Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Кафедра микропроцессорных средств автоматизации

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине: Электрические машины

Тема: Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором

Выполнил: студент гр. ЭЭ-19-3б
Кузовкин М.А.

Проверил: доцент каф. МСА
Даденков Д.А.

Пермь 2021 г.

Исходные данные

Исходные данные задания к курсовому проекту представлены в табл.1.

Конструктивное исполнение − IM1001, степень защиты − IP 44, способ охлаждения − IC 0141; климатические условия − У3, класс нагревостойкости изоляции − F.

Таблица 1- Исходные данные

№ п/п	Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	Синхронная скорость, об/мин	Кратность моментов $M_{кр}/M_{н}$	Линейное напряжение, В
12	АДКЗР	90	1500	2,6	660

1. Выбор главных размеров

- Число пар полюсов: $p = \frac{60 \cdot f_1}{n} = 2;\ \ 2p = 4$
- Высота оси вращения: $h = 250$ мм
- Наружный диаметр статора: $D_a = 0{,}437$ м
- Внутренний диаметр статора: $D = K_D D_a = 0{,}28842$ м
- Полюсное деление: $\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p} = 0{,}227$ м
- Предварительные значения η и cos ϕ: $\eta = 93\%, cos\phi = 0{,}908$
- Электромагнитные нагрузки (предварительно): $A = 39 \cdot \frac{10^3 \text{А}}{\text{м}}; B_\delta = 0{,}7$Тл
- Расчетная длина магнитопровода : $l_\delta = \frac{P'}{k_B \cdot D^2 \cdot \Omega \cdot k_{\text{об1п}} \cdot A \cdot B_\delta} = 0{,}2573$ м

- Проверка правильности выбора главных размеров: $\lambda = \frac{l_\text{б}}{\tau} = 1{,}13586$

$0{,}75 < \lambda < 1{,}15$ -находится в допустимых пределах

2. Расчет параметров статора

- Число пазов статора: $Z_1 = 60$ число пазов на полюс и фазу: $q_1 = \frac{Z_1}{(2pm)} = 5$
- Зубцовое деление статора: $t_{Z1} = \frac{\pi \cdot D}{Z_1} = 0{,}0151$ м
- Номинальный ток обмотки статора: $I_{1\text{ном}} = \frac{P_2}{m \cdot U_{1\text{ном}} \cdot \eta \cdot cos\phi} = 93{,}491$ А
- Число эффективных проводников в пазу (предварительно): $u_{\text{п}}' = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{1\text{ном}} \cdot Z_1} = 6{,}3$В; При а=4: $u_{\text{п}} = a \cdot u_{\text{п}}' = 26$
- Число витков в фазе: $W_1 = \frac{u_{\text{п}} \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m} = 65$
- Линейная нагрузка: $A = \frac{2 \cdot I_{1\text{ном}} \cdot W_1 \cdot m}{\pi \cdot D} = 40240{,}02$ А/м
- Магнитный поток: $\Phi = \frac{k_E \cdot U_{1\text{ном}}}{4k_B \cdot W_1 \cdot k_{\text{об}1} \cdot f} = 0.0284$ Вб
- Индукция в воздушном зазоре: $B_\delta = \frac{p \cdot \Phi}{D \cdot l_\delta} = 0{,}76443$ Тл
- Плотность тока в обмотке статора (предварительно): $J = \frac{(AJ_1)}{A} = 4746518{,}1$ А/м^2

2. Расчет параметров статора (продолжение)

- Площадь поперечного сечения эффективного проводника (предварительно): $q_{эф} = \frac{I_{1ном}}{a \cdot J_1} = 4{,}9242$ мм^2
- Сечение эффективного проводника, принимаем $n_{эл} = 4$: $q_{эл} = \frac{q_{эф}}{n_{эл}} = 1{,}231$ мм^2
- Принимаем обмоточный провод марки ПЭТ-155:

  Окончательно: $q_{эл} = 1{,}227$ мм^2; $d_{из} = 1{,}33$ мм; $d_{эл} = 1{,}25$ мм
- Плотность тока в обмотке статора (окончательно): $J_1 = \frac{I_{1ном}}{a \cdot q_{эл} \cdot n_{эл}} = 4.7622$ А/мм^2
- Ширина зубца статора: $b_{Z1} = \frac{B_\delta \cdot t_{Z1} \cdot l_\delta}{B_{Z1} \cdot l_{ст1} \cdot k_c} = 7$ мм
- Размеры паза в штампе: $h_п = 34{,}6$ мм; $b_1 = 8{,}5$ мм; $b_2 = 11{,}7$ мм; $h_{п.к}$=31,2 мм; $b_ш = 3{,}7$мм; $h_ш = 1$мм
- Площадь поперечного сечения паза для размещения проводников обмотки:
  $S'_п = \frac{b'_1 + b'_2}{2} \cdot h'_{п.к.} - (S_{из} + S_{пр}) = 254{,}6$ мм^2
- Площадь поперечного сечения корпусной изоляции в пазу: $S_{из} = 40{,}23$ мм^2
- Коэффициент заполнения паза: $k_з = \frac{d^2_{из} \cdot u_п \cdot n_{эл}}{S_п{}'} = 0.7220.72$ входит в $0{,}72 < k_з < 0.74$
- Выбор воздушного зазора: $\delta = 1$ мм

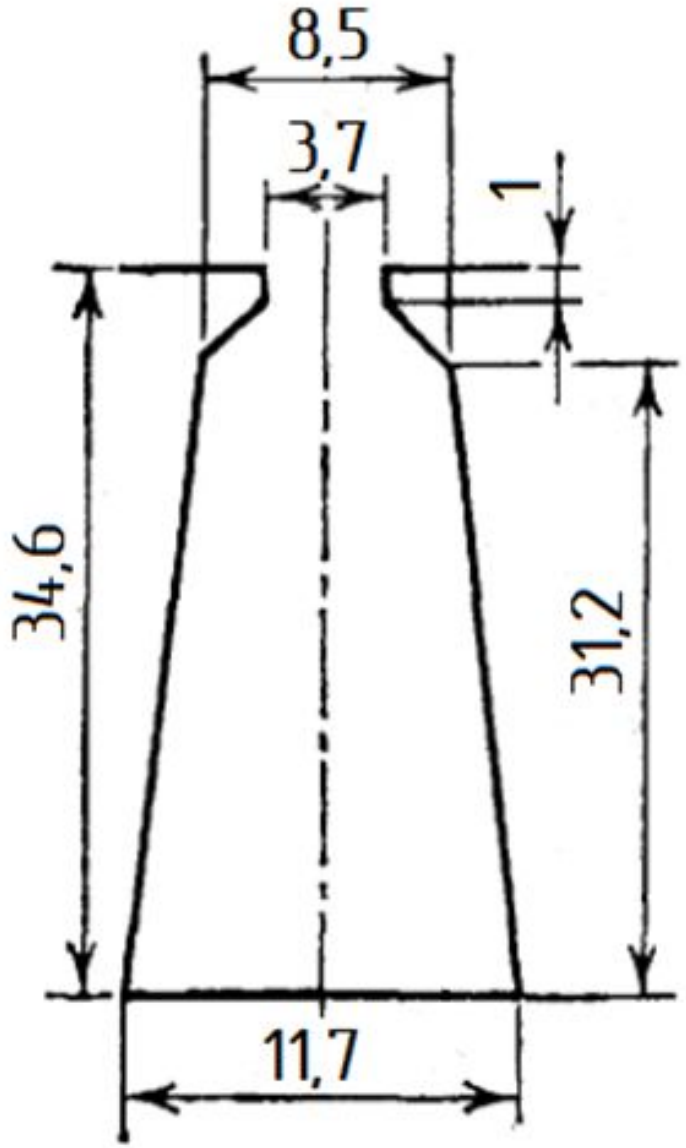

Рис. 1. - Паз статора проектируемого двигателя

3. Расчет параметров ротора

- Выбор числа пазов: $Z_2 = 52$
- Внешний диаметр ротора: $D_2 = D - 2 \cdot \delta = 0{,}28642$ м
- Длина магнитопровода: $l_2 = l_1 = 0{,}2573$ м
- Зубцовое деление ротора: $t_{Z2} = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2} = 17{,}304$ мм
- Внутренний диаметр ротора: $D_{\text{В}} = k_{\text{В}} \cdot D_a = 0{,}1005$ м
- Ток в обмотке ротора: $I_2 = k_i \cdot I_1 \cdot \nu_i = 591{,}0176$ А
- Площадь поперечного сечения стержня (предварительно): $q_{\text{п}} = \frac{I_2}{J_2} = 218{,}895$ мм^2

3. Расчет параметров ротора (продолжение)

- Размеры паза ротора: $b_{ш} = 1{,}5$ мм; $h_{ш} = 0{,}7$ мм; $h'_{ш} = 0{,}7$ мм; $b_{Z2} = 7{,}37$ мм

  $b_1 = 9{,}2$ мм; $b_2 = 6{,}6$ мм; $h_1 = 21{,}5$ мм; $h_{п2} = 30{,}8$ мм
- Площадь поперечного сечения стержня (окончательно):

$$q_c = \frac{\pi}{8}(b_1^2 + b_2^2) + 0.5(b_1 + b_2)h_1 = 220{,}194 \text{ мм}^2$$

- Плотность тока в стержне (окончательно): $J_2 = \frac{I_2}{q_c} = 2{,}6841$ А/мм^2
- Ток в кольце: $I_{кл} = \frac{I_2}{2 \cdot sin\frac{\pi p}{Z_2}} = 2451{,}609$ А
- Сечение короткозамкнутого кольца: $q_{кл} = \frac{I_{кл}}{J_{кл}} = 1074{,}577$ мм^2
- Размеры короткозамкнутого кольца:

Высота короткозамкнутого кольца - $h_{кл} = 1{,}25 \cdot h_{п2} = 38{,}5$ мм

Длина короткозамкнутого кольца - $b_{кл} = \frac{q_{кл}}{h_{кл}} = \frac{1074{,}577}{38{,}5} = 27{,}9$ мм

Средний диаметр короткозамкнутого кольца – $D_{кл.ср} = D_2 - h_{кл} = 0{,}24792$ м

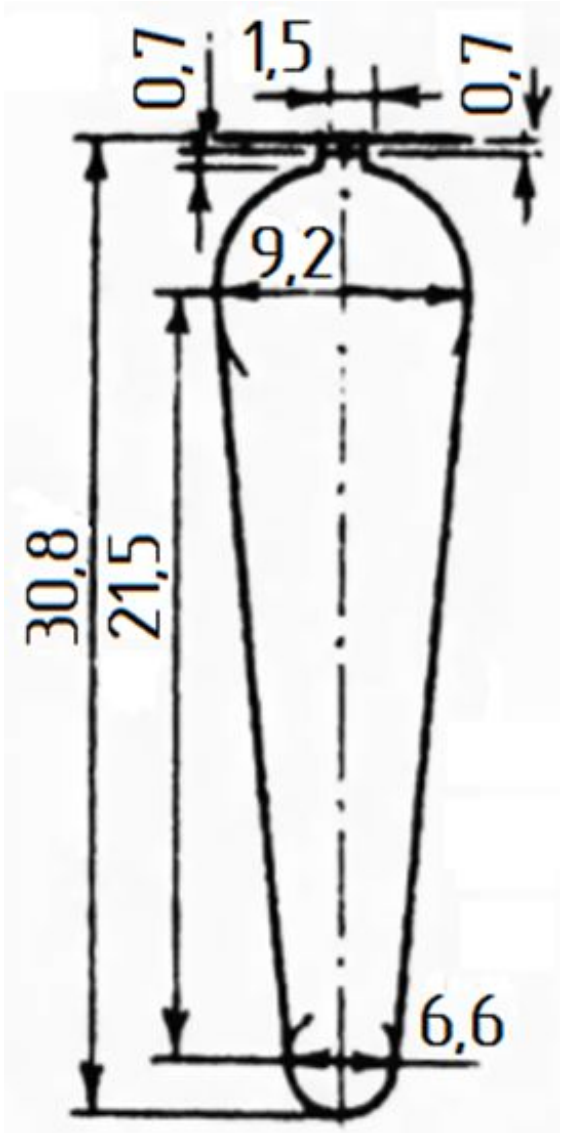

Рис. 2. - Паз ротора проектируемого двигателя

4. Расчет магнитной цепи

- Магнитопровод из электротехнической стали 2214
- Магнитное напряжение воздушного зазора: $F_\delta = \frac{2}{\mu_0} B_\delta \cdot \delta \cdot k_\delta = 1358{,}14$ А
- Магнитное напряжение зубцовой зоны статора: $F_{Z1} = 2h_{Z1} \cdot H_{Z1} = 131{,}48$ А
- Магнитное напряжение зубцовой зоны ротора: $F_{Z2} = 2h_{Z2} H_{Z2} = 194{,}102$ А
- Коэффициент насыщения зубцовой зоны: $k_Z = 1 + \frac{F_{Z1} + F_{Z2}}{F_\delta} = 1{,}24$

  $1{,}2 < k_Z < 1{,}6$ - в допустимых пределах.
- Магнитное напряжение ярма статора: $F_a = L_a H_a = 223{,}74$ А
- Магнитное напряжение ярма ротора: $F_j = L_j H_j = 25{,}295$ А
- Магнитное напряжение цепи на два полюса: $F_ц = F_\delta + F_{Z1} + F_{Z2} + F_a + F_j = 1932{,}75$ А
- Коэффициент насыщения магнитной цепи двигателя: $k_\mu = \frac{F_ц}{F_\delta} = 1{,}4231$

  $1{,}3 < k_\mu < 1{,}5$ - в допустимых пределах.
- Намагничивающий ток: $I_\mu = \frac{p \cdot F_ц}{0{,}9 \cdot m_1 \cdot w_1 \cdot k_{об1}} = 24{,}21$ А
- Относительное значение намагничивающего тока: $I_{\mu^*} = \frac{I_\mu}{I_{1ном}} = 0{,}26$ о. е.

  $0{,}25 < I_{\mu^*} < 0{,}3$ - в допустимых пределах.

5. Расчет параметров рабочего режима

- Активное сопротивление обмотки статора: $r_1 = k_R \rho_{115} \frac{L_1}{q_{эф} a} = 0{,}097$ Ом
- Относительное значение: $r_{1*} = r_1 \frac{I_{1ном}}{U_{1ном}} = 0{,}02392$ о. е.
- Активное сопротивление фазы алюминиевой обмотки ротора:

  $r_2 = r_c + \frac{2r_{кл}}{\Delta^2} = 8{,}03998 \cdot 10^{-5}$ Ом
- Приводим r2 к числу витков обмотки статора: $r_2' = r_2 \frac{4m_1 (W_1 k_{об1})^2}{Z_2 k_{ск}^2} = 0{,}064894$ Ом
- Относительное значение: $r_2'^* = r_2 \frac{I_{1ном}}{U_{1ном}} = 0{,}015966$ о.е.
- Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора:

  $x_1 = 15{,}8 \frac{f_1}{100} \left(\frac{w_1}{100}\right)^2 \frac{l_\delta'}{pq} (\lambda_{п1} + \lambda_{л1} + \lambda_{д1}) = 0{,}37375$ Ом $\quad x_1^* = x_1 \frac{I_{1ном}}{U_{1ном}} = 0{,}091954$ о. е.
- Индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора:

  $x_2 = 7{,}9 f_1 l_\delta' (\lambda_{п2} + \lambda_{л2} + \lambda_{д2}) = 0{,}000516$ Ом
- Приведённое к числу витков статора индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора : $x'_2 = x_2 \frac{4m(w_1 k_{об1})^2}{Z_2 k_{ск}^2} = 0{,}416$ Ом $\quad x_{2*}' = x_2' \frac{I_{1ном}}{U_{1ном}} = 0{,}102376$ о. е.

6. Расчёт потерь

- Основные потери в стали статора: $P_{\text{ст.осн}} = p_{\frac{1.0}{50}} \left(\frac{f_1}{50}\right)^{\beta} \left(k_{\text{Да}} B_{\text{а}}^2 m_{\text{а}} + k_{\text{ДZ}} B_{Z1}^2 m_{Z1}\right) = 926{,}24$ Вт
- Поверхностные потери в роторе: $P_{\text{пов2}} = p_{\text{пов2}} (t_{Z2} - b_{\text{Ш2}}) Z_2 l_{\text{ст2}} = 44{,}44$ Вт
- Пульсирующие потери: $\text{P}_{\text{пул2}} = 0{,}11 \left(\frac{Z_1 n}{1000} B_{\text{пул2}}\right)^2 m_{Z2} = 140{,}93$ Вт
- Сумма добавочных потерь в стали: $\text{P}_{\text{пов1}}$ и $\text{P}_{\text{пул1}} \approx 0$

$$\text{P}_{\text{ст.доб}} = \text{P}_{\text{пов1}} + \text{P}_{\text{пул1}} + \text{P}_{\text{пов2}} + \text{P}_{\text{пул2}} = 185{,}372 \text{ Вт}$$

- Полные потери в стали: $\text{P}_{\text{ст}} = \text{P}_{\text{ст.осн}} + \text{P}_{\text{ст.доб}} = 1111{,}615$ Вт
- Механические потери: $\text{P}_{\text{мех}} = K_{\text{Т}} \left(\frac{n}{10}\right)^2 \cdot D_a^4 = 600{,}565$ Вт
- Расчет параметров холостого хода:

$$\text{P}_{\text{э1х.х}} = m \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1 = 170{,}9019 \text{ Вт} \qquad cos\,\phi_{\text{х.х}} = \frac{I_{\text{х.х.а}}}{I_{\text{х.х}}} = 0{,}068077 \qquad I_{\text{х.х}} = \sqrt{I_{\text{х.х.а}}^2 + I_{\mu}^2} = 24{,}26423 \text{ А}$$

7. Расчёт рабочих характеристик

- Активное сопротивление, характеризующее магнитные потери в схеме замещения: $r_{12} = \frac{P_{\text{ст.осн}}}{m \cdot I_{\mu}^2} = 0{,}526853$ Ом
- Сопротивление взаимной индуктивности: $x_{12} = \frac{U_{1\text{ном}}}{I_{\mu}} - x_1 = 15{,}324$ Ом
- Модуль комплексного коэффициента: $c_1 = 1 + \frac{x_1}{x_{12}} = 1{,}0246$
- Активная составляющая тока синхронного холостого хода:

$$I_{0a} = \frac{P_{\text{ст.осн}} + 3 \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1}{3U_{1\text{ном}}} = 0{,}962407 \text{ А}$$

$a' = c_1^2 = 1{,}049734$ $a = c_1 r_1 = 0{,}0996$ Ом $b = c_1(x_1 + c_1 x_2') = 0{,}81978$ Ом

Таблица 2 – Рабочие характеристики асинхронного двигателя

№ п/п	Расчётная формула	Еде-ница	Скольжение s						
			0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	$S_{ном}$=0,0159
1	$a'r_2'/s$	Ом	13,624	6,812	4.541	3,406	2,725	2,271	4,267
2	$R = a + \frac{a'r_2'}{s}$	Ом	13,7239	6,9117	4,641	3,5057	2,8245	2,37	4,366
3	$X = b + \frac{b'r_2'}{s}$	Ом	0,8198	0,8198	0,8198	0,8198	0,8198	0,8198	0,8198
4	$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	Ом	13,748	6,96	4,713	3,6	2,941	2,51	4,442
5	$I_2'' = \frac{U_{1ном}}{Z}$	А	27,64	54,598	80,63	105,556	129,21	151,39	85,547
6	$cos\,\phi_2' = \frac{R}{Z}$	-	0,998	0,993	0,985	0,974	0,96	0,944	0,983
7	$sin\,\phi_2' = \frac{X}{Z}$	-	0,059	0,118	0,174	0,228	0,279	0,327	0,184
8	$I_{1a} = I_{oa} + I_2''\,cos\,\phi_2'$	А	28,547	55,178	80,383	103,774	125	143,875	85,055
9	$I_{1p} = I_{op} + I_2''\,sin\,\phi_2'$	А	25,839	30,65	38,237	48,275	60,257	73,712	39,948

Окончание табл. 2

10	$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}$	А	38,5	63,12	89	114,45	138,76	161,66	93,97
11	$I_2^{'} = c_1 I_2^{''}$	А	28,32	55,94	82,61	108,15	132,39	155,11	87,65
12	$P_1 = 3U_{1ном} I_{1a} \cdot 10^{-3}$	кВт	32,544	62,9	91,637	118,3	142,5	164,02	96,963
13	$P_{э1} = 3I_1^2 r_1 \cdot 10^{-3}$	кВт	0,432	1,162	2,31	3,82	5,615	7,621	2,575
14	$P_{э2} = 3I_2^{'2} r_2^{'} \cdot 10^{-3}$	кВт	0,156	0,609	1,328	2,277	3,412	4,684	1,495
15	$P_{доб} = 0{,}005 P_1$	кВт	0,1627	0,3145	0,4581	0,5915	0,7125	0,8201	0,4848
16	$\sum P = P_{ст} + P_{мех} + P_{1э} + P_{э2} + P_{доб}$	кВт	2,463	3,7977	5,8083	8,401	11,4517	14,8373	6,267
17	$P_2 = P_1 - \sum P$	кВт	30,081	59,1	85,8287	109,899	131,048	149,183	90,696
18	$\eta = 1 - \frac{\sum P}{P_1}$	-	0,9243	0,9396	0,9366	0,929	0,9196	0,9095	0,935
19	$cos\,\phi = \frac{I_{1a}}{I_1}$	-	0,7415	0,8742	0,9032	0,9067	0,901	0,8899	0,9051

7. Расчет рабочих характеристик (графики)

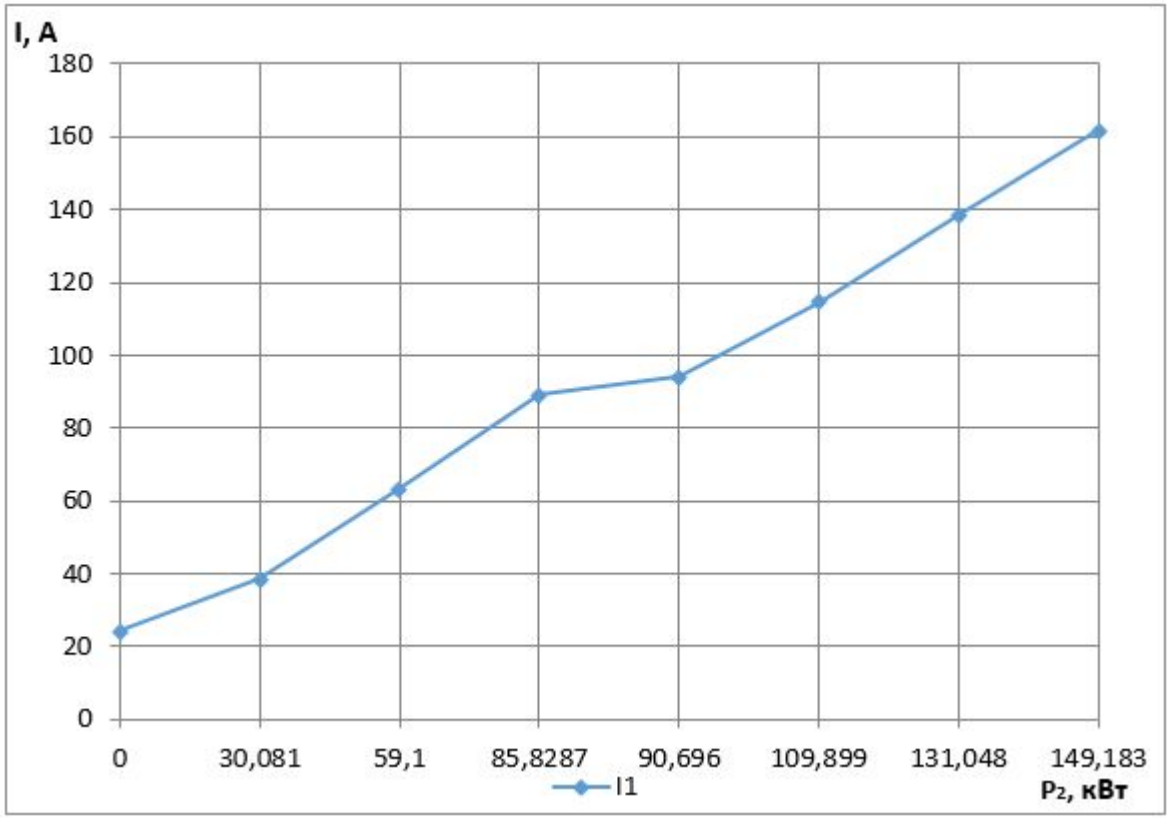

Рис. 3. Зависимость $I_1 = f(\mathrm{P}_2)$

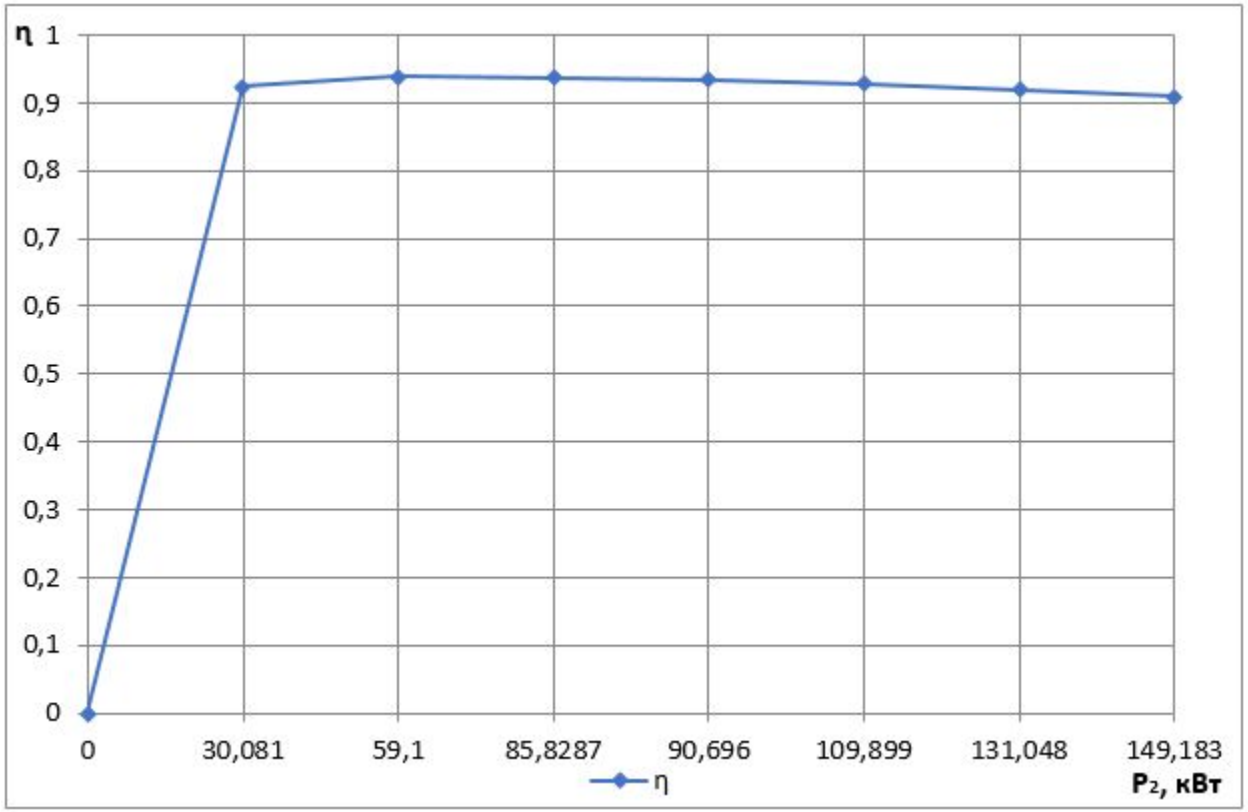

Рис. 4. Зависимость $\eta = f(\mathrm{P}_2)$.

7. Расчет рабочих характеристик (графики)

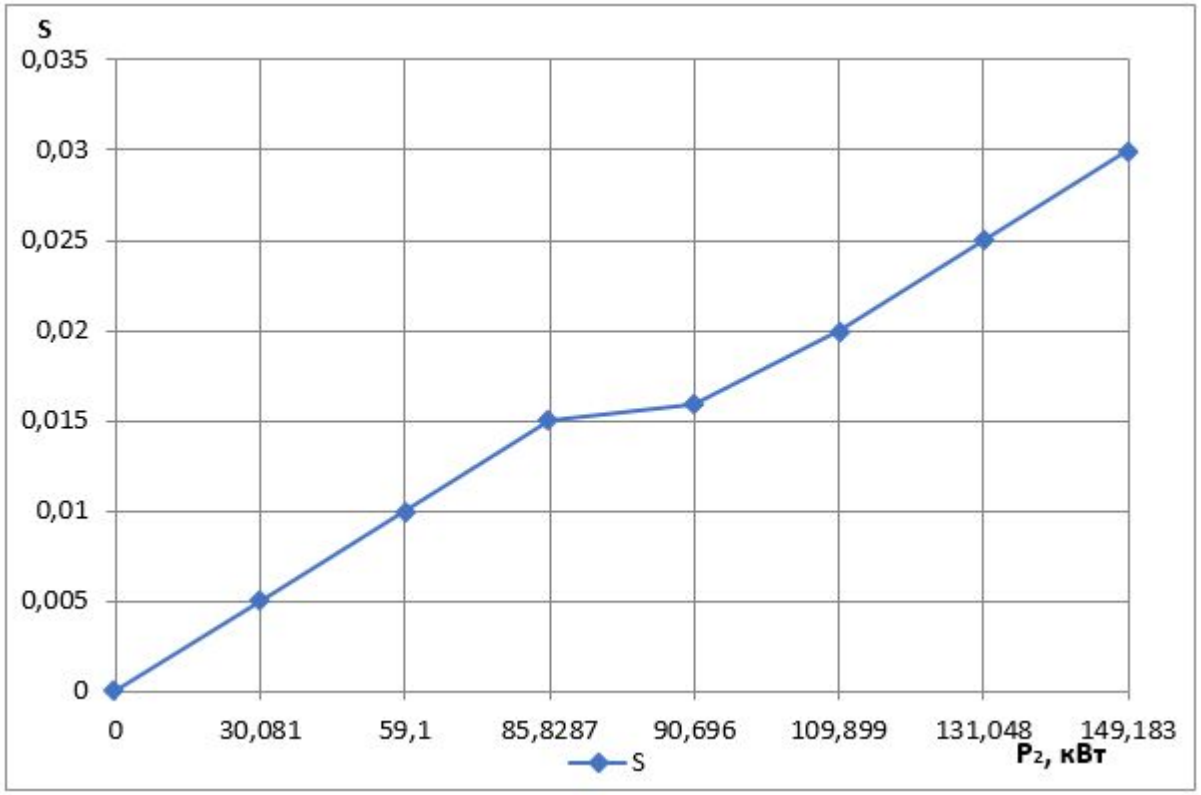

Рис. 5. Зависимость $S = f(\mathrm{P}_2)$

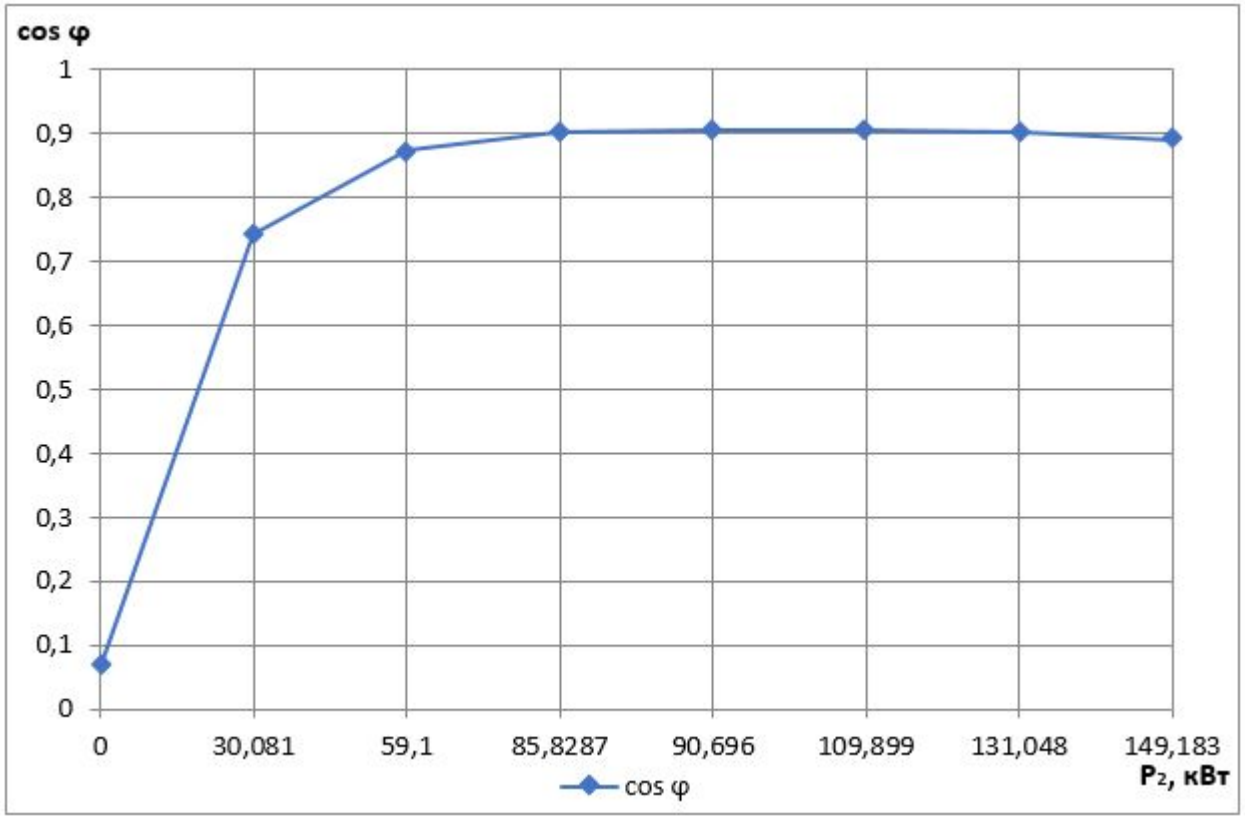

Рис. 6. Зависимость $\cos\phi = f(\mathrm{P}_2)$.

8. Расчёт пусковых характеристик

Таблица 3 – Расчет токов в пусковом режиме асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с учетом влияния эффекта вытеснения тока

№ п/п	Расчетная формула	Размер-ность	Скольжение S					
			1	0,8	0,5	0,2	0,1	$s_{кр}$ =0,09
1	$\xi = 63{,}61 h_c \sqrt{s}$	-	1,87	1,673	1,322	0,836	0,591	0,561
2	$\phi = \phi(\xi)$	-	0,73	0,5	0,21	0,044	0,011	0,00882
3	$h_r = \frac{h_c}{1+\phi}$	мм	0,017	0,0196	0,024	0,0282	0,0291	0,029143
4	$k_r = \frac{q_c}{q_r}$	-	1,596	1,397	1,153	1,017	0,991	0,989
5	$K_R = 1 + \frac{r_c}{r_2}(k_r - 1)$	-	1,423	1,281	1,108	1,012	0,993	0,9923
6	$r'_{2\xi} = K_R \cdot r'_2$	Ом	0,0923	0,083	0,072	0,066	0,0645	0,0644
7	$k_Д = \phi'(\xi)$	-	0,8	0,84	0,92	0,96	0,98	0,982
8	$\lambda_{П2\xi} = \lambda_{П2} - \Delta\lambda_{П2\xi}$	-	2,76	2,809	2,905	2,954	2,978	2,98
9	$K_X = \frac{\lambda_{П2\xi} + \lambda_{Л2} + \lambda_{Д2}}{\lambda_{П2} + \lambda_{Л2} + \lambda_{Д2}}$	-	0,952	0,962	0,981	0,99	0,995	0,9957
10	$x'_{2\xi} = K_X \cdot x'_2$	Ом	0,3963	0,4	0,408	0,412	0,414	0,41433
11	$R_П = r_1 + c_{1П}\frac{r'_{2\xi}}{S}$	Ом	0,191	0,203	0,243	0,431	0,753	0,82486
12	$X_П = x_1 + c_{1П} \cdot x'_{2\xi}$	Ом	0,7768	0,781	0,789	0,793	0,7949	0,79512
13	$I'_2 = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{R_П^2 + X_П^2}}$	А	475,04	471,03	460,27	421,03	347,076	331,676
14	$I_{1П} = \frac{I_2' \cdot \sqrt{R_П^2 + (X_П + x_{12п})^2}}{c_{1п} \cdot x_{12п}}$	А	483,75	479,76	468,98	429,12	353,911	338,248

8. Расчёт пусковых характеристик(продолжение)

Таблица 4 – Расчет токов в пусковом режиме асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с учетом влияния эффекта вытеснения тока и насыщения от полей рассеяния

№ п/п	Расчетная формула	Размер-ность	Скольжение S					
			1	0,8	0,5	0,2	0,1	$S_{кр}$=0,09
1	$k_{нас}$	-	1,35	1,30	1,20	1,10	1,05	1,08
2	$F_{п.ср} = 0.7\frac{I_1 \cdot k_{нас} \cdot u_n}{a}\left(k_\beta{}' + k_{y1} \cdot k_{об1}\frac{Z_1}{Z_2}\right)$	А	5492,48	5245,34	4733,013	3969,855	3125,27	3072,294
3	$B_{\Phi\delta} = \frac{F_{п.ср} \cdot 10^{-6}}{1{,}6 \cdot \delta \cdot C_N}$	Тл	3,18	3,038	2,741	2,299	1,81	1,779
4	$k_\delta = f(B_{\Phi\delta})$	-	0,7	0,72	0,75	0,85	0,886	0,89
5	$c_{э1} = (t_{z1} - b_{ш1}) \cdot (1 - k_\delta)$	мм	3,42	3,19	2,85	1,71	1,3	1,254
6	$\lambda_{п1нас} = \lambda_{п1} - \Delta\lambda_{п1нас}$	-	1,42	1,4296	1,446	1,513	1,543	1,5465
7	$\lambda_{Д1нас} = k_\delta \cdot \lambda_{Д1}$	-	0,823	0,847	0,882	0,9995	1,042	1,046
8	$x_{1нас} = x_1\frac{\sum\lambda_{1нас}}{\sum\lambda_1}$	Ом	0,3223	0,3252	0,3297	0,3455	0,3517	0,3524
9	$c_{п1нас} = 1 + \frac{x_{1нас}}{x_{12п}}$	-	1,0148	1,0149	1,015	1,0158	1,016	1,0162
10	$c_{э2} = (t_{z2} - b_{ш2}) \cdot (1 - k_\delta)$	мм	4,74	4,424	3,95	2,37	1,8012	1,738

Окончание табл. 4

11	$\lambda_{n2\xi нас} = \lambda_{n2\xi} - \Delta\lambda_{n2нас}$	-	2,41	2,46	2,567	2,668	2,7234	2,73
12	$\lambda_{Д2нас} = k_{\delta} \cdot \lambda_{Д2}$	-	0,889	0,914	0,952	1,079	1,1249	1,13
13	$x'_{2\xi нас} = x'_2 \frac{\sum \lambda_{2\xi нас}}{\sum \lambda_2}$	Ом	0,336	0,3425	0,3544	0,3731	0,3814	0,3823
14	$R_{п.нас} = r_1 + c_{п1нас} \cdot \frac{r'_{2\xi}}{s}$	Ом	0,191	0,203	0,243	0,4308	0,752	0,8243
15	$X_{п.нас} = x_{1нас} + c_{п1нас} \cdot x'_{2\xi нас}$	Ом	0,663	0,673	0,689	0,7245	0,7392	0,741
16	$I'_{2нас} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{R^2_{п.нас} + X^2_{п.нас}}}$	А	550,624	540,792	519,7862	450,816	360,287	342,863
17	$I_{1нас} = \frac{I'_{2нас}\sqrt{R^2_{п.нас} + (X_{п.нас} + x_{12п})^2}}{c_{п1нас} \cdot x_{12п}}$	А	559,127	549,3075	528,2644	458,6125	366,7918	349,1073
18	$k'_{нас} = \frac{I_{1нас}}{I_{1п}}$	-	1,156	1,145	1,126	1,069	1,0364	1,032
19	$I_{1*} = \frac{I_{1нас}}{I_{1ном}}$	-	5,98	5,876	5,65	4,905	3,9233	3,7341
20	$M_* = \left(\frac{I'_{2нас}}{I'_{2ном}}\right)^2 K_R \frac{s_{ном}}{s}$	-	0,89	0,9695	1,2395	2,1285	2,669	2,682

Критическое скольжение: $s_{кр} = \frac{r'_{2\xi}}{\frac{x_{1нас}}{c_{1пнас}} + x'_{2\xi нас}} = \frac{0{,}0650735}{\frac{0{,}34731}{1{,}01593} + 0{,}376} = 0{,}09$

8. Расчёт пусковых характеристик (графики)

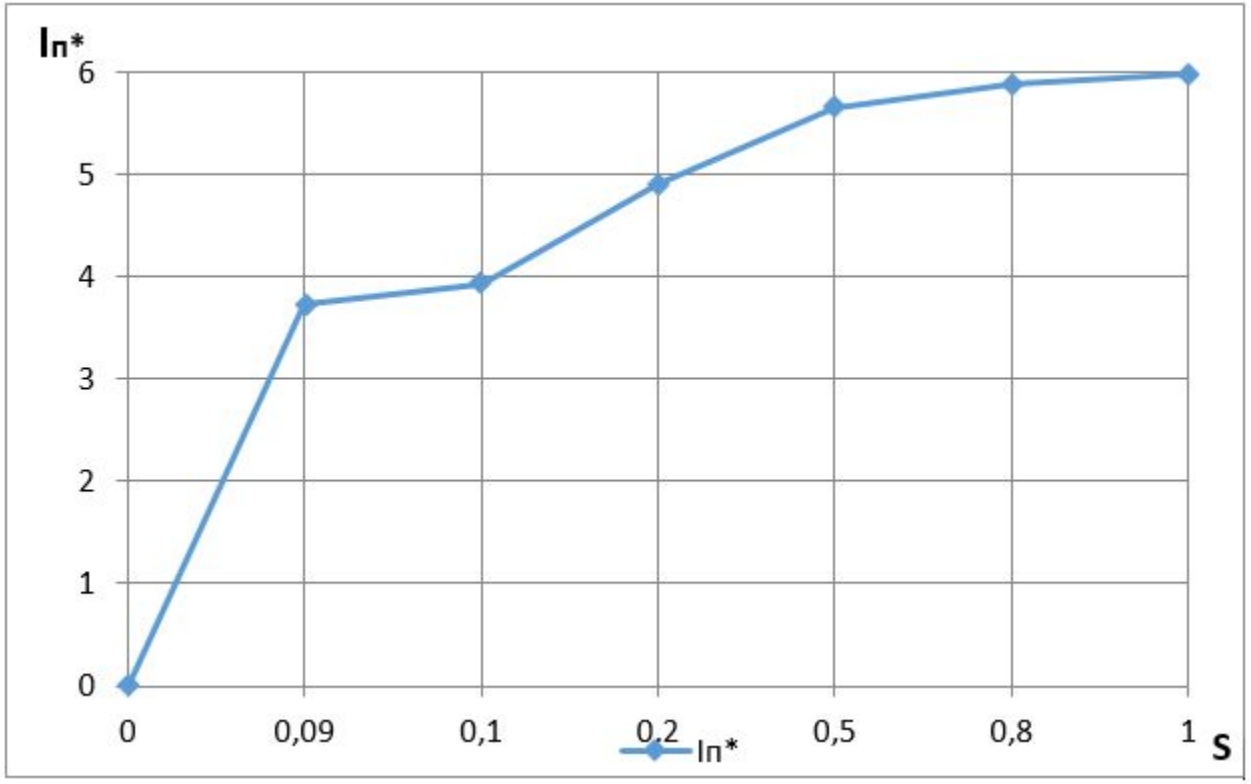

Рис. 7. – Зависимость $I_{п*} = f(s)$

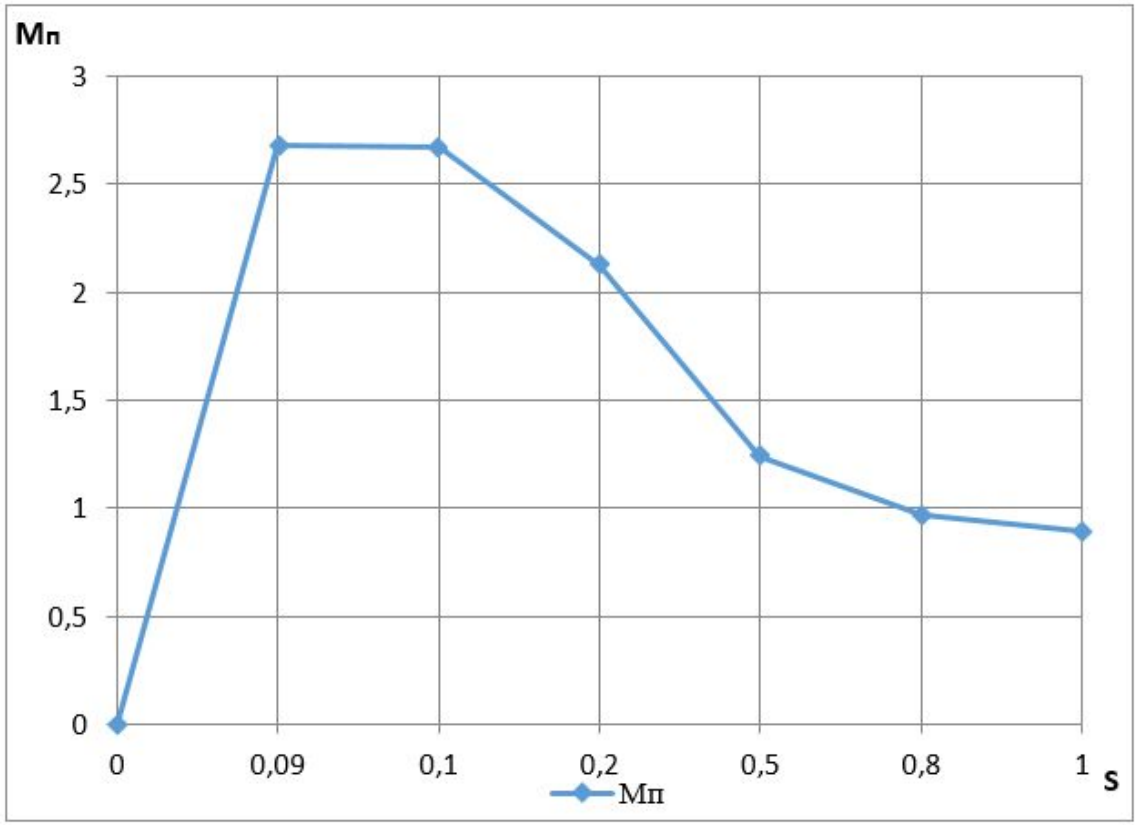

Рис. 8. – Зависимость $М_{п*} = f(s)$

9. Тепловой расчёт

- Превышение температуры внутренней поверхности сердечника статора над температурой воздуха внутри двигателя: $\Delta\nu_{\text{пов1}} = K\dfrac{P'_{\text{э.п1}} + P_{\text{ст.осн}}}{\pi \cdot D \cdot l_1 \cdot \alpha_1} = 14{,}7951^{\circ}\text{C}$
- Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статора:

$$\Delta\nu_{\text{из.п1}} = \frac{P'_{\text{э.п1}}}{Z_1 \cdot \text{П}_{\text{П1}} \cdot l_1}\left(\frac{b_{\text{из.п1}}}{\lambda_{\text{экв}}} + \frac{b_1 + b_2}{1{,}6\lambda'_{\text{экв}}}\right) = 3{,}612^{\circ}\text{C}$$

- Перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей: $\Delta\nu_{\text{из.л1}} = \dfrac{P'_{\text{э.л1}}}{2 \cdot Z_1 \cdot \text{П}_{\text{Л1}} \cdot l_{\text{л1}}}\left(\dfrac{b_{\text{из.л1}}}{\lambda_{\text{экв}}} + \dfrac{h_{\text{П1}}}{12\lambda'_{\text{экв}}}\right) = 1{,}1596^{\circ}\text{C}$
- Превышение температуры лобовых частей над температурой воздуха внутри двигателя:

$$\Delta\nu_{\text{пов.л1}} = \frac{\text{К} \cdot \text{P}'_{\text{э.л1}}}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot l_{\text{выл}} \cdot a_1} = 12{,}251^{\circ}C$$

- Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри двигателя: $\Delta\nu'_1 = \dfrac{(\Delta\nu_{\text{пов1}} + \Delta\nu_{\text{из.п1}})2 \cdot l_1 + (\Delta\nu_{\text{из.л1}} + \Delta\nu_{\text{пов.л1}})2 \cdot l_{\text{л1}}}{l_{\text{ср1}}} = 15{,}5463^{\circ}\text{C}$
- Превышение температуры воздуха внутри двигателя над температурой окружающей среды:

$$\Delta\nu_{\text{в}} = \frac{\sum \text{P}'_{\text{в}}}{s_{\text{кор}} \cdot \alpha_{\text{в}}} = 64{,}716^{\circ}\text{C}$$

- Среднее превышение температуры обмотки статора над окружающей средой: $\Delta\nu_1 = \Delta\nu'_1 + \Delta\nu_{\text{в}} = 80{,}2623^{0}\text{C}$
- Требуемый для охлаждения расход воздуха: $Q_{\text{в}} = \dfrac{k_m \sum \text{P}'_{\text{в}}}{1100\Delta\lambda_{\text{в}}} = 0{,}389\ \text{м}^3/\text{с}$
- Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором: $Q'_{\text{в}} = 0{,}6 \cdot D_a^3 \cdot \dfrac{n}{100} = 0{,}7511\ \text{м}^3/\text{с}$
- Выполняется условие: $Q'_{\text{в}} > Q_{\text{в}}$ . . Нагрев частей двигателя находится в допустимых пределах. Вентилятор обеспечивает необходимый расход воздуха.

10. Чертеж асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Чертеж [2] асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в разрезе приведён на рис. 9.

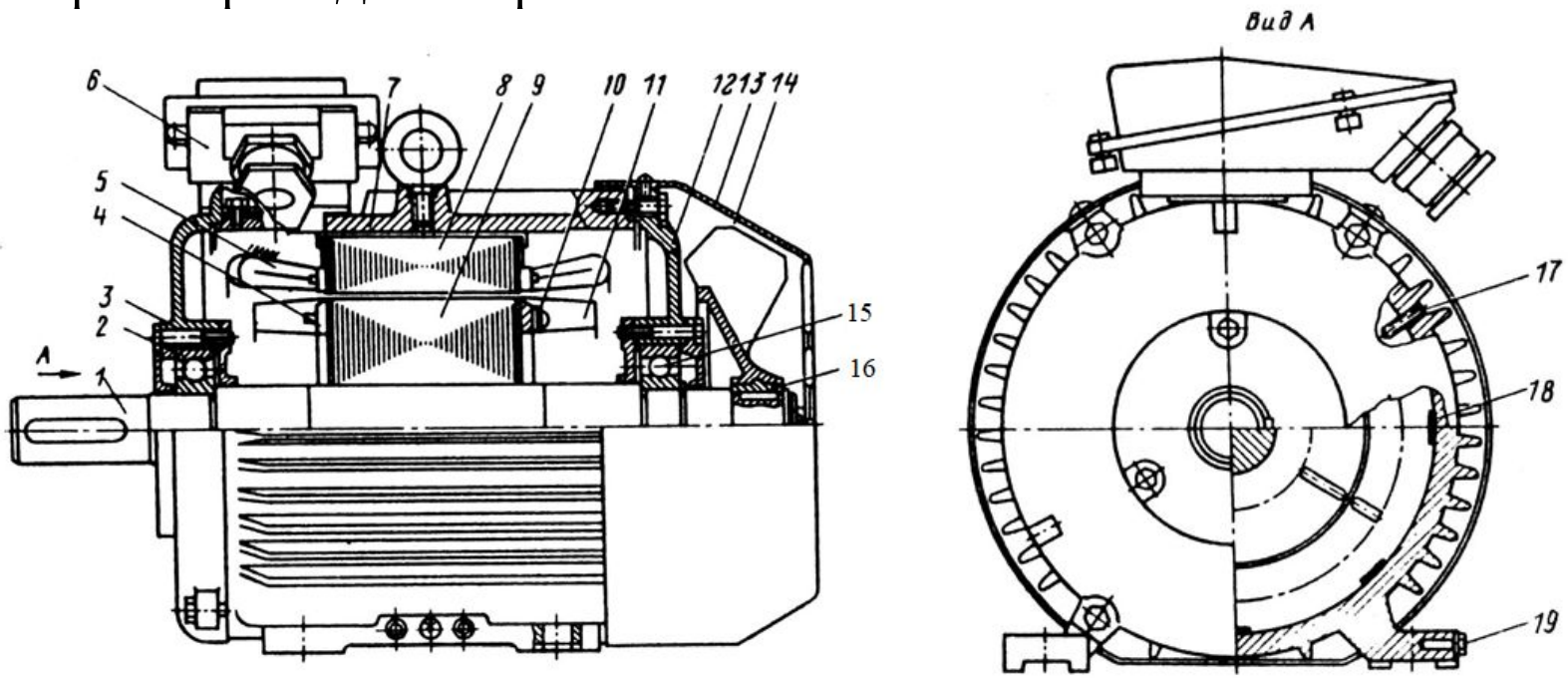

Рис. 9 – Чертёж проектируемого двигателя серии 4А

(1 — вал; 2, 15 — подшипники; 3, 12 — подшипниковые шиты; 4 — короткозамыкающие кольца ротора; 5 — лобовые части обмотки статора; 6 — коробка выводов; 7 — корпус; 8 — сердечник статора; 9 — сердечник ротора; 10 — балансировочные грузы; 11 — вентиляционные лопатки ротора; 13 — кожух вентилятора; 14 — вентилятор; 16 — втулки вентилятора; 17 — сто порные винты; 18 — скобы крепления сердечника статора; 19 — болты заземления)

Заключение

В данном курсовом проекте был спроектирован асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. В результате расчета были получены основные показатели для двигателя заданной мощности, которые удовлетворяют допустимым значением ГОСТа. В частности, был произведен расчет главных размеров двигателя, выбрана и рассчитана обмотка статора, рассчитан ротор, произведен расчёт и проверка магнитной цепи двигателя, рассчитаны потери составлены рабочие и пусковые характеристики. В заключение был произведен тепловой и вентиляционный расчет.