

2 РАСЧЕТ ОБМОТКИ, ПАЗА И ЯРМА СТАТОРА

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

$$t_{z1\min} = 15 \text{ мм};$$

$$t_{z1\max} = 19 \text{ мм}.$$

15. Предельные значения числа пазов Z_1 статора:

$$Z_{1\min} = \frac{\pi \cdot D}{t_{z1\max}} = \frac{3.14 \cdot 193}{19} = 32;$$

$$Z_{1\max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{z1\min}} = \frac{3.14 \cdot 193}{15} = 40.$$

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:

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

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

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:

$$I_{1\text{ном}} = \frac{P_{2\text{ном}}}{m_1 \cdot U_1 \cdot \eta_n \cdot \cos\varphi_n} = \frac{37000}{3 \cdot 220 \cdot 0.9 \cdot 0.9} = 69.2 \text{ А}.$$

					КР.1-43.01.03.22с.09 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата			
Разраб.	Гулевич				Расчет обмотки, паза и ярма статора	Лист	Лист
Пров.	Козлов						
Н. контр.						ГГТУ, эр. 3Э-22с	
Утв.							

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

$$u_{\pi}' = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{1ном} \cdot Z_1} = \frac{3.14 \cdot 0.193 \cdot 39 \cdot 10^3}{69.2 \cdot 36} = 9.5.$$

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:

$$u_{\pi} = u_{\pi}' \cdot a = 9.5 \cdot 2 = 20.$$

20. Число витков в фазе обмотки статора:

$$w_1 = \frac{u_{\pi} \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m_1} = \frac{20 \cdot 36}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 60.$$

21. Линейная нагрузка:

$$A = \frac{2 \cdot I_{1ном} \cdot w_1 \cdot m_1}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot 69.2 \cdot 60 \cdot 3}{3.14 \cdot 0.193} = 41.09 \cdot 10^3 \text{ A/м.}$$

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:

$$\Phi_{\delta} = \frac{K_e \cdot U_1}{4 \cdot k_{\epsilon} \cdot w_1 \cdot k_{обм1} \cdot f_1} = \frac{0.985 \cdot 220}{4 \cdot 1.111 \cdot 60 \cdot 0.928 \cdot 50} = 0.0175 \text{ Вб.}$$

26. Индукция магнитного поля в воздушном зазоре:

					КР.1-43.01.03.22с.09 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

$$B_{\delta} = \frac{p \cdot \Phi_{\delta}}{D \cdot l_{\delta}} = \frac{3 \cdot 0.0175}{0.193 \cdot 0.133} = 0.71 \text{ Тл.}$$

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):

$$J_1 = \frac{AJ}{A} = \frac{185 \cdot 10^9}{41.09 \cdot 10^3} = 4.503 \text{ А/мм}^2.$$

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

$$q_{\text{эф}} = \frac{I_{1\text{ном}}}{a \cdot J_1} = \frac{69.2}{2 \cdot 4.503} = 7.684 \text{ мм}^2.$$

При таком сечении диаметр эффективного проводника будет равен:

$$d_{np} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{эф}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7.684}{\pi}} = 3.128 \text{ мм},$$

что превышает рекомендованные значения (стр. 13).

30. В качестве обмоточного провода принимаем круглый медный изолированный провод марки ПЭТВ сечением $q_{\text{эл}} = 2.011 \text{ мм}^2$ и диаметром $d_{\text{эл}} = 1.6 \text{ мм}$ (табл. П.6). Диаметр провода с учётом изоляции $d_{\text{из}} = 1.685 \text{ мм}$.

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

$$q_{\text{эф}} = q_{\text{эл}} \cdot n_{\text{эл}} = 2.011 \cdot 4 = 8.044 \text{ мм}^2.$$

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

$$J_1 = \frac{I_{1\text{ном}}}{a \cdot q_{\text{эл}} \cdot n_{\text{эл}}} = \frac{69.2}{2 \cdot 2.011 \cdot 4} = 4.301 \text{ А/мм}^2.$$

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

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

$$l_{CT1} = l_{\delta} = 0.133 \text{ м};$$

$$k_{c1} = 0.97.$$

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

- магнитной индукции в зубцах статора при постоянном сечении

$$B_{Z1} = 1.75 \text{ Тл};$$

- магнитной индукции в ярме статора

$$B_a = 1.5 \text{ Тл}.$$

35. Ширина зуба статора (предварительное значение):

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z1} \cdot l_{\delta}}{B_{z1} \cdot l_{CT1} \cdot k_c} = \frac{0.71 \cdot 17 \cdot 0.133}{1.75 \cdot 0.133 \cdot 0.97} = 6.819 \text{ мм}.$$

36. Высота ярма статора:

$$h_a = \frac{\Phi_{\delta}}{2 \cdot B_a \cdot l_{CT1} \cdot k_c} = \frac{0.0175}{2 \cdot 1.5 \cdot 0.133 \cdot 0.97} = 0.0452 \text{ м} = 45.2 \text{ мм}.$$

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

$$h_{п1} = \frac{D_a - D}{2} - h_a = \frac{350 - 193}{2} - 45.2 = 33.3 \text{ мм}.$$

- меньшая ширина паза

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D_1 + 2 \cdot h_{ш1} - b_{ш1}) - Z_1 \cdot b_{z1}}{Z_1 - \pi} = \frac{\pi \cdot (193 + 2 \cdot 1 - 4) - 36 \cdot 6.819}{36 - \pi} = 10.8 \text{ мм};$$

- бóльшая ширина паза

					КР.1-43.01.03.22с.09 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

$$b_2 = \frac{\pi \cdot (D_1 + 2 \cdot h_{n1})}{Z_1} - b_{z1} = \frac{\pi \cdot (193 + 2 \cdot 33.3)}{36} - 6.819 = 15.8 \text{ мм};$$

- ВЫСОТА КЛИНОВОЙ ЧАСТИ ПАЗА

$$h_k = \frac{b_1 - b_{ш1}}{2} = \frac{10.8 - 4.0}{2} = 3.4 \text{ мм};$$

- ВЫСОТА ПАЗА БЕЗ УЧЁТА ВЫСОТЫ КЛИНОВОЙ ЧАСТИ И ВЫСОТЫ ШЛИЦА

$$h_{п.к} = h_{п1} - \left(h_{ш1} + \frac{b_1 - b_{ш1}}{2} \right) = 33.3 - \left(1 + \frac{10.8 - 4.0}{2} \right) = 28.9 \text{ мм}.$$

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

$$h'_{п1} = h_{п1} - \Delta h_{п1} = 33.3 - 0.2 = 33.1 \text{ мм};$$

- ВЫСОТА ПАЗА БЕЗ УЧЁТА ВЫСОТЫ КЛИНОВОЙ ЧАСТИ И ВЫСОТЫ ШЛИЦА

$$h'_{п.к} = h_{п.к} - \Delta h_{п1} = 28.9 - 0.2 = 28.7 \text{ мм};$$

- меньшая ширина пазы

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_{п1} = 10.8 - 0.2 = 10.6 \text{ мм};$$

- большая ширина пазы

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_{п1} = 15.8 - 0.2 = 15.6 \text{ мм}.$$

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

$$b_{из} = 0.4 \text{ мм}.$$

40. Площадь, занимаемая корпусной изоляцией в пазу:

$$S_{из} = b_{из} \cdot (2 \cdot h_{п1} + b_1 + b_2) = 0.4 \cdot (2 \cdot 33.3 + 10.8 + 15.8) = 37.3 \text{ мм}^2.$$

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

$$S_{пр} = (0.9 \cdot b_1 + 0.4 \cdot b_2) = (0.9 \cdot 10.8 + 0.4 \cdot 15.8) = 16 \text{ мм}^2.$$

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

					КР.1-43.01.03.22с.09 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

$$S_{\pi} = \frac{b'_1 + b'_2}{2} \cdot h_{н.к} - (S_{из} + S_{пр}) = \frac{10.6 + 15.6}{2} \cdot 28.7 - (37.3 + 16) \\ = 322.67 \text{ мм}^2.$$

43. Коэффициент заполнения паза статора:

$$k_3 = \frac{d_{уз}^2 \cdot u_p \cdot n_{эл}}{S_{\pi}} = \frac{1.685^2 \cdot 20 \cdot 4}{322.67} = 0.704$$

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:

$$b'_{z1} = \pi \cdot \frac{D + 2 \cdot (h_{u1} + h_k)}{Z_1} - b_1 = \pi \cdot \frac{193 + 2 \cdot (1 + 3.4)}{36} - 10.8 = 6.81 \text{ мм};$$

$$b''_{z1} = \pi \cdot \frac{D + 2 \cdot h_{n1}}{Z_1} - b_2 = \pi \cdot \frac{193 + 2 \cdot 33.3}{36} - 15.8 = 6.861 \text{ мм};$$

Значения $b'_{z1} = b''_{z1}$, поэтому

$$b_{z1} = b'_{z1} = b''_{z1} = 6.84 \text{ мм}.$$

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

$$\delta = 1.0 \text{ мм}.$$

					КР.1-43.01.03.22с.09 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		