

2 РАСЧЕТ ОБМОТКИ, ПАЗА И ЯРМА СТАТОРА

14. Предельные значения зубцового деления t_{z1} (по рис. П.9):

$$t_{z1\min} = 16 \text{ мм};$$

$$t_{z1\max} = 18 \text{ мм}.$$

15. Предельные значения числа пазов Z_1 статора:

$$Z_{1\min} = \frac{\pi \cdot D}{t_{z1\max}} = \frac{3.14 \cdot 193}{18} = 34;$$

$$Z_{1\max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{z1\min}} = \frac{3.14 \cdot 193}{16} = 38.$$

16. С учётом рекомендаций на стр. 9 окончательно принимаем число пазов:

$$Z_1 = 36.$$

Тогда принятое число пазов $Z_1 = 36$ будет кратно числу фаз m_1 АД ($m_1 = 3$), а число пазов на полюс и фазу q_1 будет целым числом:

$$\frac{Z_1}{m_1} = \frac{36}{3} = 12;$$

$$q_1 = \frac{Z_1}{2p \cdot m_1} = \frac{36}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 6.$$

Обмотка статора – однослойная.

17. Окончательное значение зубцового деления обмотки статора:

$$t_{z1} = \frac{\pi \cdot D}{2p \cdot m_1 \cdot q_1} = \frac{\pi \cdot 193}{2 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 6} = 17 \text{ мм}.$$

18. Номинальный ток обмотки статора АД:

$$I_{1\text{ном}} = \frac{P_{2\text{ном}}}{m_1 \cdot U_1 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}}} = \frac{55000}{3 \cdot 220 \cdot 0.92 \cdot 0.9} = 100.6 \text{ А}.$$

					КР.1-43.01.03.22с.11 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата			
Разраб.		Дубровский			Расчет обмотки, паза и ярма статора		
Пров.		Козлов					
Н. контр.							
Утв.							
					Лист	Лист	Листов
					ГГТУ, эр. 3Э-22с		

19. Число эффективных проводников в пазу (предварительное значение при условии, что число параллельных ветвей обмотки $a=1$ (параллельные ветви отсутствуют):

$$u_{\pi}' = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{1ном} \cdot Z_1} = \frac{3.14 \cdot 0.193 \cdot 39 \cdot 10^3}{100.6 \cdot 36} = 6.5.$$

Согласно рекомендациям на стр. 10 и 11, принимаем число параллельных ветвей a :

$$a = 2.$$

Тогда фактическое число эффективных проводников в пазу u_{π} с учётом округления до целых:

$$u_{\pi} = u_{\pi}' \cdot a = 6.5 \cdot 2 = 14.$$

20. Число витков в фазе обмотки статора:

$$w_1 = \frac{u_{\pi} \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m_1} = \frac{14 \cdot 36}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 42.$$

21. Линейная нагрузка:

$$A = \frac{2 \cdot I_{1ном} \cdot w_1 \cdot m_1}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot 100.6 \cdot 42 \cdot 3}{3.14 \cdot 0.193} = 41.81 \cdot 10^3 \text{ A/м.}$$

A находится в допустимых пределах (рис. П.5).

22. По рекомендациям на стр. 12 принимаем обмотку с укорочением.

$$\beta = \frac{2}{3} \cdot \frac{q_1 + 1}{q_1} = \frac{2}{3} \cdot \frac{6 + 1}{6} = 0.778;$$

$$k_y = 0.97 \text{ (по рисунку П. 10).}$$

24. Значение обмоточного коэффициента по рекомендациям на стр. 13:

$$k_p = 0.957 \text{ (по таблице П. 4);}$$

$$k_{обм1} = k_y \cdot k_p = 0.97 \cdot 0.957 = 0.928.$$

25. Магнитный поток в воздушном зазоре:

$$\Phi_{\delta} = \frac{K_e \cdot U_1}{4 \cdot k_e \cdot w_1 \cdot k_{обм1} \cdot f_1} = \frac{0.985 \cdot 220}{4 \cdot 1.111 \cdot 42 \cdot 0.928 \cdot 50} = 0.025 \text{ Вб.}$$

26. Индукция магнитного поля в воздушном зазоре:

					КР.1-43.01.03.22с.11 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

$$B_{\delta} = \frac{p \cdot \Phi_{\delta}}{D \cdot l_{\delta}} = \frac{3 \cdot 0.025}{0.193 \cdot 0.155} = 0.837 \text{ Тл.}$$

Полученное значение B_{δ} выходит за пределы рекомендуемой области (рис. П.5) менее, чем на 5%, что допустимо (стр. 12).

27. Значение произведения линейной нагрузки на плотность тока AJ найдём по рис. П.11:

$$AJ = 185 \cdot 10^9 \text{ А}^2/\text{м}^3.$$

28. Плотность тока в обмотке статора (предварительное значение):

$$J_1 = \frac{AJ}{A} = \frac{185 \cdot 10^9}{41.81 \cdot 10^3} = 4.425 \text{ А/мм}^2.$$

29. Площадь поперечного сечения эффективного проводника (предварительное значение):

$$q_{\text{эф}} = \frac{I_{1\text{ном}}}{a \cdot J_1} = \frac{100.6}{2 \cdot 4.425} = 11.368 \text{ мм}^2.$$

При таком сечении диаметр эффективного проводника будет равен:

$$d_{np} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{эф}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 11.368}{\pi}} = 3.805 \text{ мм},$$

что превышает рекомендованные значения (стр. 13).

30. В качестве обмоточного провода принимаем круглый медный изолированный провод марки ПЭТВ сечением $q_{\text{эл}} = 0.985 \text{ мм}^2$ и диаметром $d_{\text{эл}} = 1.12 \text{ мм}$ (табл. П.6). Диаметр провода с учётом изоляции $d_{\text{из}} = 1.2 \text{ мм}$.

С учётом рекомендаций на стр. 13 и 14, принимаем число элементарных проводников $n_{\text{эл}} = 4$ Тогда уточнённое значение площади поперечного сечения эффективного проводника:

$$q_{\text{эф}} = q_{\text{эл}} \cdot n_{\text{эл}} = 0.985 \cdot 4 = 3.94 \text{ мм}^2.$$

31. Плотность тока в обмотке статора (уточнённое значение):

$$J_1 = \frac{I_{1\text{ном}}}{a \cdot q_{\text{эл}} \cdot n_{\text{эл}}} = \frac{100.6}{2 \cdot 0.985 \cdot 4} = 12.766 \text{ А/мм}^2.$$

32. Всыпную обмотку статора с круглым обмоточным проводом будем укладывать в пазы трапецидальной формы (рис. П.13, а).

					КР.1-43.01.03.22с.11 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

33. Длина стали сердечника статора l_{CT1} (стр. 6) и коэффициент заполнения сталью магнитопровода статора k_{C1} (табл. П.8):

$$l_{CT1} = l_{\delta} = 0,155 \text{ м};$$

$$k_{c1} = 0.97.$$

34. По табл. П.7 предварительно принимаем значения:

- магнитной индукции в зубцах статора при постоянном сечении

$$B_{z1} = 1.6 \text{ Тл};$$

- магнитной индукции в ярме статора

$$B_a = 1.4 \text{ Тл}.$$

35. Ширина зубца статора (предварительное значение):

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z1} \cdot l_{\delta}}{B_{z1} \cdot l_{CT1} \cdot k_c} = \frac{0.837 \cdot 17 \cdot 0.155}{1.6 \cdot 0.155 \cdot 0.97} = 9.167 \text{ мм}.$$

36. Высота ярма статора:

$$h_a = \frac{\Phi_{\delta}}{2 \cdot B_a \cdot l_{CT1} \cdot k_c} = \frac{0.025}{2 \cdot 1.4 \cdot 0.155 \cdot 0.97} = 0.0595 \text{ м} = 59.5 \text{ мм}.$$

37. Размеры паза в штампе определим с учётом приведённых на стр. 15 и 16 рекомендаций и рассчитаем по соответствующим выражениям (рис. 2.1):

- ширина шлица паза $b_{ш1} = 4.0 \text{ мм}$ (табл. П.10);

- высота шлица паза $h_{ш1} = 1 \text{ мм}$ (стр. 15);

- угол наклона грани клиновой части паза $\beta_k = 45^\circ$ (стр. 15);

- высота паза

$$h_{п1} = \frac{D_a - D}{2} - h_a = \frac{350 - 193}{2} - 59.5 = 19 \text{ мм}.$$

- меньшая ширина паза

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D_1 + 2 \cdot h_{ш1} - b_{ш1}) - Z_1 \cdot b_{z1}}{Z_1 - \pi} = \frac{\pi \cdot (193 + 2 \cdot 1 - 4) - 36 \cdot 9.167}{36 - \pi} = 8.2 \text{ мм};$$

- бóльшая ширина паза

$$b_2 = \frac{\pi \cdot (D_1 + 2 \cdot h_{п1})}{Z_1} - b_{z1} = \frac{\pi \cdot (193 + 2 \cdot 19)}{36} - 9.2 = 11 \text{ мм};$$

					КР.1-43.01.03.22с.11 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

- ВЫСОТА КЛИНОВОЙ ЧАСТИ ПАЗА

$$h_k = \frac{b_1 - b_{ш1}}{2} = \frac{8.2 - 4.0}{2} = 2.1 \text{ мм};$$

- ВЫСОТА ПАЗА БЕЗ УЧЁТА ВЫСОТЫ КЛИНОВОЙ ЧАСТИ И ВЫСОТЫ ШЛИЦА

$$h_{п.к} = h_{п1} - \left(h_{ш1} + \frac{b_1 - b_{ш1}}{2} \right) = 19 - \left(1 + \frac{8.2 - 4.0}{2} \right) = 15.9 \text{ мм.}$$

38. Припуски на сборку по ширине $\Delta b_{п1}$ и высоте $\Delta h_{п1}$ пазы (табл. П.9):

$$\Delta b_{п1} = 0.2 \text{ мм};$$

$$\Delta h_{п1} = 0.2 \text{ мм.}$$

39. Размеры пазы “в свету”:

- ВЫСОТА ПАЗА

$$h'_{п1} = h_{п1} - \Delta h_{п1} = 19.0 - 0.2 = 18.8 \text{ мм};$$

- ВЫСОТА ПАЗА БЕЗ УЧЁТА ВЫСОТЫ КЛИНОВОЙ ЧАСТИ И ВЫСОТЫ ШЛИЦА

$$h'_{п.к} = h_{п.к} - \Delta h_{п1} = 15.9 - 0.2 = 15.7 \text{ мм};$$

- меньшая ширина пазы

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_{п1} = 8.2 - 0.2 = 8.0 \text{ мм};$$

- большая ширина пазы

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_{п1} = 11 - 0.2 = 10.8 \text{ мм.}$$

39. Односторонняя толщина изоляции в пазу (табл. П.11):

$$b_{из} = 0.4 \text{ мм.}$$

40. Площадь, занимаемая корпусной изоляцией в пазу:

$$S_{из} = b_{из} \cdot (2 \cdot h_{п1} + b_1 + b_2) = 0.4 \cdot (2 \cdot 19 + 8.2 + 11) = 22.9 \text{ мм}^2.$$

41. Площадь, занимаемая прокладками в пазу для двухслойной обмотки:

$$S_{пр} = (0.9 \cdot b_1 + 0.4 \cdot b_2) = (0.9 \cdot 8.2 + 0.4 \cdot 11) = 11.8 \text{ мм}^2.$$

42. Площадь поперечного сечения пазы, остающаяся свободной для размещения проводников обмотки:

$$S'_п = \frac{b'_1 + b'_2}{2} \cdot h'_{п.к} - (S_{из} + S_{пр}) = \frac{8 + 10.8}{2} \cdot 15.7 - (22.9 + 11.8) \\ = 112.88 \text{ мм}^2.$$

43. Коэффициент заполнения пазы статора:

					КР.1-43.01.03.22с.11 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

$$k_3 = \frac{d_{uz}^2 \cdot u_p \cdot n_{эл}}{S_{\pi}} = \frac{1.2^2 \cdot 14 \cdot 4}{112.88} = 0.71$$

что является допустимым значением (стр. 18) и говорит о том, что расчёт обмотки статора и выбор главных размеров АД были выполнены верно.

44. Уточняем среднее значение ширины зубца статора b_{Z1} , приняв его в качестве расчётного:

$$b'_{z1} = \pi \cdot \frac{D + 2 \cdot (h_{u1} + h_k)}{Z_1} - b_1 = \pi \cdot \frac{193 + 2 \cdot (1 + 2.1)}{36} - 8.2 = 9.18 \text{ мм};$$

$$b''_{z1} = \pi \cdot \frac{D + 2 \cdot h_{n1}}{Z_1} - b_2 = \pi \cdot \frac{193 + 2 \cdot 19}{36} - 11 = 9.16 \text{ мм};$$

Значения $b'_{Z1} = b''_{Z1}$, поэтому

$$b_{z1} = b'_{z1} = b''_{z1} = 9.17 \text{ мм.}$$

45. Пользуясь рекомендациями на стр. 19 и рисунком П.14 определим величину воздушного зазора между статором и ротором АД:

$$\delta = 0.9 \text{ мм.}$$