по условиям пуска:

$$M_{\text{н пуск}} = \frac{1,25M_{\text{с}}}{\mu_{\text{п}} \cdot u^2}, \quad (3.12)$$

$$P_{\text{н пуск}} = \frac{1,25P_{\text{с}}}{\mu_{\text{п}} \cdot u^2}, \quad (3.13)$$

где $M_{\text{с}}$, $P_{\text{с}}$ - соответственно статические момент и мощность сопротивления привода механизма, Н·м;

$\mu_{\text{п}}$ - кратность минимального пускового момента;

u - напряжение во время пуска, выраженное в относительных единицах.

При переменной нагрузке следует определить также, требуемую мощность двигателя по условиям допустимой перегрузки $P_{\text{н пер}}$, предполагая, что

критический момент двигателя в 1,25 раз больше максимального момента нагрузки:

$$M_{н\ пер} = \frac{1,25M_{max}}{\mu_{max}}, \quad (3.14)$$

$$P_{н\ пер} = \frac{1,25P_{max}}{\mu_{max}}, \quad (3.15)$$

где $M_{н\ пер}$ - номинальный момент электродвигателя по условию допустимой перегрузки;

M_{max}, P_{max} - наибольшие момент и мощность нагрузки;

μ_{max} - кратность критического момента электродвигателя.

Окончательно двигатель выбирают по большему значению из $P_{ном}$, $P_{н\ пуск}$ и $P_{н\ пер}$.

3.2 Методика расчета мощности двигателя

Метод средних потерь:

1. По нагрузочной диаграмме рабочей машины делают ориентировочный расчет мощности двигателя, пользуясь формулой (3.3).

2. В соответствии с ориентировочно рассчитанной мощностью, скоростью вращения рабочей машины и режимом работы подбирают двигатель по каталогу и записывают его технические данные.

3. Зная номинальный КПД двигателя по формуле (3.4) определяют КПД двигателя при частичных нагрузках согласно данным нагрузочной диаграммы.

4. Для каждого участка диаграммы по формуле (3.6) определяют потери мощности в двигателе.

5. По формуле (3.5) определяют среднее значение потерь мощности и проверяют расчетное значение по условию (3.7).

6. Выбранный двигатель проверяют по условию пуска (3.12), (3.13) и перегрузочной способности (3.14), (3.15).

Метод среднеквадратичных величин:

1. По формулам (3.8), (3.10) и (3.11) по данным нагрузочной диаграммы рассчитывают эквивалентные ток, момент и мощность двигателя.

2. В соответствии с ориентировочно рассчитанной мощностью, скоростью вращения рабочей машины и режимом работы подбирают двигатель по каталогу и записывают его технические данные.

3. Выбранный двигатель проверяют по условию пуска (3.12), (3.13) и перегрузочной способности (3.14), (3.15).

Пример. Определить необходимую мощность приводного электродвигателя, работающего в режиме *SI*, методом средних потерь.

Таблица 3.1 - Данные нагрузок на валу двигателя и продолжительности работы по периодам

Нагрузка на валу двигателя по периодам, кВт	4	3	2	5
Продолжительность работы по периодам, мин	30	20	35	15

Решение:

1. Определяем приближенное значение мощности двигателя

$$P_H \geq 1,25P_M = 1,25 \cdot 3,25 = 4,05 \text{ кВт},$$

где

$$P_M = \frac{P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3 + P_4 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} = \frac{4 \cdot 30 + 3 \cdot 20 + 2 \cdot 35 + 5 \cdot 15}{30 + 20 + 35 + 15} = 3,25 \text{ кВт}.$$

2. Предварительно принимаем двигатель АИР100L4, имеющий $P_H = 4 \text{ кВт}$ и $\eta_H = 0,85$.

3. При $\alpha = 0,5$ определяем КПД двигателя для нагрузок P_1, P_2, P_3, P_4 :

$$\eta_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\eta_H} - 1\right) \left(\frac{\frac{\alpha}{\chi_i} + \chi_i}{\alpha + 1}\right)},$$

где $\chi_i = \frac{P_i}{P_H}$;

$$\chi_1 = \frac{P_1}{P_H} = \frac{4}{4} = 1; \chi_2 = \frac{P_2}{P_H} = \frac{3}{4} = 0,75; \chi_3 = \frac{P_3}{P_H} = \frac{2}{4} = 0,5; \chi_4 = \frac{P_4}{P_H} = \frac{5}{4} = 1,25.$$

Подставив числовые значения в формулу, получаем $\eta_1 = 0,85$; $\eta_2 = 0,857$; $\eta_3 = 0,85$; $\eta_4 = 0,83$.

4. Определяем потери мощности в двигателе при нагрузках P_1, P_2, P_3, P_4 . Получаем $\Delta P_1 = \Delta P_H = 706 \text{ Вт}$; $\Delta P_2 = 500 \text{ Вт}$; $\Delta P_3 = 353 \text{ Вт}$; $\Delta P_4 = 1024 \text{ Вт}$.

5. Определяем средние потери мощности

$$\begin{aligned} \Delta P_{cp} &= \frac{\Delta P_1 t_1 + \Delta P_2 t_2 + \Delta P_3 t_3 + \Delta P_4 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} \\ &= \frac{706 \cdot 30 + 500 \cdot 20 + 353 \cdot 35 + 1024 \cdot 15}{30 + 20 + 35 + 15} = 588,95 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

$$\Delta P_H = 706 > \Delta P_{cp} = 588,95.$$

6. По данным таблицы 3.1 определяют эквивалентную мощность на валу двигателя

$$P_{\text{эКБ}} = \frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3 + P_4^2 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} = \frac{4^2 \cdot 30 + 3^2 \cdot 20 + 2^2 \cdot 35 + 5^2 \cdot 15}{30 + 20 + 35 + 15} = 3,42 \text{ кВт.}$$

Т.к. $P_H > P_{эКВ}$, то мощность предварительно выбранного двигателя принята правильно.

3.3 Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. На основании нижеприведенных данных определить мощность и выбрать асинхронный электродвигатель для механизма, работающего в режиме *S1* с неравномерной нагрузкой методами средних потерь и эквивалентной мощности. Провести сравнительный анализ применения различных методов расчета.

Таблица 3.2 - Исходные данные к построению нагрузочных диаграмм

Рисунок 1, а	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рисунок 1, б	11	12	13	14	15	16	27	18	19	20
Рисунок 1, в	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
t_1 , мин	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10
t_2 , мин	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5
t_3 , мин	40	30	20	40	30	20	40	30	20	40
t_4 , мин	40	35	30	25	20	15	10	40	35	30
P_1 , кВт	11	15	4	8	22	13	20	6	12	9
P_2 , кВт	9	10	2	6	16	7	12	4	8	7
P_3 , кВт	3	6	1,5	3	10	5	7	2	5	2

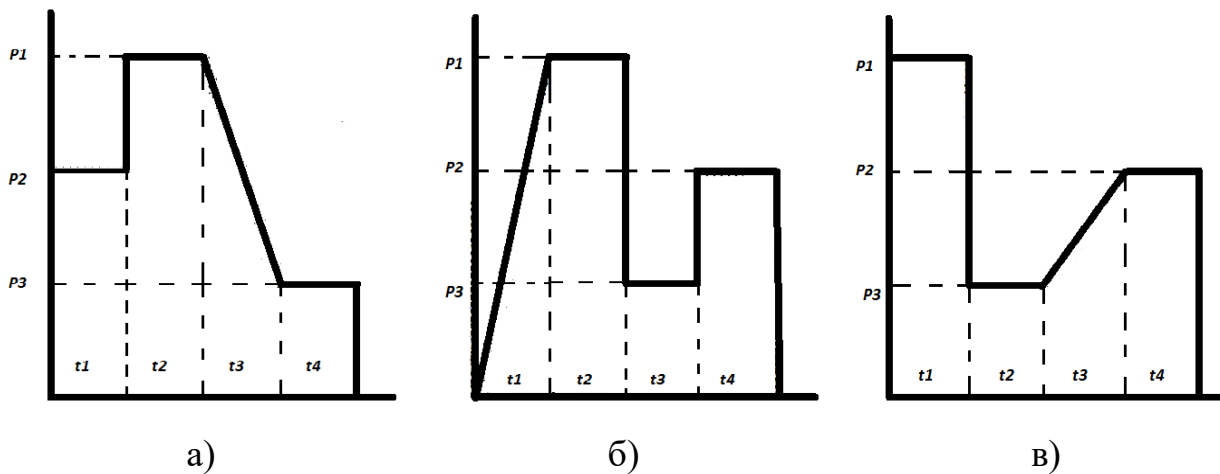


Рисунок 3.1 - Виды нагрузочных диаграмм рабочих машин

3.4 Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается задача выбора электродвигателя?
2. Чем ограничивается допустимая нагрузка электродвигателей?
3. В чем сущность эквивалентных величин?
4. Что такое эквивалентный ток и как его вычислить?
5. На основании каких исходных данных производится расчет мощности двигателя?
6. Что такое нагрузочная диаграмма двигателя?
7. В чем сущность проверки двигателя по нагреву, перегрузке и условиям пуска?
8. Что такое метод средних потерь?

4 РАСЧЁТ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ КРАТКОВРЕМЕННОГО И ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННОГО РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Практическое занятие № 4

4.1 Основные формулы, используемые при выборе двигателя

Стандартные (нормированные) значения продолжительности рабочего периода **кратковременного режима S2** – 10, 30, 60 и 90 мин. Для режима S2 должно выполняться условие

$$t_{\text{к.кат}} \geq t_{\text{ф}}, \quad (4.1)$$

где $t_{\text{к.кат}}$, $t_{\text{ф}}$ – соответственно длительность каталожного и фактического периода работы.

Коэффициент термической (тепловой) перегрузки

$$p_{\text{т}} = \frac{\Delta P_{\text{к}}}{\Delta P_{\text{н}}} = \frac{1}{(1 - e^{-t_{\text{р}}/T_{\text{н}}})}, \quad (4.2)$$

где $\Delta P_{\text{к}}$ – потери мощности в двигателе при кратковременном режиме работы, Вт;

$t_{\text{р}}$ – время работы двигателя при неизменной нагрузке, с.

Коэффициент механической перегрузки

$$p_{\text{м}} = \frac{P_{\text{к}}}{P_{\text{н}}} = \sqrt{(\alpha + 1)p_{\text{т}} - \alpha}. \quad (4.3)$$

где $P_{\text{к}}$ – мощность нагрузки при кратковременном режиме работы двигателя, Вт;

$P_{\text{н}}$ – номинальная мощность при продолжительном режиме работы, Вт.

Мощность двигателя режима S1 для работы в кратковременном режиме S2 с нагрузкой $P_{\text{к}} = P_{\text{э}}$

$$P_{\text{н}} \geq \frac{P_{\text{к}}}{p_{\text{м}}} = P_{\text{э}}/p_{\text{м}}. \quad (4.4)$$

Эквивалентная нагрузка в режиме S2

$$P_{\text{ЭКВ}} = \frac{\sum_1^n (P_i^2 \cdot t_i)}{\sum_1^n t_i}, \quad (4.5)$$

где t_i – текущее значение времени работы двигателя с нагрузкой P_i , с.

Мощность двигателя режима $S2$ с любой нормированной продолжительностью рабочего периода $t_{p.н.}$

$$P_H \geq P_{\text{экв}} \sqrt{t_p / t_{p.н.}}, \quad (4.6)$$

где t_p - фактическое время работы двигателя, мин.

Длительность одного цикла работы при повторно-кратковременном режиме $S3$

$$t_{\text{ц}} = t_p + t_o, \quad (4.7)$$

где t_p, t_o - соответственно продолжительность работы двигателя при неизменной нагрузке и время (продолжительность) паузы, с.

Относительная продолжительность включения

$$\varepsilon = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}}. \quad (4.8)$$

ГОСТ устанавливает продолжительность включения $ПВ=15, 25, 40$ и 60% при продолжительности цикла 10 мин.

Мощность двигателя режима $S3$ при работе в режиме $S3$ с нормированным значением $ПВ_H$

$$P_H \geq P_{\text{экв}} \sqrt{\frac{ПВ_{\phi}}{ПВ_H}} = P_{\text{экв}} \sqrt{\frac{\varepsilon_{\phi}}{\varepsilon_H}}, \quad (4.9)$$

где $ПВ_{\phi}$ - фактическая продолжительность включения, %;

$\varepsilon_{\phi}, \varepsilon_H$ - фактическая и нормированная относительная продолжительность включения.

Мощность двигателя режима $S1$ при работе в режиме $S3$

$$P_H \geq P_{\text{экв}} \sqrt{\frac{ПВ_{\phi}^*}{100}}, \quad (4.10)$$

где $ПВ_{\phi}^*$ - фактическая продолжительность включения с учетом ухудшения теплоотдачи двигателя в отключенном состоянии:

$$ПВ_{\phi}^* = t_p 100 / (t_p + \beta_0 t_o), \quad (4.10)$$

где $\beta_0 = \frac{T_H}{T_0}$ - коэффициент ухудшения теплоотдачи при неподвижном роторе.

Примерные значения коэффициента β_0 для двигателей: с независимой вентиляцией – 1; без принудительного охлаждения – 0,95...0,98; самовентилируемых – 0,45...0,55; защищенных самовентилируемых – 0,25...0,35.

4.2 Методика выбора двигателя для кратковременного режима работы

1. Исходные данные для выбора мощности двигателя по условиям нагрева – технологическая и нагрузочная характеристики. По первой определяется режим работы привода: продолжительный при $\varepsilon > 0,6$, кратковременный при $\varepsilon < 0,1$, повторно-кратковременный при $0,1 \leq \varepsilon \leq 0,6$.

2. По значению I_k , M_k или P_k одноступенчатого или по эквивалентным величинам (за время t_k) двух-трехступенчатого графика кратковременной нагрузки предварительно выбирают двигатель и устанавливают величину постоянной времени нагрева.

3. Зная время t_k по графику нагрузки и значение постоянной времени нагрева T_n , по формуле (4.2) определяют коэффициент термической перегрузки p_T .

4. Зная p_T и α по выражению (4.3) вычисляют коэффициент механической перегрузки p_M .

5. Мощность двигателя для длительного режима

$$P'_H = P_k / p_M.$$

6. По мощности P'_H выбирают двигатель продолжительного режима работы, номинальная мощность которого – ближайшая большая мощность к расчетной, и проверяют на перегрузочную способность и условие пуска.

7. При выборе специального двигателя, предназначенного для кратковременной нагрузки, когда время $t_k \neq t_{p,n}$, определяют P_H по формуле (4.6), пересчитанную на каталожную продолжительность работы. По найденной величине P_H и заданной $t_{p,n}$ выбирают двигатель ближайшей большей мощности, предназначенный для кратковременного режима работы.

Пример. Выбрать асинхронный двигатель серии АИРС для привода скреперной установки УС-15 для транспортировки сыпучего материала, если $P_k = 2$ кВт, $t_k = 12$ мин.

Решение:

1. Постоянную времени нагрева для двигателя серии АИРС подобной мощности можно принять равной 25 мин.

2. Коэффициент термической перегрузки

$$p_T = \frac{1}{(1 - e^{-t_p/T_n})} = \frac{1}{(1 - e^{-12/25})} = 2,62.$$

3. Коэффициент механической перегрузки

$$p_M = \sqrt{(\alpha + 1)p_T - \alpha} = \sqrt{(0,5 + 1)2,62 - 0,5} = 1,85.$$

4. Мощность двигателя длительного режима

$$P'_H = P_K / p_m = 2 / 1,85 = 1,08 \text{ кВт.}$$

5. По каталогу выбираем ближайший больший по мощности двигатель АИРС80В6 с номинальной мощностью $P_H = 1,2 \text{ кВт}$; $n_H = 900 \text{ мин}^{-1}$; $\mu_{max} = 2,1$; $\mu_\Pi = 1,9$.

6. Номинальный, максимальный и пусковой моменты двигателя

$$M_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{0,105 \cdot n_H} = \frac{1,2 \cdot 10^3}{0,105 \cdot 900} = 12,7 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{кр} = \mu_{кр} \cdot M_H = 2,1 \cdot 12,7 = 26,7 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_\Pi = \mu_\Pi \cdot M_H = 1,9 \cdot 12,7 = 24,13 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

7. Момент нагрузки при $n = n_H = const$

$$M_H = \frac{9550 \cdot P_K}{n_H} = \frac{9550 \cdot 2}{900} = 21,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

8. Т.к. $M_{кр} = 26,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$ больше $M_H = 21,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$, то двигатель удовлетворяет условию перегрузочной способности.

4.3 Методика выбора двигателя для повторно-кратковременного режима работы

Пример. Рассчитать мощность и выбрать двигатель компрессора холодильной машины по графику нагрузки, в котором $P_1 = 10 \text{ кВт}$, $t_p = 3 \text{ мин}$, $t_o = 7 \text{ мин}$.

Решение:

1. Фактическая продолжительность включения

$$\varepsilon = \frac{t_p}{t_\Sigma} = \frac{3}{3 + 7} = 0,3.$$

2. Эквивалентная мощность за время полного цикла

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_p}{t_\Sigma}} = \sqrt{\frac{10^2 \cdot 3}{10}} = 5,48 \text{ кВт}.$$

3. Пересчитаем эквивалентную мощность на стандартную продолжительность включения $\varepsilon_H = 0,4$

$$P_{0,4} = P_{\text{экв}} \sqrt{\varepsilon_H} = 5,48 \sqrt{0,4} = 8,66 \text{ кВт.} \quad (4.9)$$

4. По каталогу выбираем двигатель типа 4AC160S8Y3: $P_H=9,0$ кВт; $\varepsilon = 0,4$; $\mu_{\text{кр}} = 2$; $s_H=9,6\%$; $n_H=678 \text{ мин}^{-1}$.

5. Максимальный момент двигателя

$$M_{\text{кр}} = 9550 \frac{P_H}{n_H} \mu_{\text{кр}} = 9550 \frac{9}{678} 2 = 253 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

6. Максимальный момент, соответствующий мощности P_1 графика нагрузки

$$M_{\text{max}} = 9550 \frac{10}{678} = 140 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

следовательно выбранный двигатель обеспечивает перегрузочную способность, т.к.

$$M_{\text{кр}} > M_{\text{max}}.$$

4.4 Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Выбрать двигатель серии 5А продолжительного режима для работы в повторно-кратковременном режиме, основные данные которого приведены в задаче, рассмотренной в разделе 4.3.

Задача 2. Рассчитать, какую мощность должен развивать АД при номинальной частоте вращения $n_H=1395 \text{ мин}^{-1}$, если действительный график нагрузки задан значениями $M_1=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $M_2=15 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $t_1=4 \text{ мин}$; $t_2=21 \text{ мин}$.

Задача 3. Рассчитать мощность и выбрать двигатель, исходя из заданного графика нагрузки, согласно которому: $P_1=9 \text{ кВт}$; $P_2=4 \text{ кВт}$; $P_3=5 \text{ кВт}$; $t_1=3 \text{ с}$; $t_2=35 \text{ с}$; $t_3=2 \text{ с}$; $t_o=60 \text{ с}$.

Задача 4. Для выбранного в разделе 3.3 электродвигателя, предназначенного для работы в режиме S1, определить допустимую по условиям нагрева мощность нагрузки ($P_{\text{дон}}$) при его работе в режимах S2 и S3 согласно индивидуальному заданию. В обоих случаях (для режимов S2 и S3) требуется проверить электродвигатель по условию обеспечения перегрузочной способности с учетом потери напряжения в сети.

Таблица 4.1 - Исходные данные для работы электропривода в режимах $S2$ и $S3$

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$S2 - t_p$, мин	35	15	45	50	55	25	40	20	50	55
$S3 - t_p$, мин	3	4	5	3	3	4	5	3	5	4
$S3 - t_n$, мин	3	5	4	3	3	5	4	3	4	5
Потеря напряжения, %	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10

Значения постоянных времени нагрева T_n и охлаждения T_o во всех вариантах принять равными: $T_n = 20$ мин, $T_o = 60$ мин.

4.5 Вопросы для самоконтроля

1. Как выбирается двигатель для механизмов кратковременного и повторно-кратковременного режимов работы?
2. Назовите стандартные (нормированные) значения продолжительности рабочего периода кратковременного режима.
3. Что такое продолжительность включения и какие его значения установлены ГОСТом?

5 ИЗУЧЕНИЕ АППАРАТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Практическое занятие № 5

5.1 Выбор аппаратов ручного управления

Рубильники и переключатели предназначены для нечастых (не более шести в час) неавтоматических включений, отключений и переключений электрических цепей переменного тока напряжением до 660 В и частотой 50 Гц.

Пакетные выключатели и переключатели применяют в качестве вводных переключателей цепей управления электроустановок, распределения электроэнергии и для ручного управления АД напряжением до 380 В.

Кнопки управления используют для дистанционного управления контакторами, пускателями и другими электромагнитными аппаратами, а также для коммутирования

Рубильники, пакетные выключатели и переключатели, кнопки управления выбирают по следующим параметрам:

$$U_{\text{н}} \geq U_{\text{н.уст}}; \quad (5.1)$$

$$I_{\text{н}} \geq I_{\text{н.уст}}, \quad (5.2)$$

где $U_{\text{н}}$, $U_{\text{н.уст}}$ - соответственно номинальные напряжения аппарата управления и электроустановки, В;

$I_{\text{н}}$, $I_{\text{н.уст}}$ - соответственно номинальные токи аппарата управления и электроустановки, А.

Кроме того, при выборе типа аппарата учитывают необходимое количество полюсов, схему соединений и условия окружающей среды.

5.2 Выбор магнитных пускателей

Магнитные пускатели (МП) предназначены для дистанционного и автоматического управления асинхронными двигателями и их тепловой защиты.

Выбор магнитных пускателей в систему управления электроприводом осуществляют по конструктивному исполнению, а также по следующим условиям

$$U_{\text{н.пуск}} \geq U_{\text{н.дв}}; \quad (5.3)$$

$$U_{\text{н.кат}} \geq U_{\text{упр}}; \quad (5.4)$$

$$I_{\text{н.пуск}} \geq I_{\text{р.мах}}, \quad (5.5)$$

где $U_{\text{н.пуск}}$ - номинальное напряжение магнитного пускателя, В;

$U_{н.дв}$ - номинальное напряжение электродвигателя, В;

$U_{н.кат}$ - номинальное напряжение питания катушки пускателя, В;

$U_{упр}$ - номинальное напряжение цепи управления электродвигателя, В;

$I_{н.пуск}$ - номинальный ток магнитного пускателя, А;

$I_{р.мах}$ - максимальный рабочий ток электродвигателя, А.

Выбор конструктивного исполнения МП производят с учетом требований системы управления АД:

- по характеру вращения электродвигателя, коммутируемого пускателем: нереверсивный или реверсивный;

- по наличию тепловых реле: без тепловых реле или укомплектованные тепловыми реле;

- по наличию и количеству дополнительных контактов (сигнальных, блокировочных), которые могут быть замыкающими ($з$) или размыкающими ($р$). Дополнительные контакты могут быть встроены в пускатель или изготовлены в виде отдельной приставки;

- по степени защиты от воздействия окружающей среды: открытого (IP00), защищенного (IP40) или пылебрызгонепроницаемого (IP54) исполнения.

Наибольшее применение находят магнитные пускатели с контактными системами и электромагнитным приводом типов ПМЕ, ПМА, ПА (ПАЕ).

5.3 Выбор плавких предохранителей

Плавкие предохранители могут использоваться для защиты электрических двигателей и цепей управления от токов короткого замыкания.

Электрические двигатели относятся к классу электроприемников, включение которых характеризуется значительной продолжительностью изменения тока в цепи. Пусковой ток асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором может в 5...7 раз превышать номинальный. По мере разгона двигателя пусковой ток падает до значения, равного номинальному току машины. Длительность пуска зависит от характера нагрузки.

Следовательно, выбирать плавкую вставку предохранителя по номинальному току двигателя нельзя, т.к. она перегорит при пуске. Нельзя выбирать плавкую вставку и по пусковому току, т.к. не будет обеспечена необходимая защита. Предохранитель не должен отключать установку при перегрузках, которые являются эксплуатационными. Поэтому выбор плавкой вставки предохранителя для защиты электрических двигателей производят в зависимости от режима их пуска.

Предохранитель по номинальному напряжению выбирают из условия

$$U_{н.пр} \geq U_c, \quad (5.6)$$

где U_c - номинальное напряжение сети, В.

Плавкую вставку предохранителя выбирают из условия

$$I_{п.вст} \geq I_{р.мах}, \quad (5.7)$$

где $I_{р.мах}$ - максимальный рабочий ток цепи, которую защищает предохранитель, А.

В зависимости от режима пуска плавкую вставку выбирают по условию

$$I_{п.вст} \geq \frac{I_{п}}{\alpha}, \quad (5.8)$$

где $I_{п}$ - пусковой ток электродвигателя, А;

α - коэффициент, характеризующий условия пуска электродвигателя.

Для электродвигателей с легкими условиями пуска (нечастые пуски до 15 пусков в час с длительностью пуска 5...10 с) характерных для двигателей привода механизмов с относительно небольшой инерцией (насосов, вентиляторов и др.) $\alpha = 2,5$.

Для электродвигателей с тяжелыми условиями пуска (более 15 пусков в час с длительностью пуска от 10 до 40 с), когда двигатель медленно разворачивается (например, привод центрифуги), или в повторно-кратковременном режиме, когда пуски происходят с большой частотой $\alpha = 1,6 \dots 2,0$.

Величина пускового тока асинхронного электродвигателя определяется из выражения (2.7).

Для группы электродвигателей, когда их число не превышает пяти, ток плавкой вставки определяют по формуле

$$I_{п.вст} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} I_{н} + I_{п.наиб}}{\alpha}, \quad (5.9)$$

где $I_{п.наиб}$ - пусковой ток электродвигателя с наибольшим пусковым током, А;

$\sum_{i=1}^{n-1} I_{н}$ - сумма номинальных токов одновременно работающих электродвигателей без двигателя с наибольшим пусковым током, А.

При количестве электродвигателей больше пяти, ток плавкой вставки определяют по формуле

$$I_{п.вст} = \sum_{i=1}^{n-1} I_{н} + \frac{I_{п.наиб}}{\alpha}, \quad (5.10)$$

где $I_{п.наиб}$ - пусковой ток электродвигателя с наибольшим пусковым током, А;

α - коэффициент, характеризующий условия пуска электродвигателя с наибольшим пусковым током.

Расчетное значение тока плавкой вставки округляют до ближайшего большего значения, выбираемого из стандартного ряда номинальных токов плавких вставок: 2; 4; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500 А.

Следует отметить, что плавкие вставки, выбранные таким образом, работают с большим запасом и в процессе пуска нагреваются до небольших температур (порядка 65° С при расчетной температуре окружающей среды 25° С).

5.4 Выбор автоматических выключателей

Автоматические выключатели (АВ) служат для отключения электрической цепи при ненормальных и аварийных режимах - перегрузках, коротких замыканиях, чрезмерном понижении напряжения питания, изменении направления мощности и т.п. Автоматические выключатели можно также использовать для редких включений и отключений номинальных токов нагрузки.

Для защиты двигателя от перегрузок используются тепловые расцепители автоматического выключателя, а для защиты от коротких замыканий - электромагнитные расцепители.

Автоматический выключатель для защиты асинхронного двигателя выбирают из следующих условий

$$U_{н.авт} \geq U_{н.дв}; \quad (5.11)$$

$$I_{н.авт} \geq I_{н.дв}; \quad (5.12)$$

$$I_{н.т} \geq k_{н.т} \cdot I_{р.мах}, \quad (5.13)$$

$$I_{ср.эл} = 12I_{н.т}, \quad (5.14)$$

где $U_{н.авт}$ - номинальное напряжение автоматического выключателя, В;

$U_{н.дв}$ - номинальное напряжение электродвигателя, В;

$I_{н.авт}$ - номинальный ток автоматического выключателя, А;

$I_{н.дв}$ - номинальный ток асинхронного электродвигателя, А;

$I_{н.т}$ - номинальный ток теплового расцепителя, А;

$k_{н.т}$ - коэффициент запаса тепловой перегрузки, принимаемый равным 1,1 ... 1,3;

$I_{р.мах}$ - максимальный рабочий ток асинхронного электродвигателя, А;

$I_{ср.эл}$ - ток срабатывания электромагнитного расцепителя, А.

Максимальный рабочий ток асинхронного электродвигателя равен

$$I_{р.мах} = k_3 \cdot I_{н}, \quad (5.15)$$

где k_3 - коэффициент загрузки АД, обычно равный 1.

Затем выполняют проверку выбранного автоматического выключателя на несрабатывание при пуске двигателя. Для этого должно выполняться следующее условие

$$I_{ср.эл} \geq (1,5 \dots 1,6)I_{п}, \quad (5.16)$$

В случае защиты автоматическим выключателем нескольких электродвигателей его проверку на несрабатывание при пуске двигателей проверяют по условию

$$I_{\text{ср.эл}} = (1,5 \dots 1,8) [\sum_{i=1}^n I_{\text{н}} + I_{\text{п.наиб}} - I_{\text{н.наиб}}], \quad (5.17)$$

где $(I_{\text{п.наиб}} - I_{\text{н.наиб}})$ – разность между пусковым и номинальным токами электродвигателя, у которого они наибольшие, А;

$\sum_{i=1}^n I_{\text{н}}$ – сумма номинальных токов одновременно работающих электродвигателей, А.

5.5 Выбор тепловых реле

Тепловые реле (*ТР*) предназначены для защиты трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором от токов перегрузок недопустимой продолжительности и токов, возникающих при обрыве одной из фаз электродвигателя.

Тепловые реле следует применять совместно с аппаратами защиты от токов короткого замыкания в сети, так как они имеют ограниченную термостойкость при сквозных токах короткого замыкания.

Тепловое реле выбирается по номинальному току теплового элемента таким образом, чтобы номинальный ток защищаемого электродвигателя находился в зоне регулировки номинального тока несрабатывания теплового реле (максимального тока, при котором реле не срабатывает) по формуле

$$I_{\text{min.тр}} < I_{\text{н.дв}} < I_{\text{max.тр}}, \quad (5.18)$$

где $I_{\text{min.тр}}$ и $I_{\text{max.тр}}$ – нижняя и верхняя границы изменения уставки теплового реле, А;

$I_{\text{н.дв}}$ – номинальный ток асинхронного электродвигателя, А.

В производстве широкое применение нашли тепловые реле серий РТЛ, ТРН, ТРТП и РТТ.

5.6 Примеры выбора аппаратуры управления и защиты

Пример 1. Выбрать плавкие вставки предохранителей для защиты электрических линий напряжением 380/220 В, которые питают три электродвигателя *М1*, *М2* и *М3* (рисунок 5.1).

Двигатель *М2* с тяжелым режимом пуска, *М1* и *М3* с легким пуском. Все двигатели пускают поочередно. Двигатели подключены к распределительному щиту *РЩ*, который через кабель *К* и предохранитель *FU4* получает питание от шины трансформаторной подстанции. Коэффициент одновременности для кабельных линий $K_{\text{од}}=1$. Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.1.

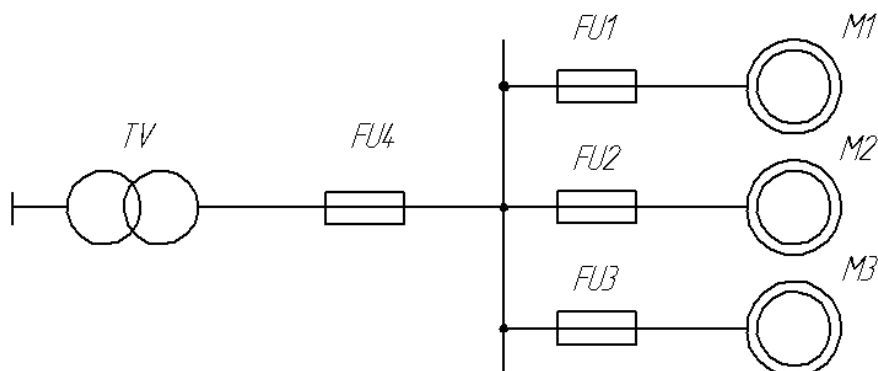


Рисунок 5.1 – Схема распределительной сети

Таблица 5.1 - Исходные данные для расчета

Показатели	Двигатель		
	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>
Марка	АИР132S4У3	4АМ160М6У3	4АМ90L2У3
Номинальная мощность, кВт	7,5	15,0	3,0
Частота вращения, мин ⁻¹	1440	975	2820
КПД, %	87,5	88,0	84,5
Коэффициент мощности $\cos\varphi_n$	0,86	0,82	0,88
Кратность пускового тока k_i	7,5	6,5	6,5
Коэффициент загрузки k_z	0,9	1,0	0,95

Решение:

1. Выбираем плавкую вставку предохранителя *FU1* для защиты электродвигателя *M1*. Номинальный ток двигателя

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \cdot \cos\varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{7,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,875 \cdot 0,86} = 15,2 \text{ А.}$$

Рабочий ток двигателя

$$I_{p.max} = k_z \cdot I_n = 0,9 \cdot 15,2 = 13,7 \text{ А.}$$

Пусковой ток двигателя

$$I_{\pi} = k_i \cdot I_n = 7,5 \cdot 15,2 = 114 \text{ А.}$$

Номинальный ток плавкой вставки

$$I_{\text{п.вст}} \geq \frac{I_{\pi}}{\alpha} = \frac{114}{2,5} = 45,6 \text{ А.}$$

Выбираем плавкую вставку на ближайшее большее стандартное значение тока 50 А.

2. Аналогично выбираем плавкие вставки предохранителей $FU2$ $I_{п.вст} = 100$ А и $FU3$ $I_{п.вст} = 16$ А (проверочный расчет и выбор произвести самостоятельно).

3. Определяем ток плавкой вставки предохранителя $FU4$ для защиты кабеля, проложенного от трансформатора к распределительному щиту

$$I_{п.вст} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} I_n + I_{п.наиб}}{\alpha} = \frac{(15,2 + 5,8) + 205,4}{2} = 113,2 \text{ А.}$$

Выбираем плавкую вставку предохранителя $FU4$ на ток 150 А.

Пример 2. Для условий задачи, изложенной в *примере 1*, вместо предохранителей $FU1...FU4$ выбрать соответственно автоматические выключатели $QF1...QF4$.

Решение:

1. Выбираем автомат $QF1$ для защиты электродвигателя $M1$. Принимаем следующие условия выбора:

$$I_{н.авт} \geq I_{н.дв};$$

$$I_{н.т} \geq k_{н.т} \cdot I_{р.мах},$$

$$I_{ср.эл} = 12I_{н.т}.$$

Определяем ток теплового расцепителя

$$I_{н.т} \geq 1,2 \cdot 13,7 = 16,4 \text{ А.}$$

Выбираем автоматический выключатель ВА57-35 с комбинированным расцепителем, $I_{н.авт} = 16$ А; $I_{н.т} = 16$ А [3].

Проверяем автоматический выключатель по току срабатывания электромагнитного расцепителя. Для выбранного автомата

$$I_{ср.эл} = 12 \cdot 16 = 192 \text{ А.}$$

Условие

$$I_{ср.эл} = 182,4 \geq (1,5 \dots 1,6)I_n = 1,5 \cdot 114 = 171$$

выполняется, следовательно, автоматический выключатель выбран правильно.

2. Аналогично выбираются автоматические выключатели $QF2...QF4$. Расчет и выбор произвести самостоятельно.

Пример 3. На основании данных *примера 1* выбрать магнитные пускатели и тепловые реле к ним для двигателей $M1 \dots M3$. Для двигателя $M1$ требуется изменение направления вращения, двигатели $M2, M3$ вращаются в одну сторону. Напряжение втягивающей катушки для всех пускателей 220 В.

Решение:

1. Магнитные пускатели выбирают по следующим условиям:

$$U_{\text{н.пуск}} \geq U_{\text{н.дв}};$$

$$U_{\text{н.кат}} \geq U_{\text{упр}};$$

$$I_{\text{н.пуск}} \geq I_{\text{р.мах}}.$$

Кроме того, при выборе нужно учитывать:

1. Характер вращения и наличие теплового реле.
2. Количество контактов вспомогательных цепей.
3. Климатическое исполнение и категория размещения.
4. Износостойкость.
5. Наличие дополнительных устройств (приставки контактные, промежуточные реле и др.).

Тепловые реле выбирают к магнитным пускателям по току несрабатывания и регулируют уставку.

Для двигателя $M1$ с номинальным током 15,2 А необходим пускатель второй величины на ток 25 А типа ПМЛ-260002В и тепловое реле РТЛ-102104 на токи 13...19 А. Тепловое реле настраиваем на ток 15,2 А [3].

2. Аналогично производится подбор к остальным электродвигателям (выбор произведете самостоятельно).

5.7 Вопросы для самоконтроля

1. Объясните устройство и принцип действия электромагнитных аппаратов управления.
2. Чем магнитный пускатель отличается от контактора?
3. Чем отличаются понятия «номинальный ток предохранителя» и «номинальный ток плавкой вставки»?
4. Какие серии автоматических выключателей применяют в агропромышленном производстве?
5. Как выбирают автоматические выключатели?
6. Какие существуют серии магнитных пускателей, применяемых в сельскохозяйственном производстве?
7. Как выбирают магнитные пускатели?
8. Температурная компенсация теплового реле, для чего она служит?
9. Какие расцепители устанавливают в автоматических выключателях?
10. В чем преимущества автоматических выключателей перед предохранителями?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Епифанов, А. П. Основы электропривода : Учебное пособие / А. П. Епифанов. – Санкт-Петербург : Издательство «Лань», 2008. – 192 с.
2. Савченко, И. П. Практикум по электроприводу в сельском хозяйстве / П. И. Савченко, И. А. Гаврилюк, И. Н. Земляной и др. – Москва : Колос, 1996. – 224 с.
2. Кудрявцев, И. Ф. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок / И. Ф. Кудрявцев, Л. А. Калинин, В. А. Карасенко и др. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 480 с.
3. Москаленко, В. В. Справочник электромонтера : Справочник / В. В. Москаленко. – Москва : Издательский центр «Академия», 2003. – 288 с.
4. Аипов, Р. С. Электропривод: конспект лекций. Часть I. / Р. С. Аипов. – Уфа : БГАУ, 2011. - 104 с.
5. Москаленко, В. В. Электрический привод / В. В. Москаленко. – 5-е изд., стер. – Москва : Издательский центр «Академия», 2009. – 368 с.
6. Соколова, Е. М. Электрическое и электромеханическое оборудование / Е. М. Соколова. – 8-е изд., стер. – Москва : Издательский центр «Академия», 2013. – 224 с.
7. Стандарт организации. Порядок оформления работы на правах рукописи : СТО 00493586-005-2018. – Взамен СТО 0493582-003-2010; введен в действие 26.02.2018 г., приказ № 121-ОД от 26.02.2018 г. – Уфа : БГАУ, 2018. – 44 с.

Приложение 1 - Технические данные асинхронных двигателей серии 4А

Тип электро- двигателя	P_n , кВт	n_n , мин ⁻¹	I_n , А	η_n	$\cos\varphi_n$	k_i	μ_n	$\mu_{мин}$	$\mu_{кр}$	$J_{\partial в}$, кг·м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4АА63А6У3	0,18	950	0,8	0,56	0,62	3,0	2,2	1,5	2,2	0,0072
4АА63В6У3	0,25	955	1,0	0,59	0,62	3,0	2,2	1,6	2,2	0,0088
4А71А6У3	0,37	960	1,3	0,645	0,69	4,0	2,0	1,8	2,2	0,0068
4А71В6У3	0,55	960	1,7	0,675	0,71	4,0	2,0	1,8	2,2	0,008
4А80А6У3	0,75	965	2,2	0,69	0,74	4,0	2,0	1,6	2,2	0,0124
4А80В6У3	1,1	965	3,0	0,74	0,74	4,0	2,0	1,6	2,2	0,0184
4А90L6У3	1,5	950	1,4	0,75	0,74	4,5	2,0	1,7	2,2	0,0292
4А100L6У3	2,2	950	5,6	0,81	0,73	5,0	2,0	1,6	2,2	0,052
4А112МА6У3	3,0	960	7,4	0,81	0,76	6,0	2,0	1,6	2,5	0,068
4А112МВ6У3	4,0	960	9,2	0,82	0,81	6,0	2,0	1,8	2,5	0,084
4А132S6У3	5,5	965	12,3	0,85	0,80	6,0	2,0	1,8	2,5	0,16
4А132М6У3	7,5	965	16,5	0,55	0,81	6,0	2,0	1,8	2,5	0,232
4А160S6У3	11,0	970	22,6	0,86	0,86	6,0	1,2	1,0	2,0	0,56
4А160М6У3	15,0	970	30,0	0,75	0,87	6,0	1,2	1,0	2,0	0,72
4А180М6У3	18,5	970	36,8	0,88	0,87	6,0	1,2	1,0	2,0	0,88
4А200М6У3	22,0	970	41,4	0,90	0,90	6,5	1,3	1,0	2,4	1,6
4АА56В4У3	0,18	1420	0,67	0,64	0,64	2,5	2,0	1,7	2,2	0,0028
4АА63А4У3	0,25	1450	0,86	0,68	0,65	4,0	2,0	1,5	2,2	0,0048
4АА63В4У3	0,37	1460	1,2	0,68	0,69	4,0	2,0	1,5	2,2	0,0056
4А71А4У3	0,55	1370	1,7	0,705	0,7	4,5	2,0	1,8	2,2	0,0052
4А71В4У3	0,75	1370	2,1	0,72	0,73	4,5	2,0	1,8	2,2	0,0056
4А80А4У3	1,1	1400	2,7	0,75	0,81	5,0	2,0	1,6	2,2	0,012
4А80В4У3	1,5	1400	3,5	0,77	0,83	5,0	2,0	1,6	2,2	0,0132
4А90L4У3	2,2	1420	5,0	0,80	0,83	6,0	2,1	1,6	2,4	0,0224
4А100S4У3	3,0	1435	6,7	0,82	0,83	6,0	2,0	1,6	2,4	0,0347
4А100L4У3	4,0	1430	8,6	0,84	0,84	6,0	2,0	1,6	2,4	0,045
4А112М4У3	5,5	1445	11,5	0,855	0,85	7,0	2,0	1,6	2,2	0,07
4А132S4У3	7,5	1455	15,1	0,875	0,86	7,5	2,2	1,7	3,0	0,11
4А132М4У3	11,0	1460	22,0	0,875	0,87	7,5	2,2	1,7	3,0	0,16
4А160S4У3	15,0	1465	29,3	0,855	0,88	7,0	1,4	1,0	2,3	0,41
4А160М4У3	18,5	1465	35,7	0,895	0,88	7,0	1,4	1,0	2,3	0,51
4А180S4У3	22,0	1470	41,3	0,90	0,90	6,5	1,4	1,0	2,3	0,76
4А180М4У3	30,0	1470	56,0	0,91	0,89	6,5	1,4	1,0	2,3	0,93
4А200М4У3	37,0	1475	68,0	0,91	0,90	7,0	1,4	1,0	2,5	1,47
4АА63В2У3	0,55	2880	1,3	0,73	0,86	4,5	2,0	1,5	2,2	0,0036
4А71А2У3	0,75	2830	1,7	0,77	0,87	5,5	2,0	1,5	2,2	0,0039
4А71В2У3	1,1	2830	2,5	0,775	0,87	5,5	2,0	1,5	2,2	0,0044
4А80А2У3	1,5	2790	3,3	0,81	0,85	6,5	2,1	1,4	2,6	0,0072

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4A80B2Y3	2,2	2790	4,6	0,83	0,87	6,5	2,1	1,4	2,6	0,0084
4A90L2Y3	3,0	2820	6,1	0,845	0,88	6,5	2,1	1,6	2,5	0,0140
4A100S2Y3	4,0	2880	7,9	0,865	0,89	7,5	2,0	1,6	2,5	0,0236
4A100L2Y3	5,5	2880	10,0	0,875	0,91	7,5	2,0	1,6	2,5	0,03
4A112M2Y3	7,5	2895	14,8	0,875	0,88	7,5	2,0	1,8	2,8	0,04
4A132M2Y3	11,0	2895	21,2	0,88	0,90	7,5	1,7	1,5	2,8	0,092
4A160S2Y3	15,0	2850	28,5	0,88	0,91	7,0	1,4	1,0	2,2	0,192
4A160M2Y3	18,5	2850	34,6	0,885	0,92	7,0	1,4	1,0	2,2	0,212
4A180S2Y3	22,0	2940	41,7	0,885	0,91	7,5	1,4	1,1	2,5	0,28
4A180M2Y3	30,0	2940	55,0	0,90	0,92	7,5	1,4	1,1	2,5	0,34
4A200M2Y3	37,0	2950	70,0	0,90	0,89	7,5	1,4	1,0	2,5	0,60

Приложение 2 - Технические данные асинхронных двигателей серии АИР

Тип электро- двигателя	P_n , кВт	n_n , мин ⁻¹	I_n , А	η_n	$\cos\varphi_n$	k_i	μ_n	$\mu_{мин}$	$\mu_{кр}$	$J_{дв}$, кг·м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
АИР 63А2	0,37	2730	0,9	0,72	0,86	5,0	2,2	1,8	2,2	0,76
АИР 63В2	0,55	2730	1,3	0,755	0,85	5,0	2,2	1,8	2,2	0,90
АИР 71А2	0,75	2820	1,74	0,78	0,83	6,0	2,1	1,6	2,2	0,97
АИР 71В2	1,1	2805	2,5	0,79	0,83	6,0	2,1	1,6	2,2	1,10
АИР 80А2	1,5	2850	3,3	0,81	0,85	7,0	2,1	1,6	2,2	1,80
АИР 80В2	2,2	2850	4,6	0,83	0,87	7,0	2,0	1,6	2,2	2,10
АИР 90L2	3,0	2850	6,12	0,845	0,88	7,0	2,0	1,6	2,2	3,50
АИР 100S2	4,0	2850	8,0	0,87	0,88	7,5	2,0	1,6	2,2	5,90
АИР 100L2	5,5	2850	10,7	0,88	0,89	7,5	2,0	1,6	2,2	7,50
АИР 112M2	7,5	2895	14,8	0,875	0,88	7,5	2,0	1,6	2,2	10
АИР 132M2	11,0	2910	21,0	0,88	0,90	7,5	1,6	1,2	2,2	23
АИР 160S2	15,0	2910	29,0	0,90	0,89	7,0	1,8	1,7	2,7	39
АИР 50А4	0,06	1335	0,28	0,53	0,63	4,5	2,3	1,8	2,2	0,29
АИР 50В4	0,09	1335	0,37	0,57	0,65	4,5	2,3	1,8	2,2	0,33
АИР 56А4	0,12	1335	0,43	0,63	0,66	5,0	2,3	1,8	2,2	0,70
АИР 56В4	0,18	1350	0,63	0,64	0,68	5,0	2,3	1,8	2,2	0,79
АИР 63А4	0,25	1320	0,80	0,68	0,67	5,0	2,3	1,8	2,2	1,20
АИР 63В4	0,37	1320	1,2	0,68	0,70	5,0	2,3	1,8	2,2	1,40
АИР 71А4	0,55	1357	1,7	0,705	0,70	5,0	2,3	1,8	2,2	1,30
АИР 71В4	0,75	1350	2,0	0,73	0,76	5,0	2,2	1,6	2,2	1,40
АИР 80А4	1,1	1395	2,8	0,75	0,81	5,5	2,2	1,6	2,2	9,90
АИР 80В4	1,5	1395	3,5	0,78	0,83	5,5	2,2	1,6	2,2	3,30
АИР 90L4	2,2	1395	5,0	0,81	0,83	6,5	2,1	1,6	2,2	5,60

Продолжение приложения 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
АИР 100S4	3,0	1410	6,7	0,82	0,83	7,0	2,0	1,6	2,2	8,70
АИР 100L4	4,0	1410	6,5	0,85	0,84	7,0	2,0	1,6	2,2	11,0
АИР 112M4	5,5	1432	11,4	0,855	0,85	7,0	2,0	1,6	2,5	17,0
АИР 132S4	7,5	1440	15,0	0,875	0,86	7,5	2,0	1,6	2,5	28,0
АИР 132M4	11,0	1447	22,2	0,875	0,86	7,5	2,0	1,6	2,7	40,0
АИР 160S4	15,0	1455	28,4	0,90	0,89	7,0	1,9	1,6	2,9	78,0
АИР 160M4	18,5	1455	35,1	0,905	0,89	7,0	1,9	1,6	2,9	100
АИР 180S4	22,0	1462	42,5	0,905	0,87	7,0	1,7	1,5	2,4	150
АИР 180M4	30,0	1470	57,0	0,92	0,87	7,0	1,7	1,5	2,7	190
АИР 63A6	0,18	860	0,78	0,56	0,62	4,0	2,0	1,6	2,2	1,80
АИР 63B6	0,25	860	1,0	0,59	0,62	4,0	2,0	1,6	2,2	2,20
АИР 71A6	0,37	915	1,33	0,65	0,65	4,5	2,0	1,6	2,2	1,70
АИР 71B6	0,55	915	1,74	0,685	0,70	4,5	2,0	1,6	2,2	2,00
АИР 80A6	0,75	920	2,3	0,70	0,72	4,5	2,0	1,6	2,2	3,10
АИР 80B6	1,1	920	3,3	0,74	0,74	4,5	2,0	1,6	2,2	4,60
АИР 90L6	1,5	925	4,2	0,76	0,72	6,0	2,0	1,6	2,2	7,30
АИР 100L6	2,2	945	5,4	0,81	0,74	6,0	2,0	1,6	2,2	13,0
АИР112MA6	3,0	950	7,4	0,81	0,76	6,0	2,0	1,66	2,2	17,0
АИР 112MB6	4,0	950	9,1	0,82	0,81	6,0	2,0	1,6	2,2	21,0
АИР 132S6	5,5	960	11,0	0,85	0,80	7,0	2,0	1,66	2,2	40,0
АИР 132M6	7,5	960	16,5	0,855	0,81	7,0	2,0	1,6	2,2	58,0
АИР 160S6	11,0	970	23,0	0,88	0,83	6,5	2,0	1,6	2,7	120
АИР 160M6	15,0	970	30,5	0,88	0,85	6,5	2,0	1,6	2,7	150
АИР 180M6	18,5	980	38,6	0,895	0,85	6,5	1,8	1,6	2,4	200
АИР 200M6	22,0	980	46,4	0,90	0,83	6,5	1,6	1,4	2,4	360
АИР 200L6	30,0	975	58,5	0,90	0,85	6,5	1,6	1,4	2,4	400

Приложение 3 - Технические характеристики предохранителей серии
НПН, ПР-2 и ПН2

Тип	Номинальный ток, А		Предельный ток отключения при напряжении до 500 В, А
	- предохранителя	- плавких вставок	
1	2	3	4
НПН15	15	2; 4; 6; 8; 10; 16	10 000
ПР-2-15	15	6; 8; 10; 16	7 000
НПН60М	60	20; 25; 31,5; 40; 50; 60	
ПР-2-60	60	20; 25; 31,5; 40; 50; 60	3 500
ПН2-100	100	31,5; 40; 50; 60; 80; 100	50 000
ПР-2-100	100	60; 80; 100	

Продолжение приложения 3

1	2	3	4
ПР-2-200	200	100; 125; 160; 200	10 000
ПН2-250	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	40 000
ПР-2-350	350	200; 250; 300; 350	11 000
ПН2-400	400	200; 250; 300; 350; 400	25 000
ПН2-600	600	300; 400; 500; 600	25 000
ПР-2-600	600	350; 430; 500; 600	
ПН2-1000	1000	500; 600; 750; 800; 1000	10 000
ПР-2-1000	1000	600; 700; 850; 1000	20 000

Приложение 4 - Технические характеристики автоматических выключателей серии АЕ2000 и АЕ2000М

Тип	Номинальный ток, А	Вид расцепителя	Номинальный ток расцепителей, А
АЕ2013	10	электромагнитный	0,32; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 6,3; 8,0; 10
АЕ2016		комбинированный	
АЕ2023	16	электромагнитный	0,32; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 6,3; 8,0; 10; 12,5; 16
АЕ2026		комбинированный	
АЕ2033	25	электромагнитный	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25
АЕ2036		комбинированный	
АЕ2043	63	электромагнитный	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63
АЕ2044		комбинированный	
АЕ2053М	100	электромагнитный	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100
АЕ2056М		комбинированный	
АЕ2063	160	электромагнитный	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 126; 160
АЕ2066		комбинированный	

Приложение 5 - Технические характеристики тепловых реле РТЛ

Тип	Номинальный ток, А	Диапазон регулирования тока уставки, А	Мощность двигателя, кВт, при U_n , В	
			380	660
1	2	3	4	5
РТЛ-1001	25	0,1...0,17	-	-
РТЛ-1002		0,16...0,26	-	-
РТЛ-1003		0,24...0,4	-	-
РТЛ-1004		0,38...0,67	0,37	-
РТЛ-1005		0,61...1,0	0,75	-

Продолжение приложения 5

1	2	3	4	5
РТЛ-1006	25	0,95...1,6	0,75	1,1
РТЛ-1007		1,5...2,6	0,75	1,5
РТЛ-1008		2,4...4,0	1,5	3,0
РТЛ-1010		3,8...6,0	2,2	4,0
РТЛ-1012		5,5...8,0	3,0	5,5
РТЛ-1014		7,0...10,0	4,0	7,5
РТЛ-1016		9,5...14,0	5,5	10
РТЛ-1021		13,0...19,0	7,5	15,0
РТЛ-1022		18,0...25,0	11,0	18,5
РТЛ-2053	80	23,0...32,0	15,0	22,0
РТЛ-2055		30,0...41,0	18,5	30,0
РТЛ-2057		38,0...52,0	22,0	37,0
РТЛ-2059		47,0...64,0	25,0	45,0
РТЛ-2061		54,0...74,0	30,0	55,0
РТЛ-2063		63,0...86,0	37,0	75,0

Приложение 6 - Технические характеристики магнитных пускателей
ПМЕ, ПМА, ПМЛ и ПМ12

Тип	Номинальный ток, А	Мощность двигателя при напряжении, В		Тип встраиваемого теплового реле	Номинальный ток теплового реле
		220	380		
1	2	3	4	5	6
ПМЕ-000	3,0	0,6	1,1	ТРН-10А	3,2
ПМЕ-100	10,0	2,2	4,0	ТРН-10	10
ПМЕ-200	23,0	5,5	10,0	ТРН-25	25
ПМА-2000	23,0	5,5	11,0	РТТ-14	25
				РТТ-14Б	
ПМА-3000	36,0	11,0	18,5	РТТ-21	63
				РТТ-21Б	
ПМА-4000	60,0	18,5	30,0	РТТ-21	63
				РТТ-21Б	
ПМА-5000	95,0	30,0	45,0	РТТ-31	160
				РТТ-31Б	
ПМА-6000	150,0	45,0	75,0	РТТ-31	160
				РТТ-31Б	
ПМЛ-1000	10,0	2,2	4,0	РТЛ-1000	25
ПМЛ-2000	25,0	5,5	11,0	РТЛ-1000	25
ПМЛ-3000	40,0	11,0	18,5	РТЛ-2000	80
ПМЛ-4000	63,0	18,5	30,0	РТЛ-2000	80

Продолжение приложения 6

1	2	3	4	5	6
ПМЛ-5000	80,0	30,0	37,0	РТЛ-2000	80
ПМЛ-6000	100,0	37,0	45,0	РТЛ-3000	125
ПМЛ-7000	160,0	45,0	75,0	РТЛ-3000	200
ПМ12-010	10,0	2,2	4,0	РТТ 5-10	10
ПМ12-025	25,0	5,5	11,0	РТТ 131	25
ПМ12-040	40,0	11,0	18,5	РТТ 121	40
ПМ12-063	63,0	18,5	30,0	РТТ 231	80
ПМ12-100	100,0	30,0	37,0	РТТ 311	100