







## Содержание

Введение.....	6
1 Исходные данные.....	7
2 Размеры, конфигурация, материал	
2.1 Главные размеры.....	8
2.2 Сердечник статора.....	9
3 Обмотка статора	
3.1 Расчет обмотки статора.....	11
3.2 Расчет размеров зубцовой зоны статора .....	12
4 Обмотка короткозамкнутого ротора	
4.1 Размеры овальных полузакрытых пазов.....	18
4.2 Размеры короткозамкнутого кольца.....	19
5 Расчет магнитной цепи	
5.1 МДС для воздушного зазора.....	21
5.2 МДС для зубцов при трапецеидальных полузакрытых пазах статора.....	21
5.3 МДС для зубцов при овальных полузакрытых пазах ротора.....	22
5.4 МДС для спинки статора.....	22
5.5 МДС для спинки ротора.....	22
5.6 Параметры магнитной цепи.....	23
6 Активные и индуктивные сопротивления обмоток	
6.1 Сопротивление обмотки статора.....	24
6.2 Сопротивление обмотки короткозамкнутого ротора.....	26
6.3 Сопротивление обмоток преобразованной схемы замещения двигателя.....	28
7 Режимы холостого хода и номинальный	
7.1 Расчет параметров холостого хода.....	30
7.2 Расчет параметров номинального режима.....	31
8 Рабочие характеристики.....	35
9 Максимальный момент	

9.1	Расчет максимального момента.....	37
10	Начальный пусковой ток и начальный пусковой момент	
10.1	Овальный полузакрытый паз ротора.....	39
10.2	Расчет пускового тока и момента .....	40
11	Тепловой и вентиляционный расчеты	
11.1	Тепловой расчет.....	43
11.2	Вентиляционный расчет.....	46
12	Масса двигателя и динамический момент инерции ротора.....	47
13	Механический расчет вала	
13.1	Расчет вала на жесткость.....	48
13.2	Определение критической частоты вращения.....	49
13.3	Расчет вала на прочность .....	50
	Заключение.....	51
	Список литературы.....	52
	Приложение 1.....	53
	Приложение 2.....	54

## Введение

Асинхронные двигатели – наиболее распространенный вид электрических машин, потребляющий в настоящее время около 40% всей вырабатываемой электроэнергии. Их Установленная мощность постоянно возрастает.

Асинхронные двигатели широко применяются в приводах металлообрабатывающих, деревообрабатывающих и других станков, кузнечно-прессовых, ткацких, швейных, грузоподъемных, землеройных машин, вентиляторов, насосов, компрессоров, центрифуг, в лифтах, в ручном электроинструменте, в бытовых приборах и т.д. Практически нет отрасли техники и быта, где не использовались бы асинхронные двигатели.

Потребности народного хозяйства удовлетворяются главным образом двигателями основного исполнения единых серий общего назначения, т.е. применяемых для привода механизмов, не предъявляющих особых требований к пусковым характеристикам, скольжению, энергетическим показателям, шуму и т.п. Вместе с тем в единых сериях предусматривают также электрические и конструктивные модификации двигателей, модификации для разных условий окружающей среды, предназначенные для удовлетворения дополнительных специфических требований отдельных видов приводов и условий их эксплуатации. Модификации создаются на базе основного исполнения серий с максимально возможным использованием узлов и деталей этого исполнения.

В некоторых приводах возникают требования, которые не могут быть удовлетворены двигателями единых серий. Для таких приводов созданы специализированные двигатели, например электробуровые, краново-металлургические и др.

## 1 Исходные данные

Номинальный режим работы.....	Продолжительный
Высота оси вращения $h$ , мм.....	160
Исполнение ротора.....	Короткозамкнутый
Номинальная отдаваемая мощность $P_2$ , кВт.....	18,5
Количество фаз статора $m$ .....	3
Способ соединения фаз статора.....	$\Delta/Y$
Частота сети $f$ , Гц.....	50
Номинальное линейное напряжение $U$ , В.....	220/380
Синхронная частота вращения $n_1$ , об/мин.....	3000
Степень защиты от внешних воздействий.....	IP44
Способ охлаждения.....	IC0141
Исполнение по способу монтажа.....	IP1001
Климатические условия и категория размещения.....	У3
Форма выступающего конца вала.....	Цилиндрическая
Способ соединения с приводным механизмом.....	Упругая муфта
Количество пар полюсов $p$ .....	2
Расчет ведем по [1]	

## 2 Размеры, конфигурация, материал

### 2.1 Главные размеры

#### 2.1.1 Внешний диаметр сердечника статора по таблице 8.6

$$D_A = 278 \text{ мм.}$$

#### 2.1.2 Внутренний диаметр сердечника статора (8.2)

$$D = k_D \cdot D_A = 0,52 \cdot 278 \approx 145 \text{ мм,}$$

где  $k_D = 0,52$  по таблице 8.7.

#### 2.1.3 Полусное деление (8.3)

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p} = \frac{3,14 \cdot 145}{2} = 227,77 \text{ мм.}$$

#### 2.1.4 Расчетная мощность (8.4)

$$P' = \frac{k_E P_2}{\eta' \cos \varphi'} = \frac{0,98 \cdot 18,5 \cdot 10^3}{0,87 \cdot 0,87} = 23564,54 \text{ Вт,}$$

где  $k_E = 0,98$  – коэффициент по рисунку 8.20;

$\eta' = 87\%$  – среднее значение КПД (рисунок 8.27 а);

$\cos \varphi' = 0,87$  – среднее значение  $\cos \varphi$  (рисунок 8.27 а).

#### 2.1.5 Расчетная длина сердечника статора (8.5)

$$\Omega = \frac{4 \cdot \pi \cdot f_1}{2p} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 314,16 \text{ рад}^{-1}.$$

#### 2.1.6 Расчетная длина сердечника статора (8.6)

$$\ell_1 = \frac{P' \cdot 10^9}{D^2 \cdot A \cdot \Omega \cdot B_6 \cdot k_{o61} \cdot k_B} = \frac{23564,54 \cdot 10^9}{145^2 \cdot 36000 \cdot 314,16 \cdot 0,74 \cdot 0,96 \cdot 1,11} \approx 130 \text{ мм,}$$



где  $k_{об1}=0,96$  – предварительный обмоточный коэффициент для однослойной обмотки;

$k_B=1,11$  – коэффициент формы поля;

$A'_1=36000$  А/м – предварительная электромагнитная нагрузка (рисунок 8.22 б);

$B'_6=0,74$  Тл – предварительная индукция (рисунок 8.22 б).

2.1.7 Определяем отношение  $\lambda$

$$\lambda = \ell_1 / \tau = 130 / 227,77 = 0,57.$$

Что меньше предельно допустимого значения  $\lambda_{max}=0,9$  (рисунок 8.25).

## 2.2 Сердечник статора

Сердечник собирают из отдельных отштампованных листов электротехнической стали марки 2013, толщиной 0,5 мм, с изолированием листов оксидированием. Коэффициент заполнения сталью  $k_C=0,97$ . Принимаем форму паза трапецеидальную полузакрытую. Обмотка однослойная всыпная концентрическая

### 2.2.1 Максимальное число пазов (8.16)

$$Z_{1MIN} = \frac{\pi \cdot D}{t_{1MIN}} = \frac{3,14 \cdot 145}{14,4} = 31,67;$$
$$Z_{1MAX} = \frac{\pi \cdot D}{t_{1MAX}} = \frac{3,14 \cdot 145}{17,5} = 26,05,$$

где  $t_{1MAX}=17,5$  – максимальная величина зубцового деления статора;

$t_{1MIN}=14,4$  – минимальная величина зубцового деления (рисунок 8.26).

### 2.2.2 Количество пазов сердечника статора

$$Z_1 = 30.$$

### 2.2.3 Количество пазов на полюс и фазу

$$q_1 = \frac{Z_1}{2p \cdot m} = \frac{30}{2 \cdot 3} = 5.$$

2.2.4 Зубцовое деление по внутреннему диаметру статора

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D}{2p \cdot m \cdot q_1} = \frac{3,14 \cdot 145}{2 \cdot 3 \cdot 5} = 15,18 \text{ мм.}$$

### 3 Обмотка статора

#### 3.1 Расчет обмотки статора

Принимаем однослойную выпянутую концентрическую обмотку и проводов марки ПЭТВ, укладываемую в трапециевидные полузакрытые пазы

##### 3.1.1 Номинальный фазный ток (8.18)

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_2 \cdot 10^3}{m \cdot U \cdot \eta' \cdot \cos\varphi'} = \frac{18,5 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,87 \cdot 0,87} = 36,43 \text{ А.}$$

##### 3.1.2 Количество эффективных проводников в пазу (9.16)

$$u_{\text{П}} = \frac{\pi \cdot D \cdot A' \cdot a}{I_{\text{НОМ}} \cdot Z_1} \cdot 10^{-3} = \frac{3,14 \cdot 145 \cdot 36000 \cdot 1}{36,43 \cdot 30} \cdot 10^{-3} \approx 15,$$

где  $a=1$  – количество параллельных ветвей обмотки статора (глава 3).

##### 3.1.3 Количество витков в обмотке (8.20)

$$w_1 = \frac{u_{\text{П}} \cdot Z_1}{2a \cdot m} = \frac{15 \cdot 30}{2 \cdot 1 \cdot 3} \approx 75.$$

##### 3.1.4 Магнитный поток (8.22)

$$\Phi = \frac{k_E U}{4 \cdot k_B \cdot w_1 \cdot k_{\text{об1}} \cdot f_1} = \frac{0,98 \cdot 220}{4 \cdot 1,11 \cdot 75 \cdot 0,911 \cdot 50} = 1,42 \cdot 10^{-2},$$

где  $k_{\text{об1}} = k_{\text{р1}} \cdot k_{\text{у1}} = 0,958 \cdot 0,95 = 0,911$  – уточненный обмоточный коэффициент.

$k_{\text{р1}} = 0,958$  – коэффициент распределения обмотки (таблица 3.16)

$k_{\text{у1}} = 0,95$  – коэффициент укорочения.

##### 3.1.5 Уточненная индукция в воздушном зазоре (8.23)

$$B_{\delta} = \frac{p \cdot \Phi \cdot 10^6}{D \cdot l_{\delta}} = \frac{1 \cdot 1,42 \cdot 10^{-2} \cdot 10^6}{145 \cdot 130} = 0,754 \text{ Тл.}$$

##### 3.1.6 Уточненная линейная нагрузка статора (8.21)

$$A = \frac{2 \cdot I_{\text{НОМ}} \cdot w_1 \cdot m}{\pi \cdot D \cdot a} = \frac{2 \cdot 36,43 \cdot 75 \cdot 3}{3,14 \cdot 145 \cdot 1} = 35990,14 \text{ А/м.}$$

3.1.7 Предварительная плотность тока в обмотке статора (8.25)

$$J_1 = \frac{AJ_1}{A} = \frac{3,05 \cdot 10^{11}}{35990,14 \cdot 10^6} = 8,47 \text{ А/мм}^2,$$

где  $AJ = 3,05 \cdot 10^{11}$  – по рисунку 8.27 б.

3.1.8 Предварительная площадь поперечного сечения эффективного проводника (8.24)

$$q_{\text{ЭФ}} = \frac{I_{\text{НОМ}}}{a \cdot J_1} = \frac{36,43}{1 \cdot 8,47} = 4,3 \text{ мм}^2.$$

3.1.9 Предварительное сечение элементарного проводника

$$q_{\text{ЭЛ}} = \frac{q_{\text{ЭФ}}}{n_{\text{ЭЛ}}} = \frac{4,3}{7} = 0,61 \text{ мм}^2,$$

где  $n_{\text{ЭЛ}} = 7$  – количество элементарных проводов в эффективном.

3.1.10 Выбор провода

По приложению 3 находим ближайший стандартный провод

$$d/d' = 1,32/1,4 \text{ мм}; \quad S = 1,368 \text{ мм}^2.$$

3.1.11 Площадь поперечного сечения эффективного проводника

$$q_{\text{ЭФ.СР}} = q_{\text{ЭЛ}} \cdot n_{\text{ЭЛ}} = 1,368 \cdot 7 = 9,58 \text{ мм}^2.$$

3.1.12 Предварительная плотность тока в обмотке статора (8.25)

$$J_1 = \frac{I_{\text{НОМ}}}{a \cdot q_{\text{ЭФ.СР}}} = \frac{36,43}{1 \cdot 1,368} = 3,8 \text{ А/мм}^2,$$

3.2 Расчет размеров зубцовой зоны статора

3.2.1 Ширина зубцов (8.37)

$$b_{z1} = \frac{t_1 B_{\delta} l_{\delta}}{k_C B_{31} l_{ст1}} = \frac{15,18 \cdot 0,754 \cdot 130}{0,97 \cdot 1,8 \cdot 130} = 6,6 \text{ мм},$$

где  $B_{31}=1,8$  Тл – среднее значение магнитной индукции в зубцах статора (таблица 9.14).

### 3.2.2 Высота спинки статора (8.28)

$$h_A = \frac{\Phi \cdot 10^6}{2k_C l_1 B_A} = \frac{1,42 \cdot 10^{-2} \cdot 10^6}{2 \cdot 0,97 \cdot 130 \cdot 1,6} = 35,2 \text{ мм},$$

где  $B_A=1,6$  Тл – среднее значение магнитной индукции в спинке статора (таблица 8.10).

### 3.2.3 Высота паза (8.38)

$$h_{\Pi} = \frac{D_A - D}{2} - h_{A1} = \frac{278 - 145}{2} - 35,2 = 31,3 \text{ мм}.$$

### 3.2.4 Большая ширина паза (8.39)

$$b_2 = \frac{\pi(D + 2h_{\Pi})}{Z_1} - b_{z1} = \frac{3,14(145 + 2 \cdot 31,3)}{30} - 6,6 = 15,1 \text{ мм}.$$

### 3.2.5 Меньшая сторона паза (8.40)

$$b_1 = \frac{\pi(D + 2h_{\text{III}} - b_{\text{III}}) - Z_1 b_{z1}}{Z_1 - \pi} = \frac{\pi(145 + 2 \cdot 1 - 3,7) - 30 \cdot 6,6}{30 - 3,14} = 9,4 \text{ мм},$$

где  $b_{\text{III}}=3,7$  мм – ширина шлица (таблица 8.14).

### 3.2.6 Размеры паза в свету с учетом припуска на сборку (8.42)

$$b_1 = b_1 - \Delta b_{\Pi} = 9,4 - 0,2 = 9,2 \text{ мм};$$

$$b_2 = b_2 - \Delta b_{\Pi} = 15,1 - 0,2 = 14,9 \text{ мм};$$

$$h_1 = h_1 - \Delta h_{\Pi} = 27,5 - 0,2 = 27,3 \text{ мм},$$

где  $\Delta b_{\Pi} = \Delta h_{\Pi} = 0,2$  – припуски на штамповку (таблица 8.12).

### 3.2.7 Площадь поперечного сечения корпусной изоляции (9.31)

$$S_{\text{из}} = b_{\text{из}}(2h_{\text{п}} + b_1 + b_2) = 0,4(2 \cdot 31,3 + 9,4 + 15,1) = 34,84 \text{ мм}^2,$$

где  $b_{\text{из}} = 0,4$  мм – односторонняя толщина корпусной изоляции по таблице 3.1.

### 3.2.8 Площадь поперечного сечения паза для размещения обмотки (8.48)

$$S'_{\text{п}} = \frac{b'_1 + b'_2}{2} h'_{\text{п.к}} - (S_{\text{из}} + S_{\text{пр}}) = \frac{9,2 + 14,9}{2} 27,3 - (34,84 + 14,5) = 279,625 \text{ мм}^2,$$

где  $h'_{\text{п.к}} = h'_{\text{п}} - h_{\text{ш}} - \frac{b_2 - b_{\text{ш}}}{2} = 31,3 - 1 - \frac{9,4 - 3,7}{2} = 27,5$ ;

$S_{\text{пр}} = 14,5$  – площадь поперечного сечения прокладок.

### 3.2.9 Коэффициент заполнения паза (9.35)

$$k_3 = \frac{u_{\text{п}} \cdot n_{\text{эл}} \cdot (d')^2}{S'_{\text{п}}} = \frac{15 \cdot 7 \cdot (1,4)^2}{279,625} = 73,57\%.$$

## 4 Расчет короткозамкнутого ротора

### 4.1 Сердечник ротора

Сердечник ротора собирают из отдельных отштампованных листов электротехнической стали марки 2013 толщиной 0,5 мм.

#### 4.1.1 Коэффициент заполнения сталью

$$k_c=0,97.$$

#### 4.1.2 Воздушный зазор между статором и ротором (рисунок 8.31)

$$\delta=0,4 \text{ мм.}$$

#### 4.1.3 Внешний диаметр ротора

$$D_2=D_1-2\cdot\delta=145-2\cdot0,4=144,2 \text{ мм.}$$

#### 4.1.4 Внутренний диаметр ротора (8.102)

$$D_j=D_B\approx 0,23D_A=0,23\cdot 278=60 \text{ мм.}$$

#### 4.1.5 Длина магнитопровода ротора

$$\ell_2=\ell_1=130 \text{ мм.}$$

#### 4.1.7 Число пазов ротора (таблица 8.16)

$$Z_2=38.$$

#### 4.1.8 Зубцовое деление ротора

$$t_{z2}=\pi D_2/Z_2=3,14\cdot 144,2/38=11,92.$$

#### 4.1.9 Ток в обмотке ротора (8.57)

$$I_2 =k_i I_{1ном} \nu_i =0,896 \cdot 36,43 \cdot 10,79 =352,21 ,$$

где  $k_i=0,2+0,8\cos\varphi=0,2+0,8\cdot 0,87=0,896$  (8.58) – коэффициент, учитывающий влияние тока намагничивания на отношение  $I_1/I_2$ ;

$$v_i = \frac{2m_1\omega_1k_{об1}}{Z_2k_{ск}} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 75 \cdot 0,911}{38 \cdot 1} = 10,79 \quad (8.66) \text{ – коэффициент приведения}$$

ТОКОВ.

4.1.10 Предварительная площадь поперечного сечения стержня (8.68)

$$q_c = I_2/J_2 = 352,21/2,9 = 121,45.$$

4.2 Размеры трапецеидальных закрытых пазов

4.2.1 Размеры шлица (рисунок 8.40,б)

Принимаем  $b_{ш} = 1,5$  мм;  $h_{ш} = 0,7$  мм;  $h'_{ш} = 0,3$  мм.

4.2.2 Допустимая ширина зубца (8.75)

$$b_{з2доп} = \frac{B_6 t_{z2} l_d}{B_{z2} k_c l_{ст2}} = \frac{0,754 \cdot 11,92 \cdot 130}{1,8 \cdot 0,97 \cdot 130} = 5,1 \text{ мм.}$$

4.2.3 Большой радиус паза (8.76)

$$b_1 = \frac{\pi(D_2 - 2h_{ш} - 2h'_{ш}) - z_2 b_{z2}}{z_2 + \pi} = \frac{3,14 \cdot (144,2 - 2 \cdot 0,7 - 2 \cdot 0,3) - 38 \cdot 5,1}{38 + 3,14} = 6,1 \text{ мм.}$$

4.2.4 Меньший радиус паза (8.77)

$$b_2 = \sqrt{\frac{b_1^2(z_2/\pi + \pi/2) - 4q_c}{z_2/\pi + \pi/2}} = \sqrt{\frac{6,1^2 \cdot (38/3,14 + 3,14/2) - 4 \cdot 121,45}{38/3,14 - 3,14/2}} = 1,5 \text{ мм.}$$

4.2.5 Расстояние между центрами радиусов (8.78)

$$h_1 = (b_1 - b_2) \cdot z_2 / (2 \cdot \pi) = (6,1 - 1,5) \cdot 38 / (2 \cdot 3,14) = 27,8 \text{ мм.}$$

4.2.6 Уточненная ширина зубцов ротора (8.18)

$$b'_{z2} = \pi \frac{D_2 - 2(h_{ш} + h'_{ш})b_1 - b_1}{z_2} = 3,14 \cdot \frac{144,2 - 2 \cdot (0,7 + 0,3) \cdot 6,1 - 6,1}{38} = 5,15 \text{ мм;}$$

$$b''_{z2} = \pi \frac{D_2 - 2h_{ш2} + b_2}{z_2} - b_2 = 3,14 \cdot \frac{144,2 - 2 \cdot 32,6 + 1,5}{38} - 1,5 = 5,16 \text{ мм}$$



#### 4.2.7 Полная высота паза

$$h_{п2} = h'_{ш} + h_{ш} + b_1/2 + h_1 + b_2/2 = 0,3 + 0,7 + 6,1/2 + 27,8 + 1,5/2 = 32,6 \text{ мм.}$$

#### 4.2.8 Площадь поперечного сечения стержня (8.79)

$$q_c = \pi/8(b_1^2 + b_2^2) + 0,5(b_1 + b_2)h_1 = 3,14/8(6,1^2 + 1,5^2) + 0,5(6,1 + 1,5) \cdot 27,8 = 121,1 \text{ мм}^2.$$

#### 4.2.9 Плотность тока в стержне (8.68)

$$J_2 = I_2/q_c = 352,21/121,1 = 2,91 \text{ А/мм}^2.$$

### 4.3 Размеры короткозамыкающего кольца

#### 4.3.1 Ток в кольце (8.70)

$$I_{кл} = I_2/\Delta = 352,21/0,17 = 2132,54 \text{ А,}$$

где  $\Delta = 2 \cdot \sin(\pi p/z_2) = 2 \cdot \sin(3,14 \cdot 2/(2 \cdot 38)) = 0,17$  (8.71).

#### 4.3.2 Плотность тока в замыкающих кольцах

$$J_{кл} = 0,85 \cdot J_2 = 0,85 \cdot 2,91 = 2,47 \text{ А/мм}^2.$$

#### 4.3.3 Площадь поперечного сечения кольца (8.72)

$$q_{кл} = I_{кл}/J_{кл} = 2132,54/2,47 = 865,13 \text{ мм}^2.$$

#### 4.3.4 Высота кольца литой клетки

$$h_{кл} = 1,25 h_{п2} = 1,25 \cdot 32,6 = 41 \text{ мм}^2.$$

#### 4.3.5 Длина кольца

$$b_{кл} = q_{кл}/h_{кл} = 865,13/41 = 21 \text{ мм}^2.$$

#### 4.3.6 Средний диаметр кольца

$$D_{кл.ср} = D_2 - h_{кл} = 144,2 - 41 = 103,2 \text{ мм.}$$

## 5 Расчет магнитной цепи

### 5.1 МДС для воздушного зазора

#### 5.1.1 Коэффициент воздушного зазора (4.15)

$$k_{\delta} = \frac{t_{z1}}{t_{z1} - \gamma_1 \delta} = \frac{15,18}{15,18 - 6 \cdot 0,4} = 1,19,$$

где  $\gamma_1 = \frac{(b_{\text{ш1}}/\delta)^2}{5 + b_{\text{ш1}}/\delta} = \frac{(3,7/0,4)^2}{5 + 3,7/0,4} = 6.$

#### 5.1.2 МДС воздушного зазора (8.103)

$$F_{\delta} = \frac{2}{\mu} B_{\delta} \delta k_{\delta} = \frac{2}{1,26 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,754 \cdot 0,4 \cdot 1,19 \cdot 10^{-3} = 570,18 \text{ А.}$$

### 5.2 МДС зубцовой зоны статора

#### 5.2.1 Расчетная индукция в зубцах (8.105)

$$B'_{z1} = \frac{B_{\delta} t_{z1} l_{\delta}}{b_{z1} l_{\text{ст1}} k_{c1}} = \frac{0,754 \cdot 15,18 \cdot 130}{6,6 \cdot 130 \cdot 0,97} = 1,79 \text{ Тл.}$$

#### 5.2.2 Напряженность магнитного поля (таблица П1.7)

$$H_{z1} = 1342 \text{ А/м.}$$

#### 5.2.2 МДС зубцовой зоны статора (8.104)

$$F_{z1} = 2h_{z1} H_{z1} = 2 \cdot 31,3 \cdot 10^{-3} \cdot 1342 = 83,99 \text{ А,}$$

где  $h_{z1} = h_{\text{ш1}} = 31,3 \text{ мм.}$

### 5.3 МДС зубцовой зоны ротора

#### 5.3.1 Расчетная индукция в зубцах (8.105)

$$B'_{z2} = \frac{B_{\delta} t_{z2} l_{\delta}}{\frac{(b'_{z2} + b''_{z2})}{2} l_{\text{ст2}} k_{c2}} = \frac{0,754 \cdot 11,92 \cdot 130}{\frac{(5,15 + 5,16)}{2} \cdot 130 \cdot 0,97} = 1,8 \text{ Тл}$$

### 5.3.2 Напряженность магнитного поля (таблица П1.7)

$$H_{z2}=1386 \text{ А/м.}$$

### 5.3.3 МДС зубцовой зоны ротора (8.108)

$$F_{z2}=2h_{z2}H_{z2}=2\cdot 32,45\cdot 10^{-3}\cdot 1386=89,94 \text{ А,}$$

где  $h_{z2}=h_{п2}-0,1b_2=32,6-0,1\cdot 1,5=32,45 \text{ мм.}$

### 5.4 Коэффициент насыщения зубцовой зоны (8.115)

$$k_z = 1 + \frac{F_{z1} + F_{z2}}{F_\delta} = 1 + \frac{83,99 + 89,94}{570,18} = 1,31.$$

### 5.5 МДС ярма статора

#### 5.5.1 Высота ярма статора (8.120)

$$h_a=(D_a-D)/2-h_{п1}=(278-145)/2-31,3=35,2 \text{ мм.}$$

#### 5.5.2 Длина средней силовой линии в ярме статора (8.119)

$$L_a=\pi(D_a-h_a)/(2p)=3,14\cdot(278-35,2)/2=381,39 \text{ мм.}$$

#### 5.5.3 Индукция в ярме статора (8.117)

$$B_a = \frac{\Phi}{2h'_a l_{ст1} k_{cl}} = \frac{1,42 \cdot 10^{-2} \cdot 10^6}{2 \cdot 35,2 \cdot 130 \cdot 0,97} = 1,6 \text{ Тл,}$$

где  $h'_a=h_a=35,2 \text{ мм}$  – при отсутствии радиальных вентиляционных каналов.

#### 5.5.4 Напряженность магнитного поля (таблица П1.6)

$$H_a=1692 \text{ А/м.}$$

#### 5.5.5 МДС ярма статора (8.116)

$$F_a= L_a H_a=381,39\cdot 10^{-3}\cdot 1692=645,43 \text{ А.}$$

### 5.6 МДС ярма ротора

#### 5.6.1 Высота ярма ротора (8.124)

$$h_j = (D_2 - D_j) / 2 - h_{n2} = (144,2 - 60) / 2 - 32,6 = 9,5 \text{ мм.}$$

5.6.2 Длина средней силовой линии в ярме ротора (8.127)

$$L_j = \pi(D_j + h_j) / (2p) = 3,14 \cdot (60 + 9,5) / 4 = 109,17 \text{ мм.}$$

5.6.3 Расчетная длина ярма ротора (8.124)

$$h'_j = \frac{4 + 2p}{3,2 \cdot 2p} \left( \frac{D_2}{2} - h_{n2} \right) = \frac{4 + 2}{3,2 \cdot 2} \left( \frac{144,2}{2} - 32,6 \right) = 37,03 \text{ мм.}$$

5.6.4 Индукция в ярме ротора (8.122)

$$B_j = \frac{\Phi}{2h'_j l_{ст2} k_{с2}} = \frac{1,42 \cdot 10^{-2} \cdot 10^6}{2 \cdot 37,03 \cdot 130 \cdot 0,97} = 1,52 \text{ Тл.}$$

5.6.5 Напряженность магнитного поля (таблица П1.6)

$$H_j = 811 \text{ А/м.}$$

5.6.6 МДС ярма ротора (8.121)

$$F_j = L_j H_j = 109,17 \cdot 10^{-3} \cdot 811 = 88,5 \text{ А.}$$

5.7 Параметры магнитной цепи

5.7.1 Суммарная МДС магнитной цепи на пару полюсов (8.128)

$$F_{\Sigma} = F_{\delta} + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j = 570,18 + 83,99 + 89,94 + 645,43 + 88,5 = 1478,03 \text{ А.}$$

5.7.2 Коэффициент насыщения магнитной цепи (8.129)

$$k_{\mu} = F_{\Sigma} / F_{\delta} = 1478,03 / 570,18 = 2,59.$$

5.6.3 Намагничивающий ток (8.130)

$$I_{\mu} = \frac{2p F_{\Sigma}}{2 \cdot 0,9 m w_1 k_{\sigma 61}} = \frac{1 \cdot 1478,03}{0,9 \cdot 3 \cdot 75 \cdot 0,911} = 8,01 \text{ А.}$$

5.6.4 Намагничивающий ток в относительных единицах (8.131)

$$I_{\mu^*} = I_{\mu} / I_{1\text{HOM}} = 8,01 / 36,43 = 0,22.$$

## 6 Параметры рабочего режима

### 6.1 Активное сопротивление фазы обмотки статора

#### 6.1.1 Средняя ширина катушки (8.138)

$$b_{\text{кт}} = \frac{\pi(D + h_{\text{пл}})}{2p} \beta = \frac{3,14 \cdot (145 + 31,3)}{2} = 276,9 \text{ мм},$$

где  $\beta=1$  (для однослойной обмотки) – укорочение шага обмотки статора.

#### 6.1.2 Длина лобовой части (8.136)

$$l_{\text{пл}} = K_{\text{л}} b_{\text{кт}} + 2V = 1,2 \cdot 276,9 + 2 \cdot 10 = 352,3 \text{ мм},$$

где  $V=10$  мм. – длина вылета прямолинейной части катушек из паза от торца сердечника до начала отгиба лобовой части;

$K_{\text{л}}=1,2$  – коэффициент из таблицы 8.21.

#### 6.1.3 Средняя длина витка обмотки (8.135)

$$l_{\text{ср1}} = 2(l_{\text{пл}} + l_1) = 2 \cdot (130 + 352,3) = 964,6 \text{ мм},$$

где  $l_{\text{пл}}=l_1=130$  мм.

#### 6.1.4 Длина проводников фазы обмотки (8.134)

$$L_1 = l_{\text{ср1}} \omega_1 = 964,6 \cdot 75 = 72347,7 \text{ мм}.$$

#### 6.1.5 Активное сопротивление обмотки статора (8.132)

$$r_1 = k_{\text{R}} \rho_{115} \frac{L_1}{q_{\text{эф}} a} = 2,44 \cdot 10^{-5} \cdot 72347,7 / (9,58 \cdot 1) = 0,18 \text{ Ом},$$

где  $\rho_{115}=2,44 \cdot 10^{-5}$  ом/м – удельное сопротивление материала обмотки.

#### 6.1.6 Активное сопротивление обмотки в относительных единицах

$$r_1^* = r_1 I_{1\text{ном}} / U_{1\text{ном}} = 0,18 \cdot 36,43 / 220 = 0,031.$$

## 6.2 Активное сопротивление фазы обмотки ротора

### 6.2.1 Активное сопротивление стержня (8.169)

$$r_c = \rho_{115} \frac{\ell_2}{q_c} = 4,88 \cdot 10^{-5} \frac{130}{121,45} = 5,22 \cdot 10^{-5} \text{ Ом},$$

где  $\rho_{115} = 4,88 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{м}$  – для алюминиевого стержня.

### 6.2.2 Сопротивление участка замыкающего кольца (8.170)

$$r_{\text{кл}} = \rho_{115} \frac{\pi D_{\text{кл.ср}}}{z_2 q_{\text{кл}}} = 4,88 \cdot 10^{-5} \frac{3,14 \cdot 103,2}{38 \cdot 861} = 4,83 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}.$$

6.2.3 Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора (8.172), (8.173)

$$r'_{2'} = r_2 \frac{4m(\omega_1 k_{\text{об1}})^2}{z_2 k_{\text{ск}}} = 8,77 \cdot 10^{-5} \frac{4 \cdot 3 \cdot (75 \cdot 0,911)^2}{38 \cdot 1} = 0,129 \text{ Ом}.$$

6.2.4 Активное сопротивление обмотки ротора приведенное к обмотке статора в относительных единицах

$$r'_{2*} = \frac{r'_2 I_{1\text{ном}}}{U_{1\text{ном}}} = \frac{0,129 \cdot 36,43}{220} = 0,0214.$$

## 6.3 Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора

6.3.1 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния (8.174)

$$\lambda_{\text{д1}} = \frac{t_{z1}}{12\delta k_{\delta}} \xi = \frac{15,18 \cdot 0,98}{12 \cdot 0,4 \cdot 1,19} = 2,62,$$

где  $\xi = 2k'_{\text{ск}} k_{\beta} - k_{\text{об1}}^2 (t_{z2}/t_{z1})^2 (1 + \beta_{\text{ск}}^2) = 2 \cdot 0,75 \cdot 1 - 0,911^2 \cdot (11,92/15,18)^2 = 0,98$  (8.176);  
для  $\beta_{\text{ск}} = 0$  и  $t_{z2}/t_{z1} = 0,79$  –  $k'_{\text{ск}} = 0,75$  (рисунок 8.51, д).

### 6.3.2 Коэффициент проводимости пазового рассеяния (таблица 8.25)

$$\lambda_{\text{п1}} = \frac{h_2}{3b_1} k_{\beta} + \left( \frac{h_1}{b_1} + \frac{3h_k}{b_1 + 2b_{\text{ш}}} + \frac{h_{\text{ш1}}}{b_{\text{ш}}} \right) k'_{\beta} = \frac{26,7 \cdot 1}{3 \cdot 9,4} + \left( \frac{0}{9,4} + \frac{3 \cdot 2,85}{9,4 + 2 \cdot 3,7} + \frac{1}{3,7} \right) \cdot 1 = 1,73,$$

где  $h_2 = h_{п.к} - 2b_{из} = 27,5 - 2 \cdot 0,4 = 26,7$  мм.;  $h_k = 0,5 \cdot (b_1 - b_{ш}) = 0,5 \cdot (9,4 - 3,7) = 2,85$  мм.;  $h_1 = 0$  (проводники закреплены пазовой крышкой);  $k_\beta = k'_\beta = 1$ ;  $l'_\delta = l_\delta = 130$  мм.

### 6.3.3 Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния (8.159)

$$\lambda_{л1} = 0,34 \frac{q_1}{l'_\delta} (l_{л1} - 0,64 \cdot \beta \cdot \tau) = 0,34 \frac{5}{130} (352,3 - 0,64 \cdot 0,8 \cdot 227,77) = 3,08.$$

### 6.3.4 Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора (8.152)

$$x_1 = 15,8 \frac{f_1}{100} \left( \frac{w_1}{100} \right)^2 \frac{l'_\delta}{pq} (\lambda_{л1} + \lambda_{л1} + \lambda_{л1}) = 15,8 \frac{50}{100} \left( \frac{75}{100} \right)^2 \frac{130}{2 \cdot 5} (1,73 + 3,08 + 2,62) = 0,859 \text{ Ом.}$$

### 6.3.5 Относительное значение

$$x_{1*} = x_1 \frac{I_{ном}}{U_{ном}} = 0,859 \frac{36,43}{220} = 0,14.$$

## 6.4 Индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора

### 6.4.1 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния (8.180)

$$\lambda_{д2} = \frac{t_{z2}}{12\delta k_\delta} \xi = \frac{11,92 \cdot 1,001}{12 \cdot 0,4 \cdot 1,19} = 2,09,$$

где  $\xi = 1 + \frac{1}{5} \left( \frac{\pi p}{Z_2} \right)^2 - \frac{\Delta_z}{1 - (p/Z)^2} = 1 + \frac{1}{5} \left( \frac{3,14 \cdot 2}{38} \right)^2 - \frac{0}{1 - (2/38)^2} = 1,001$  (8.181),

где  $\Delta_z = 0$  – при закрытых пазах.

### 6.4.2 Коэффициент проводимости пазового рассеяния (таблица 8.25)

$$\lambda_{п2} = \left[ \frac{h_0}{3b_1} \left( 1 - \frac{\pi b_1^2}{8q_c} \right)^2 + 0,66 - \frac{b_{ш}}{2b_1} \right] k_d + \frac{h_{ш}}{b_{ш}} + 1,12 \frac{h'_{ш} \cdot 10^6}{I_2} =$$

$$= \left[ \frac{28,4}{3 \cdot 6,1} \left( 1 - \frac{3,14 \cdot 6,1^2}{8 \cdot 121,1} \right)^2 + 0,66 - \frac{1,5}{2 \cdot 6,1} \right] \cdot 1 + \frac{0,7}{1,5} + 1,12 \cdot \frac{0,3 \cdot 10^3}{352,21} = 3,16,$$

где  $h_0 = h_1 + 0,4b_2 = 27,8 + 0,4 \cdot 1,5 = 28,4$  мм.



#### 6.4.3 Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния (8.178)

$$\lambda_{Л2} = \frac{2,3D_{кл.ср}}{Z_2 l'_\delta \Delta^2} \lg \frac{4,7D_{кл.ср}}{h_{кл} + 2b_{кл}} = \frac{2,3 \cdot 103,2}{38 \cdot 130 \cdot 0,17^2} \lg \frac{4,7 \cdot 103,2}{41 + 2 \cdot 21} = 1,35.$$

#### 6.4.4 Индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора (8.177)

$$x_2 = 7,9 f_1 l'_\delta (\lambda_{П2} + \lambda_{Л2} + \lambda_{Д2} + \lambda_{СК}) 10^{-6} = 7,9 \cdot 50 \cdot 130 \cdot (3,16 + 1,35 + 2,09 + 0) \cdot 10^{-6} = 3,39 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

6.4.5 Индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора

$$x'_2 = x_2 \frac{4m(w_1 k_{обл})^2}{Z_2 k_{СК}^2} = 3,39 \cdot 10^{-4} \frac{4 \cdot 3 \cdot (75 \cdot 0,911)^2}{38 \cdot 1} = 0,5.$$

#### 6.4.6 Относительное значение

$$x'_{2*} = x'_2 \frac{I_{НОМ}}{U_{НОМ}} = 0,5 \frac{36,43}{220} = 0,083.$$

## 7 Расчет потерь

### 7.1 Основные потери в стали статора

#### 7.1.1 Масса стали ярма статора (8.188)

$$m_a = \pi(D_a - h_a)h_a l_{ст1} k_{c1} v_c = 3,14 \cdot (278 - 35,2) \cdot 35,2 \cdot 130 \cdot 0,97 \cdot 7800 \cdot 10^{-9} = 26,41 \text{ кг.}$$

#### 7.1.2 Масса стали зубцов статора (8.189)

$$m_{z1} = h_{z1} b_{z1cp} Z_1 l_{ст1} k_{c1} v_c = 31,3 \cdot 6,6 \cdot 30 \cdot 130 \cdot 0,97 \cdot 7800 \cdot 10^{-9} = 6,1 \text{ кг.}$$

#### 7.1.3 Принимаем $k_{да}=1,6$ ; $k_{дз}=1,8$ .

#### 7.1.4 Основные потери в стали статора (8.187)

$$P_{ст.осн} = p_{1,0/50} \left( \frac{f_1}{50} \right)^\beta (k_{да} B_a^2 m_a + k_{дз} B_{z1}^2 + m_{z1}) = 2,5(1,6^2 \cdot 26,41 + 1,8 \cdot 1,8^2 \cdot 6,1) = 359,3 \text{ Вт.}$$

### 7.2 Добавочные потери в стали

#### 7.2.1 Амплитуда пульсации индукции в воздушном зазоре (8.190)

$$B_{02} = \beta_{02} k_\delta B_\delta = 0,4 \cdot 1,19 \cdot 0,754 = 0,36 \text{ Тл,}$$

где для  $b_{ш}/\delta=9,3$  -  $\beta_{02}=0,4$  (рисунок 8.53).

#### 7.2.2 Удельные поверхностные потери для ротора (8.192)

$$p_{пов2} = 0,5 k_{02} \left( \frac{Z_1 n_1}{10000} \right)^{1,5} (B_{02} t_{z2} \cdot 10^3)^2 = 0,5 \cdot 1,5 \cdot \left( \frac{30 \cdot 3000}{10000} \right)^{1,5} \cdot (0,36 \cdot 15,18)^2 = 602,25 \text{ Вт/м}^2$$

#### 7.2.3 Поверхностные потери в роторе (8.194)

$$P_{пов2} = p_{пов2} (t_{z2} - b_{ш2}) Z_2 l_{ст2} = 602,25 \cdot (11,92 - 1,5) \cdot 38 \cdot 130 \cdot 10^{-6} = 31,01 \text{ Вт.}$$

#### 7.2.4 Масса стали зубцов ротора (8.201)

$$m_{z2} = h_{z2} b_{z2cp} Z_2 l_{ст2} k_{c2} v_c = 32,45 \cdot (5,15 + 5,16) / 2 \cdot 38 \cdot 130 \cdot 0,97 \cdot 7800 \cdot 10^{-9} = 6,25 \text{ кг.}$$

#### 7.2.5 Амплитуда пульсаций индукции в среднем сечении зубцов (8.196)

$$B_{\text{пул2}} \approx \frac{\gamma_1 \delta}{2t_{Z2}} B_{Z2\text{ср}} = 6 \cdot 0,4 \cdot 1,8 / (2 \cdot 11,92) = 0,181 \text{ Тл.}$$

#### 7.2.6 Пульсационные потери в зубцах ротора (8.200)

$$P_{\text{пул2}} = 0,11 \left( \frac{Z_1 n}{1000} B_{\text{пул2}} \right)^2 m_{Z2} = 0,11 \cdot (30 \cdot 3000 \cdot 0,181 / 1000)^2 \cdot 6,25 = 182,7 \text{ Вт.}$$

#### 7.2.7 Сумма добавочных потерь в стали (8.203)

$$P_{\text{ст.доб}} = P_{\text{пов1}} + P_{\text{пул1}} + P_{\text{пов2}} + P_{\text{пул2}} = 31,01 + 182,7 = 213,7 \text{ Вт.}$$

#### 7.3 Полные потери в стали (8.203)

$$P_{\text{ст}} = P_{\text{ст.осн}} + P_{\text{ст.доб}} = 359,3 + 213,7 = 573,01 \text{ Вт.}$$

#### 7.4 Механические потери (8.210)

$$P_{\text{мех}} = K_{\Gamma} \left( \frac{n}{10} \right)^2 D_a^4 = 0,94 \cdot (3000/10)^2 \cdot (278/1000)^4 = 504,55 \text{ Вт,}$$

где  $K_{\Gamma} = 1,3 \cdot (1 - D_a) = 1,3 \cdot (1 - 278 \cdot 10^{-3}) = 0,94$ .

#### 7.5 Холостой ход двигателя

##### 7.5.1 Электрические потери в статоре при холостом ходе (8.219)

$$P_{\text{эл.х.х}} \approx 3I_{\mu}^2 r_1 = 3 \cdot 8,01^2 \cdot 0,18 = 35,48 \text{ Вт.}$$

##### 7.5.2 Активная составляющая тока холостого хода (8.218)

$$I_{\text{х.х.а}} = \frac{P_{\text{ст}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{эл.х.х}}}{mU_{\text{ином}}} = \frac{573,01 + 504,55 + 35,48}{3 \cdot 220} = 1,69 \text{ А.}$$

##### 7.5.3 Ток холостого хода двигателя (8.217)

$$I_{\text{х.х}} = \sqrt{I_{\text{х.х.а}}^2 + I_{\mu}^2} = \sqrt{1,69^2 + 8,01^2} = 8,19 \text{ А.}$$

##### 7.5.4 Коэффициент мощности при холостом ходе (8.221)

$$\cos \varphi_{x,x} = I_{x,x,a} / I_{x,x} = 1,69 / 8,19 = 0,21.$$

## 8 Рабочие характеристики

### 8.1 Параметры рабочего режима

#### 8.1.1 Последовательно включенное активное сопротивление (8.184)

$$r_{12} = \frac{P_{\text{ст.осн}}}{mI_{\mu}^2} = \frac{359,3}{3 \cdot 8,01^2} = 1,87 \text{ Ом.}$$

#### 8.1.2 Последовательно включенное индуктивное сопротивление (8.185)

$$x_{12} = \frac{U_{1\text{ном}}}{I_{\mu}} - x_1 = \frac{220}{8,01} - 0,859 = 26,6 \text{ Ом.}$$

#### 8.1.3 Комплексный коэффициент (8.223)

$$c_1 = 1 + x_1/x_{12} = 1 + 0,859/26,6 = 1,032.$$

Используем приближенную формулу, так как (8.222)

$$\gamma = \arctg \frac{r_1 x_{12} - r_{12} x_1}{r_{12}(r_1 + r_{12}) + x_{12}(x_1 + x_{12})} = \arctg \frac{0,18 \cdot 26,6 - 1,87 \cdot 0,859}{1,87 \cdot (0,18 + 1,87) + 26,6 \cdot (0,859 + 26,6)} = 0,26' < 1'.$$

#### 8.1.4 Активная составляющая тока синхронного холостого хода (8.226)

$$I_{0a} = \frac{P_{\text{ст.осн}} + 3I_{\mu}^2 r_1}{3U_1} = \frac{359,3 + 3 \cdot 8,01^2 \cdot 0,18}{3 \cdot 220} = 0,6 \text{ А.}$$

#### 8.1.5 Расчетные величины (8.227)

$$a' = c_1^2 = 1,032^2 = 1,07; \quad b' = 0;$$

$$a = c_1 r_1 = 1,032 \cdot 0,18 = 0,19;$$

$$b = c_1(x_1 + c_1 x_2') = 1,032 \cdot (0,859 + 1,032 \cdot 0,5) = 1,419.$$

#### 8.1.6 Потери, не изменяющиеся при изменении скольжения

$$P_{\text{ст}} + P_{\text{мех}} = 573,01 + 504,55 = 1077,55 \text{ Вт.}$$

Таблица 8.1 Рабочие характеристики асинхронного двигателя

Расчетные формулы	Размерность	s						
		0,001	0,006	0,011	0,016	0,021	0,026	0,031
$a'r'_2/s'$	Ом	234,9	24,7	13,0	8,8	6,7	5,2	4,4
$R=a+a'r'_2/s'$	Ом	235,1	24,8	13,2	9,0	6,9	5,4	4,6
$X=b+b'r'_2/s'$	Ом	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
$Z=\sqrt{R^2+X^2}$	Ом	235,08	24,89	13,28	9,14	7,03	5,59	4,79
$I''_2=U_1/Z$	А	0,94	8,84	16,57	24,08	31,31	39,36	45,92
$\cos\varphi'_2=R/Z$	-	1,000	0,998	0,994	0,988	0,979	0,967	0,955
$\sin\varphi'_2=X/Z$	-	0,006	0,057	0,107	0,155	0,202	0,254	0,296
$I_{1a}=I_{0a}+I''_2 \cdot \cos\varphi'_2$	А	1,53	9,42	17,07	24,38	31,27	38,67	44,46
$I_{1p}=I_{0p}+I''_2 \cdot \sin\varphi'_2$	А	8,02	8,52	9,78	11,75	14,34	18,00	21,61
$I_1=\sqrt{I_{1a}^2+I_{1p}^2}$	А	8,16	12,70	19,68	27,07	34,40	42,65	49,43
$I'_2=c_1 \cdot I''_2$	А	0,97	9,13	17,11	24,85	32,33	40,63	47,40
$P_1=3U_1 \cdot I_{1a}$	кВт	1012,4	6220,0	11268,7	16092,2	20636,6	25521,2	29342,8
$P_{\Sigma 1}=3I_1^2 r_1$	кВт	36,8	89,2	214,1	405,0	654,1	1005,8	1350,9
$P_{\Sigma 2}=3I_2^2 r'_2$	кВт	0,36	32,29	113,46	239,51	405,19	640,12	871,32
$P_{\text{доб}}=0,005P_1$	кВт	5,06	31,10	56,34	80,46	103,18	127,61	146,71
$\Sigma P=P_{\text{ст}}+P_{\text{мех}}+P_{\Sigma 1}+P_{\Sigma 2}+P_{\text{доб}}$	кВт	1119,81	1230,13	1461,41	1802,48	2240,00	2851,04	3446,46
$P_2=P_1-\Sigma P$	кВт	-107,4	4989,9	9807,3	14289,7	18396,6	22670,2	25896,3
$\eta=1-\Sigma P/P_1$	-	-10,6%	80,2%	87,0%	88,8%	89,1%	88,8%	88,3%
$\cos\varphi=I_{1a}/I_1$	-	0,188	0,742	0,868	0,901	0,909	0,907	0,899

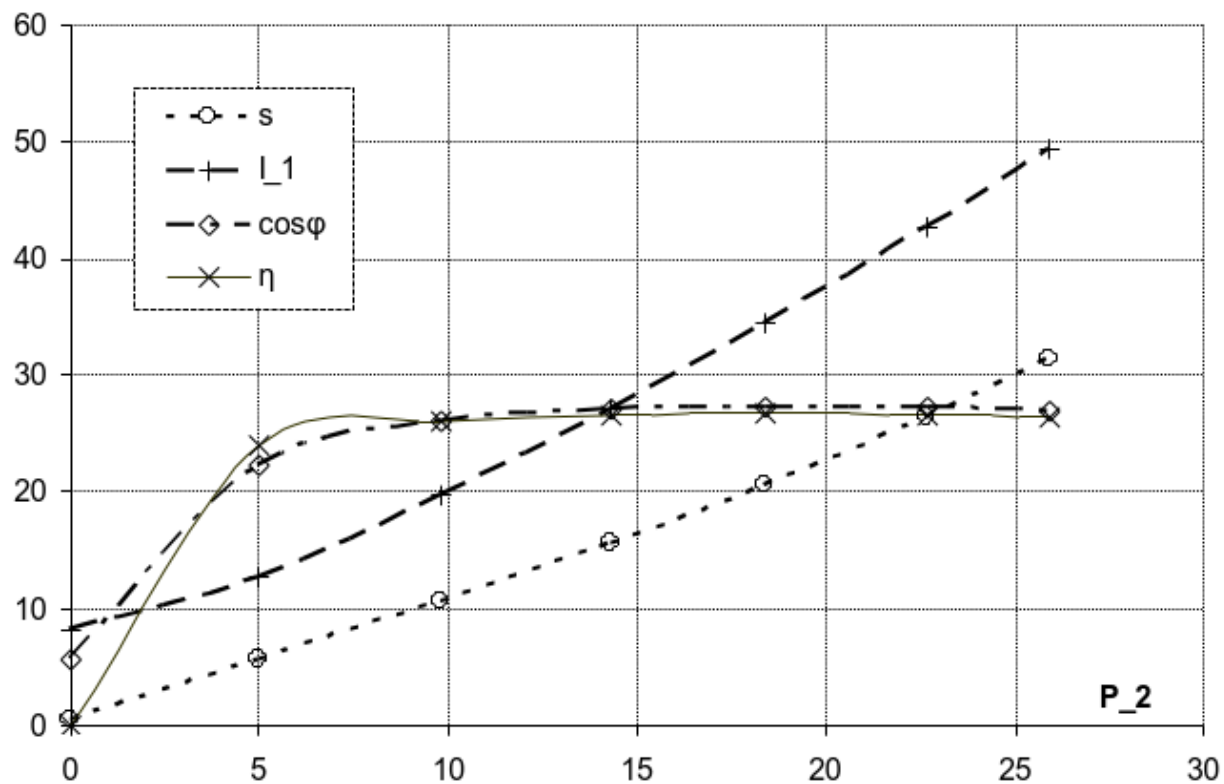


Рисунок 8.1 – Рабочие характеристики

## 9 Расчет пусковых характеристик

9.1 Расчет токов с учетом влияния изменения параметров под влиянием эффекта вытеснения тока (без учета влияния насыщения от полей рассеяния)

9.1.1 Высота стержня в пазу (рисунок 8.76)

$$h_c = h_n - (h_{ш} + h'_{ш}) = 32,6 - (0,7 + 0,3) = 31,6 \text{ мм.}$$

9.1.2 В роторах с литой обмоткой

$$b_c / b_n = 1.$$

9.1.3 Коэффициент магнитной проводимости участка паза, занятого проводником с обмоткой

$$\lambda'_{n2} = \frac{h_0}{3b_1} \left( 1 - \frac{\pi b_1^2}{8q_c} \right)^2 + 0,66 - \frac{b_{ш}}{2b_1} = \frac{28,4}{3 \cdot 6,1} \cdot \left( 1 - \frac{3,14 \cdot 6,1^2}{8 \cdot 121,1} \right)^2 + 0,66 - \frac{1,5}{2 \cdot 6,1} = 1,74.$$

9.1.4 Пусковые параметры (8.277), (8.278)

$$x_{12\Pi} = k_\mu x_{12} = 2,59 \cdot 26,6 = 68,96 \text{ Ом;}$$

$$c_{1\Pi} = 1 + x_1 / x_{12\Pi} = 1 + 0,859 / 68,96 = 1,012.$$

Таблица 9.1 Расчет токов в пусковом режиме с учетом влияния эффекта вытеснения тока

Расчетные формулы	Размерность	s					
		1	0,56	0,24	0,18	<b>0,125</b>	0,1
$\xi = 63,61 h_c \sqrt{s}$	-	2,01	1,50	0,99	0,85	0,71	0,58
$\varphi(\xi)$	-	0,89	0,36	0,09	0,05	0,02	0,01
$h_R = h_c / (1 + \varphi)$	мм	16,75	23,31	29,07	30,17	30,90	31,28
$h'_R = (h_R - b_1 / 2)$	мм	13,70	20,26	26,02	27,12	27,85	28,23
$b_R = b_1 - \frac{b_1 - b_2}{h_1} h'_R$	мм	3,83	2,75	1,80	1,61	1,49	1,43
$q_R = \frac{\pi b_1^2}{8} + \frac{b_1 + b_R}{2} h'_R$	мм <sup>2</sup>	82,64	104,25	117,31	119,20	120,32	120,88
$k_r = q_c / q_R$	-	1,47	1,16	1,03	1,02	1,01	1,00



Расчетные формулы	Размерность	s					
		1	0,56	0,24	0,18	<b>0,125</b>	0,1
$K_R = 1 + \frac{r_c}{r_2(k_R - 1)}$	-	1,28	1,10	1,02	1,01	1,00	1,00
$r'_2 = K_R r'_{2}$	Ом	0,165	0,142	0,132	0,130	0,130	0,129
$k_{д} = \varphi'(\xi)$	-	0,75	0,89	0,96	0,97	0,98	0,98
$\Delta\lambda_{112\xi} = \lambda'_{112\xi}(1 - k_{д})$	-	0,44	0,20	0,06	0,05	0,04	0,03
$\lambda_{112\xi} = \lambda_{112} - \Delta\lambda_{112\xi}$	-	2,72	2,96	3,09	3,11	3,12	3,13
$K_X = \Sigma\lambda_{2\xi} / \Sigma\lambda_2$	-	0,93	0,97	0,99	0,99	0,99	1,00
$x'_{2\xi} = K_X x'_{2}$	Ом	0,467	0,485	0,495	0,496	0,497	0,498
$R_{\Pi} = r_1 + c_{1\Pi} r'_{2\xi} / s$	Ом	0,351	0,440	0,739	0,916	1,235	1,740
$X_{\Pi} = x_1 + c_{1\Pi} x'_{2\xi}$	Ом	1,33	1,35	1,36	1,36	1,36	1,36
$I'_2 = U_1 / \sqrt{R_{\Pi}^2 + X_{\Pi}^2}$	А	159,81	154,99	142,16	134,08	119,66	99,54
$I_1 = I'_2 \frac{\sqrt{R_{\Pi}^2 + (X_{\Pi} + x_{12\Pi})^2}}{c_{1\Pi} x_{12\Pi}}$	А	160,89	156,08	143,19	135,06	120,54	100,29

9.2 Расчет пусковых характеристик с учетом влияния изменения параметров под влиянием эффекта вытеснения тока и насыщения от полей рассеяния

### 9.2.1 Коэффициент (8.265)

$$C_N = 0,64 + 2,5 \sqrt{\frac{\delta}{t_{z1} + t_{z2}}} = 0,64 + 2,5 \sqrt{\frac{0,4}{15,18 + 11,92}} = 0,944 .$$

### 9.2.2 Высота скоса шлица паза статора при угле скоса $\beta = 45^\circ$

$$h_k = (b_1 - b_{ш}) / 2 = (9,4 - 3,7) / 2 = 2,85 \text{ мм.}$$

Таблица 9.2 Расчет пусковых характеристик в пусковом режиме с учетом влияния эффекта вытеснения тока и насыщения от полей рассеяния

Расчетные формулы	Размерность	s					
		1	0,56	0,24	0,18	<b>0,125</b>	0,1
$k_{нас}$	-	1,34	1,32	1,22	1,2	1,12	1,06
$F_{\Pi,CP} 0,7 \frac{I_1 k_{нас} u_{\Pi}}{a} \times$	А	3892,0	3719,3	3153,7	2925,8	2437,1	1919,2

Расчетные формулы	Размерность	s					
		1	0,56	0,24	0,18	<b>0,125</b>	0,1
$\times \left( k'_{\beta} + k_{y1} k_{\text{Об1}} \frac{Z_1}{Z_2} \right)$							
$B_{\Phi\delta} = \frac{F_{\text{П.СР}} \cdot 10^{-6}}{1,6\delta C_N}$	Тл	6,44	6,16	5,22	4,84	4,04	3,18
$\kappa_{\delta} = f(B_{\Phi\delta})$	-	0,40	0,41	0,47	0,49	0,58	0,70
$c_{\text{Э1}} = (t_{z1} - b_{\text{III1}})(1 - \kappa_{\delta})$	мм	6,88	6,73	6,14	5,80	4,83	3,43
$\lambda_{\text{П1НАС}} = \lambda_{\text{П1}} - \Delta\lambda_{\text{П1НАС}}$	-	0,40	0,39	0,38	0,37	0,33	0,27
$\lambda_{\text{Д1НАС}} = \kappa_{\delta} \lambda_{\text{Д1}}$	-	1,33	1,33	1,35	1,36	1,39	1,45
$x_{\text{1НАС}} = x_1 \Sigma \lambda_{\text{1НАС}} / \Sigma \lambda_1$	Ом	1,05	1,08	1,22	1,30	1,52	1,84
$c_{\text{П.НАС}} = 1 + x_{\text{1НАС}} / x_{\text{12П}}$	-	0,631	0,635	0,653	0,663	0,693	0,736
$c_{\text{Э2}} = (t_{z2} - b_{\text{III2}})(1 - \kappa_{\delta})$	мм	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
$\Delta\lambda_{\text{П2НАС}} = \frac{h_{\text{III2}} c_{\text{Э2}}}{b_{\text{III2}} c_{\text{Э2}} + b_{\text{III2}}}$	-	6,24	6,11	5,57	5,26	4,38	3,11
$\lambda_{\text{П2\xiНАС}} = \lambda_{\text{П2\xi}} - \Delta\lambda_{\text{П2НАС}}$	-	0,54	0,54	0,53	0,52	0,50	0,45
$\lambda_{\text{Д2НАС}} = \kappa_{\delta} \lambda_{\text{Д2}}$	-	2,18	2,42	2,57	2,59	2,62	2,68
$x'_{\text{2\xiНАС}} = x'_2 \Sigma \lambda_{\text{2НАС}} / \Sigma \lambda_2$	Ом	0,84	0,87	0,98	1,04	1,21	1,47
$R_{\text{П.НАС}} = r_1 + c_{\text{П.НАС}} r'_{\xi 2} / s$	Ом	0,331	0,351	0,371	0,377	0,393	0,416
$X_{\text{П.НАС}} = x_{\text{1НАС}} + c_{\text{П.НАС}} x'_{\xi 2 \text{НАС}}$	Ом	0,35	0,44	0,74	0,91	1,23	1,74
$I'_{\text{2НАС}} = U_1 / \sqrt{R_{\text{П.НАС}}^2 + X_{\text{П.НАС}}^2}$	А	0,97	0,99	1,03	1,04	1,09	1,16
$I_{\text{1НАС}} = I'_{\text{2НАС}} \times \frac{\sqrt{R_{\text{П.НАС}}^2 + (X_{\text{П.НАС}} + x_{\text{12П}})^2}}{c_{\text{П}} x_{\text{12П}}}$	А	214,19	203,10	174,00	158,55	133,72	105,39
$k'_{\text{НАС}} = I_{\text{НАС}} / I_{\text{НОМ}}$	-	215,22	204,13	174,95	159,43	134,51	106,06
$I_{\text{1*}} = I_{\text{1НАС}} / I_{\text{НОМ}}$	-	5,91	5,60	4,80	4,38	3,69	2,91
$M_* = \left( \frac{I'_{\text{2НАС}}}{I'_{\text{2НОМ}}} \right)^2 K_R \frac{S_{\text{НОМ}}}{S}$	-	1,12	1,54	2,44	2,68	2,74	2,52

### 9.2.3 Максимальный момент двигателя

$$s_{KP} \approx \frac{r'_2}{\frac{x_1}{c_{1П}} + x'_2} = \frac{0,13}{\frac{0,693}{1,01} + 0,393} = 0,12.$$

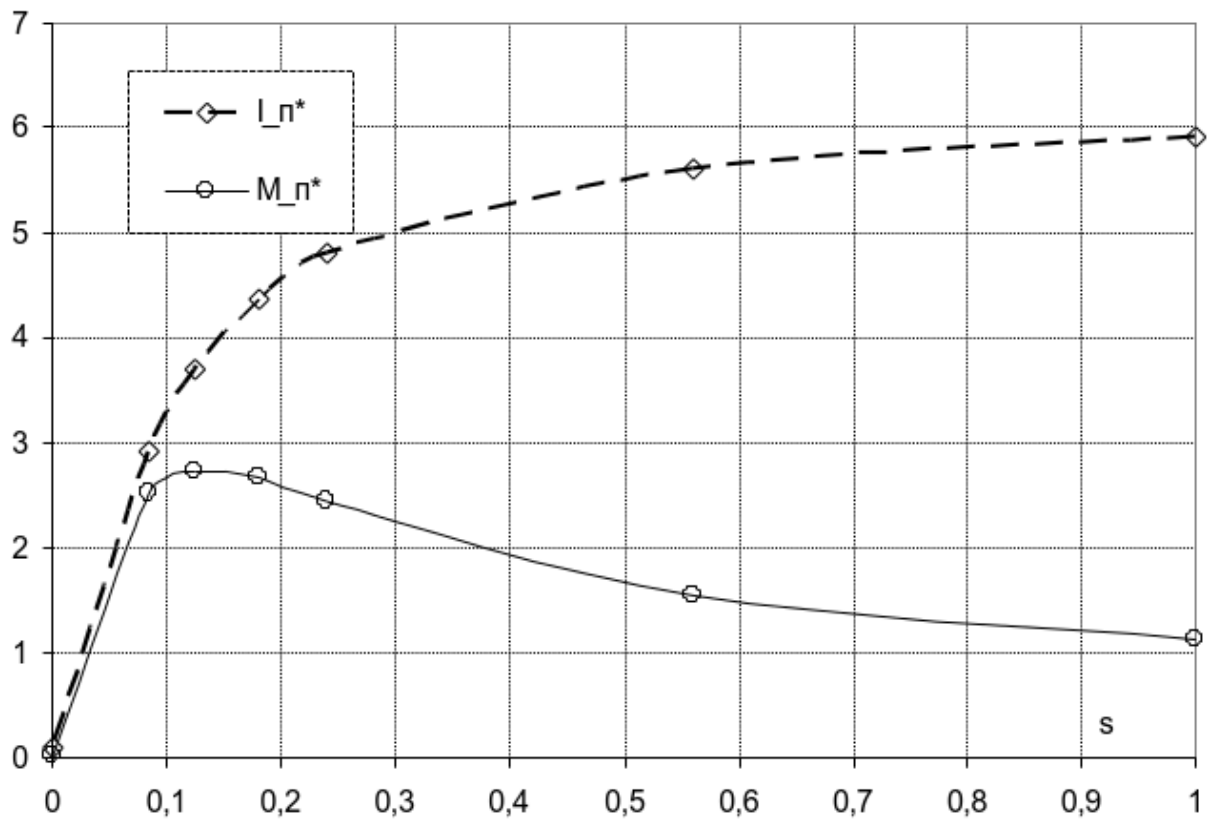


Рисунок 9.1 – Пусковые характеристики

## 10 Тепловой расчет

### 10.1 Электрические потери в обмотке статора в пазовой части (8.330)

$$P'_{\text{эл.пл}} = k_p P_{\text{эл}} \frac{2l_1}{l_{\text{ср.1}}} = 1,07 \cdot 699,81 \cdot 2 \cdot 130 / 964,6 = 201,82 \text{ Вт},$$

где  $k_p=1,07$  – коэффициент увеличения потерь.

### 10.2 Превышение температуры внутренней поверхности сердечника статора над температурой воздуха внутри двигателя (8.330)

$$\Delta v_{\text{пов1}} = K \frac{P'_{\text{эл.пл}} + P_{\text{ст.осн}}}{\pi D l_1 \alpha_1} \cdot 10^6 = 0,22 \cdot \frac{201,82 + 359,3}{3,14 \cdot 145 \cdot 130 \cdot 155} \cdot 10^6 = 13,45^\circ \text{C},$$

где  $K=0,22$  (таблица 8.33) – коэффициент, учитывающий, что часть потерь в сердечнике статора и в пазовой части обмотки передается через станину непосредственно в окружающую среду;

$\alpha_1=155 \text{ Вт/м}^2$  (рисунок 8.70,8.71) – коэффициент теплоотдачи.

### 10.3 Расчетный периметр поперечного сечения паза статора (8.332)

$$\Pi_{\text{пл}} = 2h_{\text{ПК}} + b_1 + b_2 = 2 \cdot 27,5 + 15,1 + 9,4 = 79,5 \text{ мм}.$$

### 10.4 Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статора (8.331)

$$\Delta v_{\text{из.пл}} = \frac{P'_{\text{эл.пл}}}{Z_1 \Pi_{\text{пл}} l_1} \left( \frac{b_{\text{из.пл}}}{\lambda_{\text{эКВ}}} + \frac{b_1 + b_2}{16 \lambda'_{\text{эКВ}}} \right) \cdot 10^3 = \frac{201,82}{36 \cdot 79,5 \cdot 130} \cdot \left( \frac{0,4}{0,16} + \frac{9,4 + 15,1}{16 \cdot 1,34} \right) \cdot 10^3 = 2,37^\circ \text{C},$$

где  $\lambda_{\text{эКВ}}=0,16 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$  – средняя эквивалентная теплопроводность пазовой изоляции;

$\lambda'_{\text{эКВ}}=1,34 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$  – среднее значение коэффициента теплопроводности внутренней изоляции катушки (рисунок 8.72).

### 10.5 Электрические потери в обмотке статора в лобовых частях (8.329)

$$P'_{\text{эл.л1}} = k_p P_{\text{эл}} \frac{2l_{\text{л1}}}{l_{\text{ср.1}}} = 1,07 \cdot 699,81 \cdot 2 \cdot 352,3 / 964,6 = 546,97 \text{ Вт}.$$

### 10.6 Перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей (8.335)

$$\Delta v_{\text{из.л1}} = \frac{P'_{\text{эл1}}}{2Z_1 \Pi_{\text{л1}} l_{\text{л1}}} \left( \frac{b_{\text{из.л1}}}{\lambda_{\text{эКВ}}} + \frac{h_{\text{п1}}}{12\lambda'_{\text{эКВ}}} \right) 10^3 = \frac{546,97}{2 \cdot 30 \cdot 79,5 \cdot 352,3} \cdot \left( \frac{0,05}{0,16} + \frac{27,5}{12 \cdot 1,34} \right) \cdot 10^3 = 0,66^\circ \text{C},$$

где  $\Pi_{\text{л1}} = \Pi_{\text{п1}} = 79,5$  мм – периметр условной поверхности охлаждения лобовой части одной катушки;

$b_{\text{из.л1}} = 0,05$  мм – односторонняя толщина изоляции лобовой части катушки.

### 10.7 Превышение температуры наружной поверхности лобовых частей над температурой воздуха внутри двигателя (8.336)

$$\Delta v_{\text{пов.л1}} = \frac{K P'_{\text{эл1}}}{2\pi D l_{\text{выл}} \alpha_1} = \frac{0,22 \cdot 546,97}{2 \cdot 3,14 \cdot 145 \cdot 76,5 \cdot 155} = 11,14^\circ \text{C}.$$

### 10.8 Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри двигателя (8.337)

$$\begin{aligned} \Delta v'_1 &= \frac{(\Delta v_{\text{пов1}} + \Delta v_{\text{из.п1}}) 2l_1 + (\Delta v_{\text{из.л1}} + \Delta v_{\text{пов.л1}}) 2l_1}{l_{\text{сп1}}} = \\ &= \frac{(13,45 + 2,37) \cdot 2 \cdot 130 + (0,66 + 11,14) \cdot 2 \cdot 352,3}{964,6} = 12,88^\circ \text{C}, \end{aligned}$$

### 10.9 Эквивалентная поверхность охлаждения корпуса (8.343)

$$S_{\text{кор}} = (\pi D_a + 8\Pi_p)(l_1 + 2l_{\text{выл1}}) = (3,14 \cdot 278 + 8 \cdot 319)(130 + 2 \cdot 76,5) = 9,69 \cdot 10^5 \text{ мм}^2,$$

где  $\Pi_p = 319$  мм (рисунок 8.73) – условный периметр поперечного сечения ребер корпуса двигателя.

### 10.10 Сумма потерь, отводимых в воздух внутри двигателя

$$\begin{aligned} \Sigma P'_B &= \Sigma P' - (1 - K)(P'_{\text{эл1}} + P_{\text{ст.осн}}) - 0,9P_{\text{мех}} = \\ &= 2399,29 - (1 - 0,22)(201,82 + 359,3) - 0,9 \cdot 504,55 = 1507,52 \text{ Вт}, \end{aligned}$$

где  $\Sigma P' = \Sigma P + (k_p - 1)(P_{\text{эл1}} + P_{\text{эл2}}) = 2319,81 + (1,07 - 1)(699,81 + 435,69) = 2399,29$  Вт;

$\Sigma P = 2319,81$  Вт (таблица 8.34) – сумма всех потерь в двигателе.

10.11 Превышение температуры воздуха внутри двигателя над температурой окружающей среды (8.338)

$$\Delta v_{\text{в}} = \frac{\Sigma P'}{S_{\text{кор}} \alpha_{\text{в}}} 10^6 = \frac{1507,52}{9,69 \cdot 10^5 \cdot 20} \cdot 10^6 = 77,81^{\circ}\text{C},$$

где  $\alpha_{\text{в}}=20 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$  (рисунок 8.70,б) – коэффициент подогрева воздуха.

10.12 Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды (8.344)

$$\Delta v_1 = \Delta v_1' + \Delta v_{\text{в}} = 12,88 + 77,81 = 90,7^{\circ}\text{C}.$$

10.13 Проверка условий охлаждения двигателя

10.13.1 Коэффициент, учитывающий изменение условий охлаждения по длине поверхности корпуса, обдуваемого наружным вентилятором (8.357)

$$k_{\text{м}} = m' \sqrt{\frac{n}{100} D_{\text{а}}} = 3,3 \cdot \sqrt{\frac{3000}{100} \cdot 278 \cdot 10^{-3}} = 9,53.$$

10.13.2 Требуемый для охлаждения расход воздуха (8.356)

$$\theta_{\text{в}} = \frac{k_{\text{м}} \Sigma P'_{\text{в}}}{1100 \Delta v_{\text{в}}} = \frac{9,53 \cdot 2399,29}{1100 \cdot 77,81} = 0,27 \text{ м}^3/\text{с}.$$

10.13.3 Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором (8.358)

$$\theta'_{\text{в}} = 0,6 D_{\text{а}}^3 10^{-9} \frac{n}{100} = 0,6 \cdot 278^3 \cdot 10^{-9} \cdot 3000/100 = 0,39 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Нагрев двигателя находится в допустимых пределах. Вентилятор обеспечивает необходимый расход воздуха.

## 11 Механический расчет вала

### 11.1 Расчет вала на жесткость

Рисунок 11.1 – Эскиз вала к механическому расчету

Вал асинхронного двигателя соединен с приводимым механизмом упругой муфтой:  $D_{н2}=144$  мм;  $\delta=0,4$  мм; муфта – тип МУВП 1-32;  $m=6,97$  кг;  $L=165$  мм;  $r=50$  мм. Размеры вала:  $d_1=38$  мм;  $d_2=40$  мм;  $d_3=49$  мм;  $c=49$  мм;  $b=169$  мм;  $a=169$  мм;  $\ell=338$  мм;  $t=5$  мм; сталь 45.

11.1.1 Сила тяжести сердечника ротора с обмоткой и участком вала по длине сердечника (3.2)

$$G'_2=64 \cdot D_{н2}^2 \cdot \ell_2 \cdot 10^{-6}=64 \cdot 144^2 \cdot 130 \cdot 10^{-6}=173 \text{ Н.}$$

11.1.2 Прогиб вала посередине сердечника (3.5)

$$f_t = \frac{G'_2 (a^2 S_b + b^2 S_a) 10^6}{3E\ell^2} = \frac{173 \cdot (169^2 \cdot 15,74 + 169^2 \cdot 15,74) \cdot 10^6}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 338^2} = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ мм,}$$

где  $E=2,06 \cdot 10^{11}$  Па – модуль упругости стали;

$$S_0=0,011 \text{ мм}^{-1};$$

$$S_a=15,74 \text{ мм}^{-1};$$

$$S_b=15,74 \text{ мм}^{-1}.$$

### 11.1.3 Номинальный момент вращения (3.1)

$$M_2=9,55 \cdot P_2/n=9,55 \cdot 19200/3000=57,94 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

### 11.1.4 Поперечная сила, вызываемая передачей через упругую муфту (3.7)

$$F_n=(k_n M_2/r) \cdot 10^3=(0,3 \cdot 57,94/50) \cdot 10^3=347,62 \text{ Н}.$$

### 11.1.5 От поперечной силы передачи прогиб вала посередине сердечника (3.8)

$$f_n=F_n c[1,5 \ell S_0-S_b]a+b S_a \cdot 10^{-6}/3E \ell^2=347,62 \cdot 49[(1,5 \cdot 338 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} - 15,74) \cdot 169+169 \cdot 15,74] \cdot 10^6/(3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 338^2)=2,27 \cdot 10^{-5} \text{ мм}.$$

### 11.1.6 Начальный расчетный эксцентриситет сердечника ротора (3.9)

$$e_0=k\delta+f_T+f_n=0,15 \cdot 0,4+2,2 \cdot 10^{-3}+2,27 \cdot 10^{-5}=6,22 \cdot 10^{-2} \text{ мм}.$$

### 11.1.7 Сила одностороннего магнитного притяжения (3.10)

$$T_0=0,15 \cdot D_{н2} \ell_2 e_0/\delta=0,15 \cdot 144 \cdot 130 \cdot 6,22 \cdot 10^{-2}/0,4=437,43 \text{ Н}.$$

### 11.1.8 Дополнительный прогиб от силы $T_0$ (3.11)

$$f_0=f_T T_0/G'_2=2,2 \cdot 10^{-3} \cdot 437,43/173=0,005571 \text{ мм}.$$

### 11.1.9 Установившийся прогиб вала (3.12)

$$f_M=f_0/(1-f_0/e_0)=0,005571/(1-0,005571/6,22 \cdot 10^{-2})=0,00612 \text{ мм}.$$

### 11.1.10 Результирующий прогиб вала (3.13)

$$f=f_T+f_n+f_M=2,2 \cdot 10^{-3}+2,27 \cdot 10^{-5}+0,00612=0,00834 \text{ мм}.$$

## 11.2 Определение критической частоты вращения

### 11.2.1 Прогиб от силы тяжести упругой полумуфты (3.14)

$$f_c=f_n F_c/(2F_n)=2,27 \cdot 10^{-5} \cdot 34,2/(2 \cdot 347,62)=1,12 \cdot 10^{-6} \text{ мм},$$

где  $F_c=9,81 m/2=34,2 \text{ Н}$  – сила тяжести соединительного устройства;

### 11.2.2 Первая критическая частота вращения (3.16)



$$n_{кр} = 950 \sqrt{(1 - f_0 / \ell_0) / (f_t + f_c)} =$$

$$= 950 \sqrt{(1 - 0,005571 / 6,22 \cdot 10^{-2}) / (2,2 \cdot 10^{-3} + 1,12 \cdot 10^{-6})} = 19307,3 \text{ об/мин.}$$

Больше минимально допустимого значения  $n_{кр} = 1,3 \cdot 3000 = 3900$  об/мин

### 11.3 Расчет вала на прочность

#### 11.3.1 Определение $Z_1$ (3.18)

$$z_1 = L/2 + \ell_1/2 = 165/2 + 32/2 = 98,5 \text{ мм.}$$

#### 11.3.2 Изгибающий момент (3.17)

$$M_n = k(F_n + F_c)z_1 \cdot 10^{-3} = 2(347,62 + 34,2) \cdot 98,5 \cdot 10^{-3} = 75,22 \text{ Н·м.}$$

#### 11.3.3 Момент кручения (3.19)

$$M_k = k \cdot M_2 = 2 \cdot 57,94 = 115,87 \text{ Н·м.}$$

#### 11.3.4 Момент сопротивления при изгибе (3.20)

$$w = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot (38-5) = 3593,7 \text{ мм}^3.$$

#### 11.3.5 Приведенное напряжение (3.21)

$$\sigma_{пр} = (\sqrt{M_n^2 + M_k^2} \cdot 10^9) / w = (\sqrt{75,22^2 + 115,87^2} \cdot 10^9) / 3593,7 = 3,84 \cdot 10^7 \text{ Па.}$$

Полученное значение меньше допустимого для стали марки 45 значения  $\sigma_{пр} = 245 \cdot 10^6$  Па.

## 12 Расчет подшипников

### 12.1 Наибольшая радиальная нагрузка на подшипник А (3.26)

$$R_A = (G'_2 + T_0) b / l + F_{\text{пс}} / l = (173 + 437,43) 169 / 338 + 347,62 \cdot 49 / 338 = 355,6 \text{ Н.}$$

### 12.2 Динамическая приведенная нагрузка для подшипника А

$$Q_A = k_{\sigma} R_A = 1,5 \cdot 355,6 = 533,4 \text{ Н,}$$

где  $k_{\sigma} = 1,5$  – коэффициент, учитывающий характер нагрузки машины.

### 12.3 Необходимая динамическая грузоподъемность подшипника А (3.33)

$$C_A = (Q / 25,6) \sqrt[3]{L n} = 533,4 / 25,6 \cdot \sqrt[3]{12000 \cdot 3000} = 6880,1 \text{ Н.}$$

### 12.4 Наибольшая радиальная нагрузка на подшипник В (3.27)

$$R_B = (G'_2 + T_0) a / l + F_{\text{п}}(1 + c) / l = (173 + 437,43) 169 / 338 + 347,62 \cdot (338 + 49) / 338 = 703,2 \text{ Н.}$$

### 12.5 Динамическая приведенная нагрузка для подшипника В

$$Q_B = k_{\sigma} R_B = 1,5 \cdot 703,2 = 1054,8 \text{ Н.}$$

### 12.6 Необходимая динамическая грузоподъемность подшипника В (3.33)

$$C_B = (Q_B / 25,6) \sqrt[3]{L n} = 1054,8 / 25,6 \cdot \sqrt[3]{12000 \cdot 3000} = 13605,6 \text{ Н.}$$

Выбираем радиальные шарикоподшипники легкой серии 207 с динамической грузоподъемностью  $C = 25100 \text{ Н}$ .

## Заключение

Ускорение научно-технического прогресса требует всемерной автоматизации производственных процессов. Для этого необходимо создавать электрические машины, удовлетворяющие своим показателям и характеристикам, весьма разнообразным требованиям различных отраслей народного хозяйства.

Процесс создания электрических машин включает в себя проектирование, изготовление и испытание. Под проектированием электрической машины понимается расчет размеров отдельных ее частей, параметров обмоток, рабочих и других характеристик машины, конструирование машины в целом, а также ее отдельных деталей и сборочных единиц, оценка технико-экономических показателей спроектированной машины, включая показатели надежности.

## Список литературы

- 1 Гольдберг О.Д. Проектирование электрических машин: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2001. – 430 с.