

11. Полезная мощность в номинальном режиме двигателя

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{эм}} - P_{\text{з2}} - P_{\text{доб}} - P_{\text{мех}} = 58\,117 - 2304 - 290 - 580 = \\ = 54\,943 \text{ Вт, т.е. } P_{\text{ном}} \approx 55 \text{ кВт.}$$

Задача 3.11. Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором работает от сети переменного тока напряжением $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$ частотой $f_1 = 50 \text{ Гц}$. При номинальной нагрузке ротор двигателя вращается с частотой $n_{\text{ном}}$; перегрузочная способность двигателя $\lambda_{\text{м}}$, а кратность пускового момента $M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$ (табл. 3.12). Рассчитать значения параметров и построить механическую характеристику двигателя в относительных единицах $M_* = f(s)$, если электромагнитная мощность в режиме номинальной нагрузки равна $P_{\text{эм}}$. Определить, при каком снижении напряжения относительно номинального двигатель утратит способность пуска с номинальным моментом на валу и при каком снижении напряжения он утратит перегрузочную способность.

Таблица 3.12

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{\text{эм}}$, кВт	7,5	15	11	4,0	15	1,1	30	3,0	7,5	37
$n_{\text{ном}}$, об/мин	1440	2940	960	1420	720	2920	580	1430	730	575
$\lambda_{\text{м}}$	2,2	1,9	2,0	2,2	2,0	1,9	1,8	2,2	1,7	1,8
$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	1,4	1,4	1,2	1,0	1,0	1,2	1,4	1,0	0,9	1,0
$2p$	4	2	6	4	8	2	10	4	8	10

Решение варианта 1.

Расчет ведем в относительных единицах по упрощенной формуле

$$M_* = 2 / [(s/s_{\text{кр}}) + (s_{\text{кр}}/s)],$$

где $M_* = M/M_{\text{мах}}$ — относительное значение электромагнитного момента.

1. Номинальное скольжение

$$s_{\text{ном}} = (n_1 - n_{\text{ном}})/n_1 = (1500 - 1440)/1500 = 0,04.$$

2. Критическое скольжение

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{ном}} (\lambda_{\text{м}} + \sqrt{\lambda_{\text{м}}^2 - 1}) = 0,04 (2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}) = 0,17.$$

3. Рассчитаем относительные значения момента при скольжениях:

$$s_{\text{ном}} = 0,04; s_{\text{кр}} = 0,17; s = 0,2; s = 0,5; s = 0,8.$$

Параметр	Значения параметра					
s	0,04	0,17	0,2	0,5	0,8	1,0
M_*	0,445	1,0	0,98	0,61	0,4	0,64
M , Н·м	47,7	105	103	64	42	66,8

Результаты расчета приведены в табл. 3.13. По полученным данным рассчитаны фактические значения момента и построена механическая характеристика $M_* = f(s)$ двигателя (рис. 3.8). В связи с тем, что приближенная формула относительного значения момента при больших скольжениях дает заметную ошибку, величину пускового момента, соответствующую скольжению $s = 1,0$, определим по номинальному значению момента

$$M_{\text{ном}} = 9,55 P_{\text{эм}}/n_1 = 9,55 \cdot 7500/1500 = 47,7 \text{ Н·м.}$$

Следовательно,

$$M_{\text{п}} = M_{\text{ном}} \cdot 1,4 = 47,7 \cdot 1,4 = 66,8 \text{ Н·м.}$$

Относительное значение пускового момента

$$M_{\text{п}*} = M_{\text{п}}/M_{\text{мах}} = 66,8/105 = 0,63,$$

где максимальное значение момента

$$M_{\text{мах}} = M_{\text{ном}} \lambda_{\text{м}} = 47,7 \cdot 2,2 = 105 \text{ Н·м.}$$

4. Известно, что величина электромагнитного момента прямо пропорциональна U_1^2 . Поэтому при кратности пускового момента $M_{\text{п}}/M_{\text{ном}} = 1,4$ пусковой момент окажется равным номинальному, если напряжение питания уменьшится до значения

$$U'_{1\text{л}} = U_{1\text{л}} / \sqrt{1,4} = 380/1,18 = 322 \text{ В.}$$

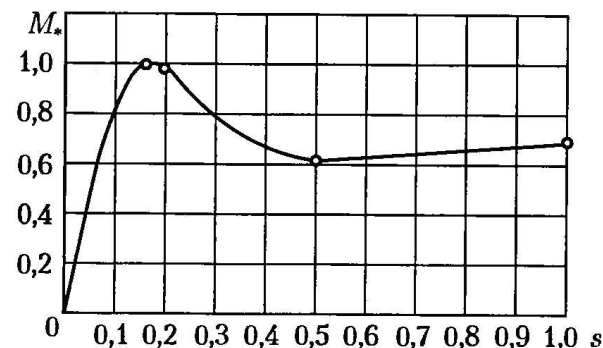


Рис. 3.8. Механическая характеристика асинхронного двигателя

В итоге даже незначительное дальнейшее снижение напряжения приведет к тому, что при номинальном нагрузочном моменте на валу двигателя пуск не произойдет. Что же касается перегрузочной способности двигателя, то, учитывая, что $\lambda_m = 2,2$, она будет утрачена при уменьшении напряжения сети до величины

$$U_{1л} / \sqrt{2,2} = 380 / 1,48 = 257 \text{ В.}$$

Задача 3.12. Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором серии А2, работающий от сети частотой 50 Гц напряжением 380 В при соединении обмотки статора «звездой», имеет номинальные параметры, приведенные в табл. 3.14: полезная мощность $P_{ном}$, частота вращения $n_{ном}$, КПД $\eta_{ном}$, коэффициент мощности $\cos \varphi_{1ном}$; кратность пускового тока $I_{п} / I_{ном}$, кратности пускового $M_{п} / M_{ном}$ и максимального $M_{max} / M_{ном}$ моментов; активное сопротивление фазной обмотки статора при температуре 20 °С $r_{1,20}$. Требуется рассчитать параметры и построить механическую характеристику двигателя $n_2 = f(M)$. Коэффициент мощности в режиме короткого замыкания принять равным

$$\cos \varphi_k = 0,5 \cos \varphi_{1ном}.$$

Решение варианта с двигателем А2-71-4.

1. Потребляемая двигателем мощность в режиме номинальной нагрузки

$$P_{1ном} = P_{ном} / \eta_{ном} = 22 / 0,9 = 24,4 \text{ кВт.}$$

Таблица 3.14

Тип двигателя	$P_{ном}$ кВт	$n_{ном}$ об/мин	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{1ном}$	$I_{п} / I_{ном}$	$\frac{M_{п}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$r_{1,20}$, Ом при 20 °С
А2-61-2	17	2900	88,0	0,88	7	1,2	2,2	0,1900
А2-62-2	22	2900	89,0	0,88	7	1,1	2,2	0,1540
А2-71-2	30	2900	90,0	0,90	7	1,1	2,2	0,1170
А2-72-2	40	2900	90,5	0,90	7	1,0	2,2	0,0770
А2-81-2	55	2900	91,0	0,90	7	1,0	2,2	0,0540
А2-82-2	75	2900	92,0	0,90	7	1,0	2,2	0,0347
А2-91-2	100	2920	93,0	0,90	7	1,0	2,2	0,0209
А2-92-2	125	2920	94,0	0,90	7	1,0	2,2	0,0144
А2-61-4	13	1450	88,5	0,88	7	1,3	2,0	0,2700
А2-62-4	17	1450	89,5	0,88	7	1,3	2,0	0,1890
А2-71-4	22	1455	90,0	0,88	7	1,2	2,0	0,1700

2. Потребляемый двигателем ток в режиме номинальной нагрузки

$$I_{1ном} = P_{1ном} / (3 U_1 \cos \varphi_{1ном}) = 24\,400 / (3 \cdot 220 \cdot 0,88) = 42 \text{ А.}$$

3. Пусковой ток двигателя

$$I_{п} = I_{1ном} (I_{п} / I_{1ном}) = 42 \cdot 7 = 294 \text{ А.}$$

4. Сопротивление короткого замыкания двигателя

$$Z_k = U_1 / I_{п} = 220 / 294 = 0,75 \text{ Ом.}$$

5. Коэффициент мощности в режиме короткого замыкания

$$\cos \varphi_k = 0,5 \cdot 0,88 = 0,44; \sin \varphi_k = 0,895.$$

6. Активная и индуктивная составляющие сопротивления короткого замыкания

$$x_k = Z_k \sin \varphi_k = 0,75 \cdot 0,895 = 0,67 \text{ Ом;}$$

$$r_k = Z_k \cos \varphi_k = 0,75 \cdot 0,44 = 0,33 \text{ Ом.}$$

7. Сопротивление фазной обмотки статора при рабочей температуре

$$r_1 = r_{1,20} [1 + \alpha (\theta_{раб} - 20)] = 0,17 [1 + 0,004 (75 - 20)] = 0,21 \text{ Ом,}$$

где $\theta_{раб} = 75 \text{ °С}$ — рабочая температура; $\alpha = 0,004$ — температурный коэффициент сопротивления меди.

8. Скольжение в режиме номинальной нагрузки

$$s_{ном} = (n_1 - n_{ном}) / n_{ном} = (1500 - 1455) / 1500 = 0,03.$$

9. Приведенное значение активного сопротивления фазы обмотки ротора

$$r'_2 = r_k - r_1 = 0,33 - 0,21 = 0,12 \text{ Ом.}$$

10. Номинальное значение электромагнитного момента определяем по формуле

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r'_2 p}{2\pi f_1 s_{ном} \left[(r_1 + r'_2 / s_{ном})^2 + x_k^2 \right]} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,12 \cdot 2}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,03 \left[(0,21 + 0,12 / 0,03)^2 + 0,67^2 \right]} = 204 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

11. Максимальный момент

$$M_{max} = 204 \cdot 2 = 408 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

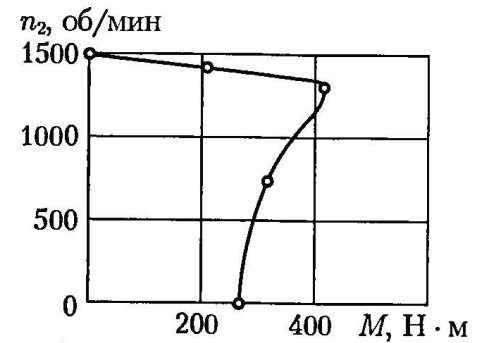


Рис. 3.9. Механическая характеристика асинхронного двигателя

12. Пусковой момент

$$M_{\Pi} = 204 \cdot 1,2 = 245 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

13. Критическое скольжение

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{ном}} \left[M_{\text{max}} / M_{\text{ном}} + \sqrt{(M_{\text{max}} / M_{\text{ном}})^2 - 1} \right] =$$

$$= 0,03 \left[2 + \sqrt{2^2 - 1} \right] = 0,11.$$

14. Момент при скольжении $s = 0,5$

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r_2'}{2\pi f_1 s \left[(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,12 \cdot 2}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,5 \left[(0,21 + 0,12/0,5)^2 + 0,69^2 \right]} = 341 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

15. Рассчитав частоту вращения по формуле

$$n_2 = n_1(1 - s),$$

получаем результаты расчета параметров для построения механической характеристики двигателя:

Скольжение	0	0,03	0,11	0,5	1,0
Частота вращения, об/мин	1500	1455	1335	750	0
Момент, Н · м	0	204	410	341	245

16. По полученным данным строим механическую характеристику $n_2 = f(M)$, представленную на рис. 3.9.

Задача 3.13. В табл. 3.15 приведены технические данные трехфазных асинхронных двигателей с фазным ротором серии АК2. Требуется определить номинальное $M_{\text{ном}}$ и максимальное M_{max} значения моментов, номинальное $s_{\text{ном}}$ и критическое $s_{\text{кр}}$ скольжения, а также сопротивление резистора, который следует включить в цепь фазной обмотки ротора, чтобы начальный пусковой момент двигателя был равен максимальному; построить механическую характеристику для этого режима и по ней определить скольжение, соответствующее номинальному моменту $M_{\text{ном}}$. Напряжение сети 380 В, частота 50 Гц; обмотка статора соединена «звездой». Кратность пускового тока при прямом (безреостатном) включении двигателя в сеть $I_{\Pi} / I_{\text{ном}} = 7$; коэффициент мощности в режиме короткого замыкания принять равным

$$\cos \varphi_{\text{к}} = 0,5 \cos \varphi_{\text{ном}}.$$

Решение варианта с двигателем АК2-82-8.

Таблица 3.15

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$	r_{120} , Ом, при 20 °С
АК2-81-4	40	1440	90,0	0,84	2,0	0,0725
АК2-82-4	55	1440	90,5	0,84	2,0	0,0390
АК2-91-4	75	1450	90,5	0,85	2,0	0,0326
АК2-92-4	100	1450	90,5	0,85	2,0	0,0210
АК2-81-6	30	960	89,0	0,84	1,8	0,0920
АК2-82-6	40	960	89,0	0,85	1,8	0,0605
АК2-91-6	55	960	89,0	0,86	1,8	0,0590
АК2-92-6	75	960	90,5	0,86	1,8	0,0350
АК2-81-8	22	720	87,5	0,79	1,7	0,1570
АК2-82-8	30	720	87,5	0,79	1,7	0,0935

1. Потребляемая двигателем мощность в номинальном режиме

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / \eta_{\text{ном}} = 30 / 0,875 = 34,3 \text{ кВт}.$$

2. Ток, потребляемый двигателем в номинальном режиме,

$$I_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / (3 U_1 \cos \varphi_{\text{ном}}) = 34\,300 / (3 \cdot 220 \cdot 0,79) = 66 \text{ А}.$$

3. Скольжение в номинальном режиме

$$s_{\text{ном}} = (750 - 720) / 750 = 0,04.$$

4. Активное сопротивление фазы статора при рабочей температуре 75 °С

$$r_1 = r_{120} [1 + \alpha(75 - 20)] = 0,0935 [1 + 0,004 \cdot 55] =$$

$$= 0,0935 \cdot 1,22 = 0,114 \text{ Ом}.$$

5. Пусковой ток при прямом (безреостатном) включении

$$I_{\Pi} = I_{\text{ном}} (I_{\Pi} / I_{\text{ном}}) = 66 \cdot 7 = 462 \text{ А}.$$

6. Сопротивление короткого замыкания

$$Z_{\text{к}} = U_1 / I_{\Pi} = 220 / 462 = 0,48 \text{ Ом}.$$

7. Коэффициент мощности короткого замыкания

$$\cos \varphi_{\text{к}} = 0,5 \cos \varphi_{\text{ном}} = 0,5 \cdot 0,79 = 0,395; \sin \varphi_{\text{к}} = 0,918.$$

8. Индуктивная составляющая сопротивления короткого замыкания

$$x_{\text{к}} = Z_{\text{к}} \sin \varphi_{\text{к}} = 0,48 \cdot 0,918 = 0,44 \text{ Ом}.$$

9. Активная составляющая сопротивления короткого замыкания

$$r_k = Z_k \cos \varphi_k = 0,48 \cdot 0,395 = 0,19 \text{ Ом.}$$

10. Активное сопротивление фазы ротора, приведенное к фазе статора,

$$r'_2 = r_k - r_1 = 0,19 - 0,114 = 0,076 \text{ Ом.}$$

11. Активное сопротивление фазы ротора при скольжении $s_{\text{ном}} = 0,04$

$$r'_2 / s_{\text{ном}} = 0,076 / 0,04 = 1,9 \text{ Ом.}$$

12. Номинальное значение электромагнитного момента

$$M_{\text{ном}} = \frac{m_1 U_1^2 r'_2 p}{2\pi f_1 s_{\text{ном}} \left[(r_1 + r'_2 / s_{\text{ном}})^2 + x_k^2 \right]} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,076 \cdot 4}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,04 \left[(0,114 + 1,9)^2 + 0,44^2 \right]} = 720 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

13. Максимальное значение момента

$$M_{\text{max}} = \frac{m_1 U_1^2 p}{4\pi f_1 \left[\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + x_k^2} \right]} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 4}{4 \cdot 3,14 \cdot 50 \left[0,114 + \sqrt{0,114^2 + 0,44^2} \right]} = 1640 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

14. Критическое скольжение

$$s_{\text{кр}} \approx \pm r'_2 / x_k = 0,076 / 0,44 = 0,17.$$

15. Сопротивление резистора $r_{\text{доб}}$, при включении которого в цепь ротора пусковой момент становится максимальным, должно быть таким, чтобы общее активное сопротивление фазы ротора было равно сопротивлению x_k . Следовательно,

$$r_{\text{доб}} = x_k - r'_2 = 0,44 - 0,076 = 0,364 \text{ Ом.}$$

16. Для построения искусственной механической характеристики $M = f(s)$, соответствующей приведенному значению сопротивления цепи ротора $r_{\text{доб}} + r'_2 = 0,44 \text{ Ом}$, рассчитаем значения моментов при скольжениях $s = 0,5$ и $s = 0,75$.

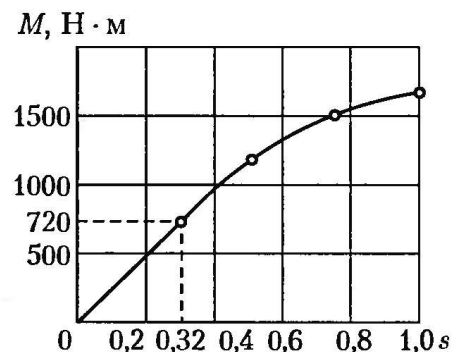


Рис. 3.10. Искусственная механическая характеристика асинхронного двигателя $M = f(s)$

Результаты расчета электромагнитного момента для ряда значений скольжения представлены ниже:

s	0	0,5	0,75	1,0
$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	0	1381	1500	1640

Из построений на рис. 3.10 следует, что при номинальном моменте $M_{\text{ном}} = 720 \text{ Н} \cdot \text{м}$ скольжение составляет $s = 0,32$, что соответствует частоте вращения $n_{\text{ном}} = 750(1 - 0,32) = 510 \text{ об/мин.}$

Задача 3.14. Трехфазный асинхронный двигатель номинальной мощностью $P_{\text{ном}}$ включен в сеть напряжением 380 В, частотой 50 Гц, обмотка статора соединена «звездой». Вращаясь с частотой $n_{\text{ном}}$, двигатель потребляет ток $I_{\text{ном}}$ при коэффициенте мощности $\cos \varphi_1$. При работе в режиме холостого хода двигатель потребляет из сети мощность P_{10} при токе I_{10} ; активное сопротивление фазной обмотки статора при рабочей температуре r_1 (табл. 3.16). Определить все виды потерь двигателя в режиме номинальной нагрузки, приняв величину механических потерь $P_{\text{мех}}$.

Таблица 3.16

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	15	7,0	75	100	7,0	10
$I_{\text{ном}}, \text{А}$	32	14	140	180	11	19
$n_{\text{ном}}, \text{об/мин}$	1455	2910	960	1460	1450	2920
$r_1, \text{Ом}$	0,25	0,58	0,036	0,015	0,52	0,33
$\cos \varphi_1$	0,85	0,90	0,88	0,91	0,86	0,91
$P_{10}, \text{Вт}$	820	400	1270	2000	300	330
$I_{10}, \text{А}$	7,0	4,0	31	43	4,5	5,0
$P_{\text{мех}}, \text{Вт}$	160	170	250	450	120	220

Решение варианта 1.

1. Электрические потери в обмотке статора в режиме холостого хода

$$P_{\text{э10}} = m_1 I_{10}^2 r_1 = 3 \cdot 7^2 \cdot 0,25 = 37 \text{ Вт.}$$

2. Постоянные потери (сумма магнитных и механических потерь)

$$P_{\text{пост}} = P_{10} - P_{\text{э10}} = 820 - 37 = 783 \text{ Вт.}$$

3. Магнитные потери

$$P_{\text{м}} = P_{\text{пост}} - P_{\text{мех}} = 783 - 160 = 223 \text{ Вт.}$$

4. Мощность, потребляемая из сети при номинальной нагрузке,

$$P_{\text{ном}} = m_1 U I_{\text{ном}} \cos \varphi_1 = 3 \cdot 220 \cdot 32 \cdot 0,85 = 17\,952 \text{ Вт.}$$

5. Суммарные потери

$$\sum P = P_{\text{ном}} - P_{\text{пост}} = 17\,952 - 15\,000 = 2\,952 \text{ Вт.}$$

6. КПД двигателя в номинальном режиме

$$\eta_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / P_{\text{ном}} = 15 / 17,95 = 0,83.$$

7. Переменные потери (сумма электрических потерь в обмотках статора и ротора и добавочных потерь) в номинальном режиме

$$P_{\text{пер.ном}} = \sum P - P_{\text{пост}} = 2\,952 - 783 = 2\,169 \text{ Вт.}$$

8. Добавочные потери в номинальном режиме

$$P_{\text{доб.ном}} = 0,005 P_{\text{ном}} = 0,005 \cdot 17\,952 = 90 \text{ Вт.}$$

9. Электрические потери в обмотке статора в номинальном режиме

$$P_{\text{эл1ном}} = m_1 I_{\text{ном}}^2 r_1 = 3 \cdot 32^2 \cdot 0,25 = 768 \text{ Вт.}$$

10. Электрические потери в обмотке ротора в номинальном режиме

$$P_{\text{эл2ном}} = P_{\text{пер.ном}} - P_{\text{эл1ном}} - P_{\text{доб.ном}} = 2\,169 - 768 - 90 = 1\,311 \text{ Вт.}$$

Круговая диаграмма и рабочие характеристики

Задача 3.15. По рабочим характеристикам трехфазных асинхронных двигателей, приведенным в Приложении 2, и данным табл. 3.17 по каждому из предлагаемых вариантов требуется определить:

а) параметры двигателя в номинальном режиме работы — ток статора $I_{\text{ном}}$, КПД $\eta_{\text{ном}}$, коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{ном}}$, скольжение $s_{\text{ном}}$, частоту вращения $n_{\text{ном}}$, потребляемую мощность $P_{\text{ном}}$;

б) максимальное значение КПД η_{max} и соответствующие этому КПД нагрузку P_2 , выразив ее в долях от номинальной $P_{\text{ном}}$;

Таблица 3.17

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
Рисунок (см. приложение 2)	П. 2.1	П. 2.2	П. 2.3	П. 2.4	П. 2.5	П. 2.6
$P_{\text{ном}}$, кВт	250	2,8	7,5	160	4,0	45
Напряжение сети $U_{\text{лн}}$, В	660	220	380	380	220	380
Схема соединения обмотки статора	Y	Δ	Y	Δ	Δ	Y
$2p$	4	4	4	4	4	4

в) отношение переменных потерь $P_{\text{пер.ном}}$ к постоянным потерям $P_{\text{пост}}$ при номинальной нагрузке;

г) активное сопротивление фазы обмотки статора r_1 .

Решение варианта 1.

1. Параметры двигателя при номинальном режиме (см. рис. П. 2.1): полезная мощность двигателя $P_{\text{ном}} = 250 \text{ кВт}$;

ток статора $I_{\text{ном}} = 250 \text{ А}$;

скольжение $s_{\text{ном}} = 1,7\%$ или 0,017;

частота вращения $n_{\text{ном}} = 1500(1 - 0,017) = 1474 \text{ об/мин}$;

коэффициент полезного действия $\eta_{\text{ном}} = 0,92$;

коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,88$;

потребляемая мощность $P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / \eta_{\text{ном}} = 250 / 0,92 = 271,7 \text{ кВт}$.

2. Максимальное значение КПД $\eta_{\text{max}} = 0,94$ соответствует нагрузке

$$P_2 = 150 \text{ кВт, т.е. } 0,6 P_{\text{ном}} \text{ (см. рис. П.2.1).}$$

3. Потребляемая двигателем мощность при нагрузке $0,6 P_{\text{ном}} = 150 \text{ кВт}$

$$P_1 = P_2 / \eta_{\text{max}} = 150 / 0,94 = 159,6 \text{ кВт.}$$

4. Сумма потерь при нагрузке $P_2 = 0,6 P_{\text{ном}} = 150 \text{ кВт}$,

$$\sum P = P_1 - P_2 = 159,6 - 150 = 9,6 \text{ кВт.}$$

5. Постоянные потери

$$P_{\text{пост}} = P_{\text{м}} + P_{\text{мех}} = \sum P / 2 = 9,6 / 2 = 4,8 \text{ кВт.}$$

6. Суммарные потери двигателя при номинальной нагрузке

$$\sum P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} - P_{\text{ном}} = 271,7 - 250 = 21,7 \text{ кВт.}$$

7. Переменные потери в режиме номинальной нагрузки

$$P_{\text{пер.ном}} = \sum P_{\text{ном}} - P_{\text{пост}} = 21\,700 - 4\,800 = 16\,900 \text{ Вт.}$$

8. Отношение переменных потерь к постоянным при номинальной нагрузке

$$P_{\text{пер.ном}} / P_{\text{пост}} = 16\,900 / 4\,800 \approx 3,5.$$

9. Добавочные потери при номинальной нагрузке

$$P_{\text{доб}} = 0,005 P_{\text{ном}} = 0,005 \cdot 271\,700 = 1\,359 \text{ Вт.}$$

10. Момент холостого хода

$$M_0 = 9,55 P_{\text{пост}} / n_1 = 9,55 \cdot 4\,800 / 1500 = 31 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

11. Номинальный момент на валу двигателя

$$M_{2\text{ном}} = 9,55 P_{\text{ном}} / n_{\text{ном}} = 9,55 \cdot 250\,000 / 1474 = 1\,620 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

12. Электромагнитный момент в номинальном режиме

$$M_{\text{ном}} = M_{2\text{ном}} + M_0 = 1\,620 + 31 = 1\,651 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$