

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

Методичні вказівки та завдання
до виконання курсової роботи
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціалізації «Електромеханічні
системи автоматизації»

Київ 2026

УДК 621.321.28

E50

Укладачі: Л.І. Мазуренко, д-р техн. наук, професор;
Г. М. Голенков, канд. техн. наук, доцент

Рецензент С. В. Іносов, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск Л.І. Мазуренко, д-р техн. наук,
професор

В авторській редакції.

*Затверджено на засіданні кафедри електротехніки та
електроприводу, протокол № 9 від 10 квітня 2025 року.*

Електричні машини : методичні вказівки та завдання до
E50 виконання курсової роботи / уклад. : Л.І. Мазуренко, Г.М. Голенков. –
Київ : КНУБА, 2026. – 48 с.

Розглянуто основні методи розрахунку трифазного асинхронного
електродвигуна.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» спеціалізації «Електромеханічні системи
автоматизації».

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Метою виконання здобувачами курсової роботи згідно з нормами робочої навчальної програми з дисципліни «Електричні машини» є підготовка висококваліфікованих спеціалістів для будівельної галузі з глибокими знаннями з питань електричних машин, електромеханічних систем та автоматизованого електроприводу будівельних машин та механізмів, а також теорії і практики у процесі застосування електричних машин.

При цьому здобувачі повинні осмислити опрацьовану науково-технічну літературу, вивчити теоретичні питання та провести моделювання робочих та електромеханічних характеристик за допомогою комп'ютерних технологій.

КУРСОВА РОБОТА

«Розрахунок трифазного асинхронного електродвигуна»

Короткий зміст роботи:

1. Вихідні дані для проектування.
2. Магнітне коло двигуна. Розміри, конфігурація, матеріал.
3. Обмотка статора.
4. Короткозамкнена обмотка ротора.
5. Розрахунок магнітного кола.
6. Активні та індуктивні опори обмоток.
7. Режим холостого ходу і номінальний.
8. Робочі характеристики.
9. Максимальний момент.
10. Початковий пусковий струм і початковий пусковий момент.
11. Механічні характеристики.

Здобувачі виконують курсову роботу відповідно до варіантів (див. таблицю варіантів завдань). Для всіх варіантів число фаз $m = 3$; номінальна фазна напруга $U_{\phi} = 220 \text{ В}$; частота мережі $f = 50 \text{ Гц}$.

Обсяг завдання 25 – 35 сторінок формату А4.

Креслення основних вузлів та деталей розрахованого електродвигуна розміщувати на форматі А1, а саме: схему обмотки статора; паз обмотки статора; паз обмотки ротора; робочі характеристики (приклад, наведений на рис. 1.4), механічні характеристики (приклад, наведений на рис. 1.5).

Розрахунок курсової роботи і креслення виконуються і оформляються відповідно до Державних стандартів.

Конструкцію трифазного асинхронного двигуна див. на рис.1.1.

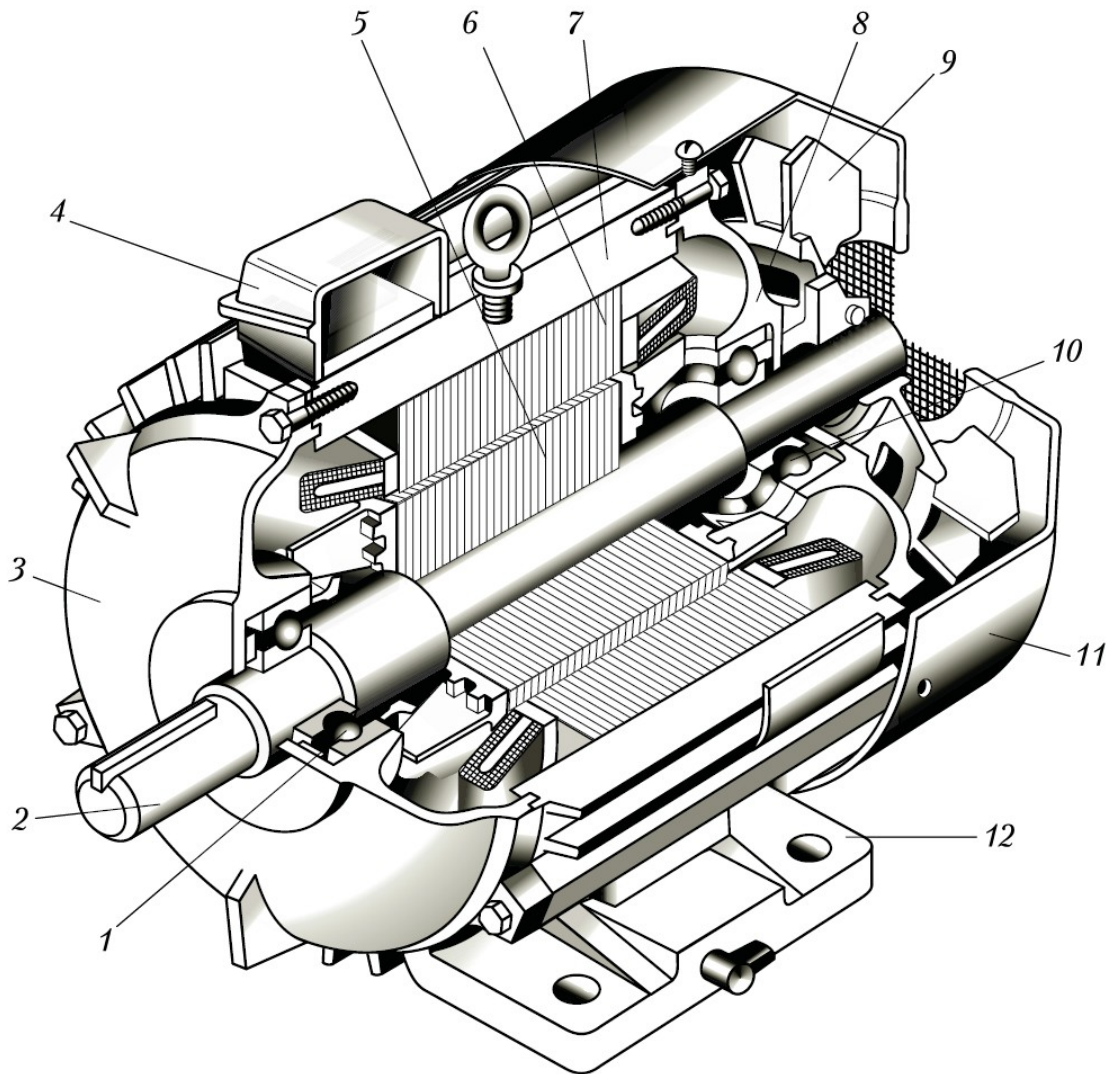


Рис. 1.1. Конструкція трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором:

1, 10 – підшипники; 2 – вал; 3, 8 – підшипникові щити; 4 – коробка виводів; 5 – сердечник ротора з короткозамкненою обмоткою; 6 – сердечник статора з обмоткою; 7 – корпус; 9 – вентилятор; 11 – кожух вентилятора; 12 – лапи

Варіанти завдань

№ варіанта	Потужність (P_2), кВт	ККД (η_n), %	$\cos \varphi$	$M_{2\max}/M_H$	M_n/M_H	I_n/I_H	№ варіанта	Потужність (P_2), кВт	ККД (η_n), %	$\cos \varphi$	$M_{2\max}/M_H$	M_n/M_H	I_n/I_H
Синхронна частота обертання $n_1 = 3000$ об/хв							29	1,1	75	0,81	2,2	2,0	5,0
							30	1,5	77	0,83	2,2	2,0	5,0
1	0,09	60	0,7	2,2	2,0	5,0	31	2,2	80	0,83	2,2	2,0	6,0
2	0,12	63	0,7	2,2	2,0	5,0	32	3,0	82	0,83	2,2	2,0	6,5
3	0,18	66	0,76	2,2	2,0	5,0	33	4,0	84	0,84	2,2	2,0	6,0
4	0,25	68	0,77	2,2	2,0	5,0	34	5,5	85,5	0,86	2,2	2,0	7,0
5	0,37	70	0,86	2,2	2,0	5,0	35	7,5	87,5	0,86	2,2	2,0	7,5
6	0,55	73	0,86	2,2	2,0	5,0	36	11,0	87,5	0,87	2,2	2,0	7,5
7	0,75	77	0,87	2,2	2,0	5,5	37	15,0	89	0,88	2,2	1,4	7,0
8	1,1	77,5	0,87	2,2	2,0	5,5	38	18,5	90	0,88	2,2	1,4	7,0
9	1,5	81	0,85	2,2	2,0	6,5	39	22,0	90	0,9	2,2	1,4	7,0
10	2,2	83	0,87	2,2	2,0	6,5	40	30,0	91	0,89	2,2	1,4	7,0
11	3,0	84,5	0,88	2,2	2,0	6,5	Синхронна частота обертання $n_1 = 1000$ об/хв						
12	4,0	86,5	0,89	2,2	2,0	7,5							
13	5,5	87,5	0,91	2,2	2,0	7,5	41	0,18	56	0,62	2,2	2,0	4,0
14	7,5	87,5	0,88	2,2	2,0	7,5	42	0,25	59	0,62	2,2	2,0	4,0
15	11,0	88	0,9	2,2	1,6	7,5	43	0,37	64,5	0,69	2,2	2,0	4,0
16	15,0	88	0,91	2,2	1,4	7,5	44	0,55	67,5	0,71	2,2	2,0	4,0
17	18,5	88,5	0,92	2,2	1,4	7,5	45	0,75	69	0,74	2,2	2,0	4,0
18	22,0	88,5	0,91	2,2	1,4	7,5	46	1,1	74	0,74	2,2	2,0	4,0
19	30,0	90,5	0,9	2,2	1,4	7,5	47	1,5	75	0,74	2,2	2,0	5,5
20	37,0	90	0,89	2,2	1,4	7,5	48	2,2	81	0,73	2,2	2,0	5,5
Синхронна частота обертання $n_1 = 1500$ об/хв							49	3,0	81	0,76	2,2	2,0	6,0
							50	4,0	82	0,81	2,2	2,0	6,0
21	0,06	50	0,6	2,2	2,0	5,0	51	5,5	85	0,8	2,2	2,0	7,0
22	0,09	55	0,6	2,2	2,0	5,0	52	7,5	85,5	0,81	2,2	2,0	7,0
23	0,12	63	0,66	2,2	2,0	5,0	53	11,0	86	0,86	2,0	1,2	6,0
24	0,18	64	0,64	2,2	2,0	5,0	54	15,0	87,5	0,87	2,0	1,2	6,0
25	0,25	68	0,65	2,2	2,0	5,0	55	18,5	88	0,87	2,0	1,2	6,0
26	0,37	68	0,69	2,2	2,0	5,0	56	22,0	90	0,9	2,0	1,2	6,5
27	0,55	70,5	0,70	2,2	2,0	4,5	57	30,0	90,5	0,9	2,0	1,2	6,5
28	0,75	72	0,73	2,2	2,0	4,5	58	37,0	91	0,89	2,0	1,2	6,5

Закінчення табл.

№ варіанта	Потужність (P_2), кВт	ККД (η_n), %	$\cos \varphi$	$M_{2\max}/M_n$	M_n/M_n	I_n/I_n	№ варіанта	Потужність (P_2), кВт	ККД (η_n), %	$\cos \varphi$	$M_{2\max}/M_n$	M_n/M_n	I_n/I_n
59	45	91,5	0,89	2	1,2	1	87	90,0	92,5	0,8 3	1,8	1,0	6,0
60	55	92	0,88	2	1,2	1	88	110,0	93	0,8 3	1,8	1,0	6,0
Синхронна частота обертання $n_1 = 750$ об/хв							Синхронна частота обертання $n_1 = 500$ об/хв						
61	0,25	56	0,65	1,7	1,6	3,5	89	45,0	90,5	0,7 5	1,8	1,0	6,0
62	0,37	61,5	0,65	1,7	1,6	3,5	90	55,0	91	0,7 5	1,8	1,0	6,0
63	0,55	64	0,65	1,7	1,6	3,5	91	75,0	91,5	0,7 6	1,8	1,0	6,0
64	0,75	68	0,62	1,7	1,6	3,5	92	90,0	92	0,7 6	1,8	1,0	6,0
65	1,1	70	0,68	1,7	1,6	3,5	Синхронна частота обертання $n_1 = 3000$ об/хв						
66	1,5	74	0,65	1,7	1,6	5,5	93	45,0	91	0,9	2,2	1,4	7,5
67	2,2	76,5	0,71	2,2	1,8	6,0	94	55,0	91	0,9 2	2,2	1,2	7,5
68	3,0	79	0,74	2,2	1,8	6,0	95	75,0	91	0,8 9	2,2	1,2	7,5
69	4,0	83	0,7	2,2	1,8	6,0	96	90,0	92	0,9	2,2	1,2	7,5
70	5,5	83	0,74	2,2	1,8	6,0	97	110,0	91	0,8 9	2,2	1,2	7,0
71	7,5	86	0,75	2,2	1,4	6,0	98	132,0	91,5	0,8 9	2,2	1,2	7,0
72	11,0	87	0,75	2,2	1,4	6,0	99	160,0	92	0,9	1,9	1,0	7,0
73	15,0	87	0,82	2,0	1,2	6,0	100	200,0	92,5	0,9	1,9	1,0	7,0
74	18,5	88,5	0,84	2,2	1,2	6,0	101	250,0	92,5	0,9	1,9	1,0	7,0
75	22,0	88,5	0,84	2,0	1,2	6,0	102	315,0	93	0,9 1	1,9	1,0	7,0
76	30,0	90	0,81	2,0	1,2	6,0	Синхронна частота обертання $n_1 = 1500$ об/хв						
77	37,0	90	0,83	2,0	1,2	6,0	103	37,0	91	0,9	2,2	1,4	7,0
78	45,0	91,5	0,82	2,0	1,2	6,0	104	45,0	92	0,9	2,2	1,4	7,0
79	55,0	92	0,84	1,9	1,2	6,5	105	55,0	92,5	0,9	2,2	1,2	7,0
80	75,0	92,5	0,85	1,9	1,2	6,5	106	75,0	93	0,9	2,2	1,2	7,0
Синхронна частота обертання $n_1 = 600$ об/хв													

81	30,0	88	0,81	1,9	1,2	6,0	107	90,0	93	0,9 ₁	2,2	1,2	7,0
82	37,0	89	0,81	1,9	1,2	6,0	108	110,0	92,5	0,9	2,0	1,2	7,0
83	37,0	91	0,78	1,8	1,0	6,0	109	132,0	93	0,9	2,0	1,2	6,5
84	45,0	91,5	0,78	1,8	1,0	6,0	110	160,0	93,5	0,9 ₁	1,9	1,0	7,0
85	55,0	92	0,79	1,8	1,0	6,0	111	200,0	94	0,9 ₂	1,9	1,0	7,0
86	75,0	92	0,8	1,8	1,0	6,0	112	250,0	94,5	0,9 ₂	1,9	1,0	7,0

ПРИКЛАД

Розрахунок трифазного асинхронного електродвигуна

Технічні вимоги та номінальні параметри двигуна

Вихідні дані:

Номінальна потужність $P_{ном} = 2,2 \text{ кВт}$;

Частота струму в мережі $f_1 = 50 \text{ Гц}$;

Число полюсів $2p = 8$;

Висота осі обертання $h = 112 \text{ мм}$;

Номінальна напруга мережі $U_{1ном} = 380/660 \text{ В}$;

Перевантажувальна спроможність $M_{max} / M_{ном} = 2,2$;

Відношення початкового пускового моменту до номінального

$$M_n / M_{ном} = 1,8;$$

Відношення початкового пускового струму до номінального $I_{1п} / I_{1ном} = 6$;

Виконання двигуна за ступенем захисту IP44;

Спосіб охолодження IC0141;

Режим роботи – довготривалий;

Клас нагрівостійкості ізоляції – F.

1. Головні розміри двигуна

1.1. Зовнішній та внутрішній діаметри сердечника статора.

Згідно з табл. Д.1.10 (див. дод.), якщо $h = 112 \text{ мм}$, $2p = 8$, і виконання за способом захисту IP44 – обираю $D_{1н} = 191 \text{ мм}$, $D_1 = 132 \text{ мм}$.

1.2. Попередні значення ККД і коефіцієнта потужності [див. дод. рис. Д.1.1]

$$\eta' = 0,76; \quad \cos \varphi_1' = 0,72 .$$

1.3. Розрахункова потужність

$$P_i = \frac{P_{\text{ном}} * k_E}{\eta' * \cos \varphi_1'} = \frac{2,2 * 0,96}{0,76 * 0,72} = 3,85 \text{ кВ} \cdot \text{А} ,$$

де $k_E = 0,96$.

1.4. Попереднє значення максимальної магнітної індукції в повітряному зазорі та лінійному навантаженні [див. дод. рис. Д.1.2], якщо $D_{1н} = 191 \text{ мм}$ обираю

$$B_{\delta}' = 0,77 \text{ Тл}; \quad A_1' = 275 * 10^2 \text{ А/м}.$$

1.5. Попереднє значення обмотувального коефіцієнта: обираю обмотку статора одношаровою [див. дод. табл. Д.1.1], тоді $k'_{об1} = 0,96$.

1.6. Розрахункова довжина сердечника статора

$$l_i = \frac{8,66 * 10^{12} * P_i}{k'_{об1} * n_1 * D_1^2 * B_{\delta}' * A_1'} =$$

$$= \frac{8,66 * 10^{12} * 3,85}{0,96 * 750 * 132^2 * 0,77 * 27500} = 125,5 \text{ мм},$$

обираю $l_i = 125 \text{ мм}$,

Коефіцієнт довжини

$$\lambda = l_i / D_1 = 125 / 132 = 0,946 ,$$

що вкладається в діапазон рекомендованих значень λ .

2. Розміри активної частини двигуна

2.1. Повітряний зазор [див. дод. рис. Д.1.3], якщо $h = 112 \text{ мм}$, обираю $\delta = 0,3 \text{ мм}$.

2.2. Зовнішній діаметр сердечника ротора

$$D_2 = D_1 - 2 \delta = 132 - 2 * 0,3 = 131 \text{ мм}.$$

2.3. Внутрішній діаметр сердечника статора:

$$D_{2вн} = 0,33 * D_2 = 0,33 * 131 = 43,23 \text{ мм}.$$

2.4. Конструктивна довжина сердечника статора

$$l_1 = l_i = 125 \text{ мм}.$$

2.5. Кількість пазів на статорі і роторі

$$Z_1 = 48; \quad Z_2 = 44.$$

На роторі використовую зсув пазів на одне зубцеве ділення статора.

2.6. Форма пазів на статорі та роторі [див. дод. рис. Д.1.4, рис. Д.1.5].

Обираю форму пазів на статорі: трапецеїдальні напівзакриті.

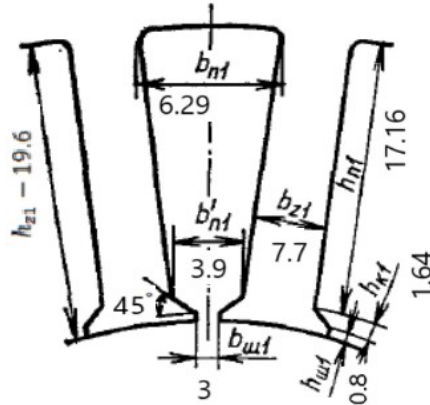


Рис. 1.2. Форма пазів на статорі трапецеїдальні напівзакриті

Обираю форму пазів на роторі: овальні напівзакриті.

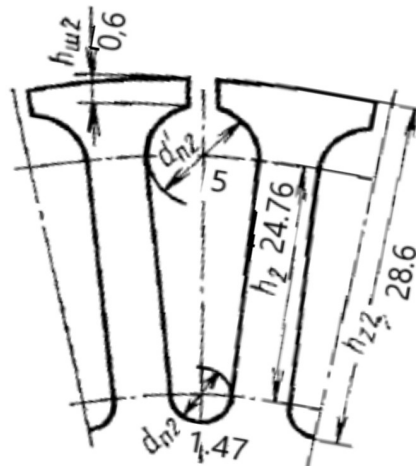


Рис. 1.3. Форма пазів на роторі овальні напівзакриті

2.7. Розміри напівзакритого паза статора:

зубцеве ділення статора

$$t_1 = \pi D_1 / Z_1 = \pi * 132 / 48 = 8,63 \text{ мм};$$

ширина зубця статора

$$b_{z1} = t_1 B'_\delta / k_{c1} B_{z1max} = \frac{8,63 * 0,77}{0,95 * 1,90} = 7,7 \text{ мм},$$

де $B_{z1max} = 1,9 \text{ Тл}$ згідно з табл. Д.1.1 (див. дод.);

висота спинки статора

$$h_{c1} = 0,5 a_i \tau B'_\delta / k_{c1} B_{c1} = \frac{0,5 * 0,64 * 51,81 * 0,77}{0,95 * 1,35} = 9,9 \text{ мм},$$

де $\tau = \pi D_1 / 2 p = \pi * 132 / 8 = 51,81 \text{ мм};$

$B_{c1} = 1,35 \text{ Тл}$ згідно з табл. Д.1.1 (див. дод.);

висота зубця статора

$$h_{z1} = 0,5 * (D_{1H} - D_1) - h_{c1} = 0,5 * (191 - 132) - 9,9 = 19,6 \text{ мм.}$$

Найменша ширина паза в штампі

$$b'_{n1} = t''_1 - b_{z1} = 8,8 - 4,9 = 3,9 \text{ мм,}$$

$$\text{де } t''_1 = \pi (D_1 + 0,2 h_{z1}) / Z_1 = \frac{\pi (132 + 0,2 * 19,6)}{48} = 8,8 \text{ мм.} \quad \text{Найбільша}$$

ширина паза в штампі

$$b_{n1} = t'_1 - b_{z1} = 11,19 - 4,90 = 6,29 \text{ мм,}$$

$$\text{де } t'_1 = \pi (D_1 + 0,2 h_{z1}) / Z_1 = \frac{\pi (132 + 2 * 19,6)}{48} = 11,19 \text{ мм.}$$

Обираю ширину шліца $b_{w1} = 3 \text{ мм}$, висоту $h_{w1} = 0,8 \text{ мм}$, кут $\beta = 45^\circ$.

Висота клинової частини паза

$$h_{k1} = 0,5 (b'_{n1} - b_{w1}) = 0,5 * (6,29 - 3) = 1,64 \text{ мм.}$$

Висота паза, займана обмоткою [див. дод. рис. Д.1.4, а]

$$h_{n1} = h_{z1} - h_{w1} - h_{k1} = 19,6 - 0,8 - 1,64 = 17,16 \text{ мм.}$$

2.8. Розміри закритого овального паза ротора:

зубцеве ділення ротора

$$t_2 = \pi D_2 / Z_2 = 3,14 * 131 / 44 = 9,34;$$

ширина зубця ротора

$$b_{z2} = t_2 B'_\delta / k_{c2} B_{z2max} = 9,34 * 0,77 / 0,97 * 1,90 = 3,9 \text{ мм,}$$

де $B_{z2max} = 1,90 \text{ Тл}$ згідно з табл. Д.1.2 (див. дод.);

висота спинки ротора

$$h_{c2} = 0,5 a_i \tau B'_\delta / k_{c2} B_{c2} = \frac{0,5 * 0,64 * 51,81 * 0,77}{0,97 * 0,85} = 15,4 \text{ мм,}$$

де $B_{c2} = 0,85 \text{ Тл}$ згідно з табл. Д.1.2 (див. дод.);

висота зубця ротора

$$h_{z2} = 0,5 (D_2 - D_{2вн}) - h_{c2} = 0,5 (131 - 43) - 15,4 = 28,6 \text{ мм.}$$

Діаметр у верхній частині паза ротора

$$d'_{n2} = \frac{\pi (D_2 - 2 h_{m2}) - Z_2 b_{z2}}{Z_2 + \pi} = \frac{3,14 * (131 - 2 * 0,6) - 44 * 5,54}{44 + 3,14} = 5 \text{ мм,}$$

де висота мостика $h_{m2} = 0,6 \text{ мм}$.

Діаметр у нижній частині паза ротора

$$d_{n2} = \frac{\pi (D_2 - 2 h_{z2}) - Z_2 b_{z2}}{Z_2 - \pi} = \frac{3,14 * (131 - 2 * 28,6) - 44 * 3,9}{44 - 3,14} = 1,47 \text{ мм.}$$

Відстань між центрами кіл овального паза ротора

$$h_2 = h_{z2} - h_{w2} - 0,5 (d_{n2} + d'_{n2}) = 28,6 - 0,6 - 0,5 (1,47 + 5) = 24,76 \text{ мм;}$$

Площина овального паза в штампі

$$S_{n2} = 0,25 \pi (d_{n2}^2 + d'_{n2}{}^2) + 0,5 h_2 (d_{n2} + d'_{n2}) =$$

$$= 0,25 \cdot 3,14 \cdot (1,47^2 + 5^2) + 0,5 \cdot 24,76 \cdot (1,47 + 5) = 101,91 \text{ мм}^2.$$

3. Обмотка статора

3.1. Тип обмотки статора [див. дод. табл. Д.1.1] – одношарова висипна, число паралельних гілок $a_1 = 2$.

3.2. Число пазів на полюс і фазу

$$q_1 = Z_1 / 2 p * m_1 = 48 / 8 * 3 = 2;$$

Обмотковий коефіцієнт [див. дод. табл. Д.1.3]

$$k_{об1} = k_{p1} = 0,96.$$

3.3. Крок по пазах

$$y = 9; \quad 11 \text{ пазів.}$$

3.4. Струм статора в номінальному режимі роботи двигуна

$$I_{1ном} = \frac{P_{ном} * 10^3}{m_1 * U_{1ном} * \eta' * \cos \varphi'_{1ном}} = \frac{2,2 * 10^3}{3 * 380 * 0,76 * 0,72} = 3,5 \text{ А.}$$

3.5. Число ефективних провідників в пазу статора

$$u_n = \frac{10^{-3} * A'_1 * t_1 * a_1}{I_{1ном}} = \frac{10^{-3} * 27500 * 8,6 * 2}{3,5} = 135,14,$$

обираю $u_n = 135$ провідників.

3.6. Число послідовних витків в обмотці фази статора

$$w_1 = p q_1 u_n / a_1 = 2 * 2 * 135 / 2 = 270.$$

3.7. Щільність струму в обмотці статора обираємо згідно з рис. Д.1.6 (див. дод.):

$$\Delta_1 = 7,5 \text{ А/мм}^2.$$

3.8. Переріз ефективного провідника обмотки статора

$$q_{1еф} = I_{1ном} / a_1 \Delta_1 = 3,5 / 2 * 7,5 = 0,233 \text{ мм}^2.$$

Згідно з табл. Д.1.4 (див. дод.) обираємо провід з перерізом $q_{1еф} = 0,246 \text{ мм}^2$, діаметром $d_{1еф} = 0,56 \text{ мм}$. Відповідно до класу нагрівостійкості ізоляції F обираємо обмотковий провід марки ПЕТ-155, $d_{із} = 0,615 \text{ мм}$, або згідно з табл. Д.1.5 (див. дод.) обираємо прямокутний провід.

3.9. Товщина ізоляції для напівзакритого паза за одношарової обмотки і класу нагрівостійкості F [див. дод. табл. Д.1.6 або Д.1.7] $d_{із} = b_{із} = h_{із} = 0,615 \text{ мм}$.

3.10. Площина ізоляції в пазу

$$S_{n.із} = 0,4 b'_{n1} + 0,8 h_{n1} = 0,4 * 3,9 + 0,8 * 17,16 = 15,28 \text{ мм}^2.$$

3.11. Площина паза у світлі, яка займана обмоткою

$$S'_n = 0,5(b_{n1} + b'_{n1})h_{n1} - S_{n.із} - S_{із.np} =$$

$$= 0,5 * (6,29 + 3,9) * 17,16 - 15,28 - 0,6 = 71,55 \text{ мм}^2.$$

3.12. Коефіцієнт заповнення паза статора ізольованими провідниками

$$k_{з1} = n_n d_{із}^2 / S'_{n1} = 68 * 0,615^2 / 71,55 = 0,36.$$

3.13. Уточнення значення щільності електромагнітних навантажень

$$\Delta_1 = I_{1ном} / n_{ел} q_{1эф} a_1 = 3,5 / 1 * 0,246 * 2 = 7,1 \text{ А/мм}^2.$$

3.14. Уточнення значення електромагнітних навантажень

$$A_1 = I_{1ном} u_n Z_1 / 10^{-3} \pi D_1 a_1 =$$

$$= 3,5 * 135 * 48 / 10^{-3} * 3,14 * 132 * 2 = 27359,5 \text{ А/м}.$$

$$B_\delta = \Phi / a_i \tau l_i * 10^{-6} = 0,0065 / 0,64 * 51,81 * 125 * 10^{-6} = 1,57 \text{ Тл},$$

де Φ – основний магнітний потік

$$\Phi = \frac{k_E U_{1ном}}{4 * k_e f_1 w_1 k_{об1}} = \frac{0,96 * 380}{4 * 1,11 * 50 * 270 * 0,96} = 0,0065 \text{ Вб}.$$

3.15. Розміри котушок статора:

середній зубцевий поділ

$$t_{1cp} = \pi(D_1 + h_{z1}) / Z_1 = 3,14(132 + 19,6) / 48 = 9,9 \text{ мм};$$

середня ширина котушки

$$b_{1cp} = t_{1cp} y_{1cp} = 9,9 * ((9 + 11) / 2) = 99 \text{ мм}.$$

3.16. Середня довжина лобової частини котушки

$$l_{л1} = (1,16 + 0,14 p) b_{1cp} + 15 = (1,16 + 0,14 * 2) * 99 + 15 = 157,56 \text{ мм}.$$

3.17. Середня довжина витка обмотки статора

$$l_{cp1} = 2(l_1 + l_{л1}) = 2 * (125 + 157,56) = 565,12 \text{ мм}.$$

3.18. Довжина вильоту лобової частини обмотки

$$l_{в1} = (0,12 + 0,15_p) b_{1cp} + 10 = (0,12 + 0,15 * 2) * 99 + 10 = 51,58 \text{ мм}.$$

3.19. Активний опір одної фази обмотки статора, приведення до робочої температури

$$r_1 = \frac{\rho_{Cu} w_1 l_{cp} \cdot 10^3}{n_{ел} q_{1ел} a_1} = \frac{24,4 * 10^{-9} * 270 * 565,12}{1 * 0,246 * 2} = 8,42 \text{ Ом}.$$

3.20. Коефіцієнт магнітної провідності пазового розсіювання

$$\lambda_{n1} = \frac{h_1}{3b'_{n1}} k_\beta + \left(\frac{h'_1}{b'_{n1}} + \frac{3h_{к1}}{b'_{n1} + 2b_{w1}} + \frac{h_{w1}}{b_{w1}} \right) k'_\beta = \frac{16,255}{3 * 3,9} + \left(\frac{0,5}{3,9} + \frac{3 * 1,645}{3,9 + 2 * 3} + \frac{0,8}{3} \right) = 2,49 ,$$

де $k_\beta = 1$ і $k_\beta' = 1$, оскільки обмотка з діаметральним кроком; значення h_1 визначаємо згідно з рис. Д.1.13. а (див. дод.), та за допомогою табл. Д.1.6 або згідно з рис. Д.1.14 та за допомогою табл. Д.1.7 (див. дод.).

$$h_1 = h_{z1} - h_{w1} - h_{\kappa1} - h_1' - h_{\beta} \\ = 19,6 - 0,8 - 1,645 - 0,5 - 0,4 = 16,25 \text{ мм.}$$

3.21. Коефіцієнт повітряного зазору

$$k_\delta = k_{\delta1} = 1 + \frac{b_{w1}}{t_1 - b_{w1} + (5 \delta t_1 / b_{w1})} = \\ = 1 + (3 / (8,6 - 3 + (5 * 0,5 * 8,635 / 3))) = 1,23.$$

3.22. Коефіцієнт магнітної провідності диференціального розсіювання

$$\lambda_{\delta1} = 0,9 t_1 (q_1 k_{об1})^2 k_{p.m1} k_{w1} k_{\delta1} / (\delta k_\delta) = \\ = 0,9 * 8,63 * (2 * 0,93)^2 * 0,94 * 0,93 * 0,0285 / (0,5 * 1,23) = 1,1. \\ k_{w1} = 1 - 0,033 b_{w1}^2 / t_1 \delta = 1 - 0,033 * 3^2 / 8,63 * 0,5 = 0,93.$$

3.23. Коефіцієнт магнітної провідності розсіювання лобових частин обмотки статора

$$\lambda_{n1} = 0,34 \frac{q_1}{l_1} (l_{n1} - 0,64 \beta \tau) = 0,34 \frac{2}{125} (157,5 - 0,64 * 1 * 51,81) = 0,67.$$

3.24. Коефіцієнт магнітної провідності розсіювання обмотки статора

$$\lambda_1 = \lambda_{n1} + \lambda_{\delta1} + \lambda_{n1} = 2,49 + 1,1 + 0,57 = 4,26.$$

3.25. Індуктивний опір розсіювання одної фази обмотки статора

$$x_1 = \frac{1,58 f_1 l_1 w_1^2}{p q_1 10^8} = \frac{1,58 * 50 * 125 * 270^2}{4 * 2 * 10^8} * 4,26 = 3,8 \text{ Ом.}$$

4. Короткозамкнена обмотка ротора

4.1. Робочий струм і стрижні ротора

$$I_{cm} = I_2 = 1,1 \cos \varphi_1' I_{ном} \frac{6 w_1 k_{об1}}{Z_2} = \\ = 1,1 * 0,72 * 3,5 \frac{6 * 270 * 0,935}{44} = 95,4 \text{ А.}$$

4.2. Щільність струму в стрижні ротора

$$\Delta_2 = I_{cm} / q_{cm} = 95,4 / 101,91 = 0,94 \text{ А / мм}^2,$$

де q_{cm} – переріз стрижня, мм^2 , $q_{cm} = S_{n2} = 101,91 \text{ мм}^2$.

4.3. Розміри короткозамикаючого кільця:

поперечний переріз

$$q_{кл} = 0,35 Z_2 q_{см} / 2 p = 0,35 * 44 * 101,91 / 8 = 196,17 \text{ мм}^2 ;$$

висота кільця

$$h_{кл} = 1,13_{z2} = 1,13 * 28,6 = 32,3 \text{ мм} ;$$

довжина кільця

$$l_{кл} = q_{кл} / h_{кл} = 196,17 / 32,3 = 6,07 \text{ мм} ;$$

середній діаметр кільця

$$D_{кл.ср} = D_2 - h_{кл} = 131 - 32,3 = 98,7 \text{ мм}.$$

4.4. Активний опір стрижня клітки:

розрахункова глибина проникнення струму в стрижні [див. дод. рис. Д.1.7]:

$$h_{э.н} = h_{см} / (1 + \varphi) = \frac{44 - 0,6}{1 + 1,6} = 116,69 .$$

Для визначення φ розраховують коефіцієнт ξ . В початковий момент пуску ($s = 1$) для алюмінієвої литої клітки за робочої температури 115 °С

$$\xi_{115} = 0,064 h_{см} \sqrt{s} = 0,064 * (44 - 0,6) = 2,7.$$

згідно з рис. Д.1.8 (див. дод.). $\varphi = 1,6$, тоді $h_{г.п} = 16,69$ мм;

ширина стрижня на розрахунковій глибині проникнення струму

$$\begin{aligned} b_{э.н} &= d'_{n2} - \frac{d'_{n2} - d_{n2}}{h_2} (h_{э.н} - 0,5 d'_{n2}) = \\ &= 5 - \frac{5 - 1,5}{24,76} (16,69 - 0,5 * 5) = 2,95 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Площина перерізу за розрахункової глибини проникнення струму

$$\begin{aligned} q_{э.н} &= 0,4 d'_{n2}^2 + [0,5 (d'_{n2} + b_{э.н}) * (h_{э.н} - 0,5 d'_{n2})] = \\ &= 0,4 * 5^2 + [0,5 (5 + 2,95) * (16,69 - 0,5 * 5)] = 66,4 \text{ мм}. \end{aligned}$$

$k_{в.с}$ – коефіцієнт, що враховує витіснення струму в стрижні

$$k_{в.с} = q_{ст} / q_{г.п} = 101,91 / 66,4 = 1,53.$$

Активний опір стрижня в робочому режимі ($k_{в.с} = 1$), приведений до робочої температури 115 °С

$$r_{см} = \frac{\rho_{Al} t_2 10^{-3}}{q_{см}} = \frac{48,8 * 10^{-9} * 125 * 10^{-3}}{101,91} = 5,98 * 10^{-5} \text{ Ом}.$$

Активний опір стрижня клітки, якщо $s = 1$, з урахуванням витіснення струму

$$r_{см.н} = r_{см} k_{в.с} = 5,98 * 10^{-5} * 1,53 = 9,15 * 10^{-5} \text{ Ом}.$$

4.5. Активний опір короткозамикаючих кілець

$$r_{кл} = \frac{2\pi D_{кл.ср} \rho_{Al} \cdot 10^3}{Z_2 q_{кл}} =$$

$$= 2 * 3,14 * 98,7 * 48,8 * 10^{-9} * 10^3 / 44 * 196,17 = 0,35 * 10^{-5} \text{ Ом.}$$

4.6. Активний опір кілець ротора, приведений до струму стрижня

$$r''_{кл} = r_{кл} / k_{np2} = 0,35 * 10^{-5} / 0,28 = 1,25 * 10^{-5} \text{ Ом,}$$

де k_{np2} – коефіцієнт приведення; якщо $Z_2 / 2p = 5,5 < 6$

$$k_{np2} \approx 2p / Z_2 = 2 * \sin(180 * 2 / 44) = 0,28.$$

4.7. Центральний кут скошу пазів

$$\alpha_{ск} = \pi * 2p \beta_{ск} / Z_2 = (3,14 * 2 * 2 * 0,92) / 44 = 0,26 ,$$

де $\beta_{ск} = t_1 / t_2 = 8,63 / 9,34 = 0,92$.

4.8. Коефіцієнт скошу пазів [див. дод. табл. Д.1.8]

$$k_{ск} = 0,998.$$

4.9. Коефіцієнт приведення опору обмотки ротора до обмотки статора

$$k_{np1} = 4(m_1 / Z_2) * (w_1 k_{об1} / k_{ск})^2 =$$

$$= 4 * \left(\frac{3}{44}\right) * \left(\frac{270 * 0,935}{0,998}\right)^2 = 1,745 * 10^4.$$

4.10. Активний опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора:

в робочому режимі

$$r'_2 = k_{np1} (r_{см} + r''_{кл}) =$$

$$= 1,745 * 10^4 * (5,98 * 10^{-5} + 1,25 * 10^{-5}) = 1,26 \text{ Ом;}$$

в початковий момент пуску з урахуванням витіснення струму

$$r'_{2n} = k_{np1} (r_{см.n} + r''_{кл}) = 1,745 * 10^4 * (9,15 + 1,25) * (10^{-5}) = 1,81 \text{ Ом.}$$

4.11. Коефіцієнт магнітної провідності розсіювання пазів ротора: в номінальному режимі

$$\lambda_{n2} = C_\lambda + 0,3 + \left(\frac{1,12 h_{м2} * 10^3}{I_2}\right) =$$

$$= 2,029 + 0,3 + (1,12 * 0,6 * 10^3 / 95,4) = 9,37,$$

де C_λ знаходжу наступним чином:

$$C_\lambda = \psi \left[\frac{h_2 + 0,4 d_{n2}}{3 d'_{n2}} \left(1 - \frac{\pi d_{n2}'^2}{8 Q_{см}} \right)^2 + 0,66 - \frac{b_{ш2}}{2 d'_{n2}} \right] = 1 * \left[\frac{24,76 + 0,4 * 1,5}{3 * 5} * \left(1 - \frac{3,14 * 5^2}{8 * 101,91} \right)^2 + 0,66 \right] = 2,029.$$

Для номінального режиму $\psi = 1$;

в початковий момент пуску з урахуванням витіснення струму [$\xi_{115} = 2,7$;

$\psi = 0,5$ [див. дод. рис. Д.1.8]

$$C'_\lambda = \psi C_\lambda = 0,5 * 2,029 = 1,01;$$

$$\lambda'_{n2} = C'_\lambda + 0,3 + \left(\frac{1,12 h_{m2} \cdot 10^3}{I_2} \right) =$$

$$= 1,01 + 0,3 + (1,12 * 0,6 * 10^3 / 95,4) = 8,35.$$

4.12. Коефіцієнт магнітної провідності диференціального розсіювання

$$\lambda_{\partial 2} = \frac{0,9 t_2 (Z_2 / 6 p)^2 k_{\partial 2}}{\delta k_\delta} =$$

$$= 0,9 * 9,34 * (44 / 6 * 2)^2 * 0,004 / (0,5 * 1,23) = 2,005,$$

де $k_{\partial 2}$ - коефіцієнт диференціального розсіювання ротора, $k_{\partial 2} = 0,04$ згідно з рис. Д.1.9 (див. дод.), якщо $q_2 = 44 / 3 * 8 = 1,83$.

4.13. Коефіцієнт магнітної провідності розсіювання короткозамикаючих кілець клітки ротора

$$\lambda_{кл} = \frac{2,3 D_{кл.ср}}{Z_2 l_2 k_{пр}^2} \lg \frac{4,7 D_{кл.ср}}{2 h_{кл} + 2 l_{кл}} =$$

$$= \frac{2,3 * 98,7}{44 * 125 * 0,28^2} * \lg \frac{4,7 * 98,7}{2 * 32,3 + 2 * 6,07} = 0,41.$$

4.14. Коефіцієнт магнітної провідності розсіювання скосу пазів ротора

$$\lambda_{ск} = \frac{t_2 \beta_{ск}^2}{9,5 \delta k_\delta k'_\mu} = \frac{9,34 * 0,92^2}{9,5 * 0,5 * 1,32 * 1,2} = 1,13,$$

де k'_μ - попереднє значення коефіцієнта насичення магнітного контуру, $k'_\mu = 1,2$.

4.15. Коефіцієнт магнітної провідності розсіювання обмотки ротора: в номінальному режимі

$$\lambda_2 = \lambda_{n2} + \lambda_{\partial 2} + \lambda_{кл} + \lambda_{ск} = 9,37 + 2,005 + 0,41 + 1,13 = 12,915;$$

в початковий момент пуску

$$\lambda'_2 = \lambda'_{n2} + \lambda_{\partial 2} + \lambda_{кл} + \lambda_{ск} = 8,35 + 2,005 + 0,41 + 1,13 = 11,89.$$

4.16. Індуктивний опір розсіювання обмотки ротора: в номінальному режимі

$$x_2 = 7,9 f_1 l_2 \lambda_2 \cdot 10^{-9} =$$

$$= 7,9 * 50 * 125 * 12,915 * 10^{-9} = 0,637 * 10^{-3} \text{ Ом};$$

в початковий момент пуску

$$x_{2n} = 7,9 f_1 l_2 \lambda'_2 \cdot 10^{-9} = 7,9 * 50 * 125 * 11,89 * 10^{-9} = 0,587 * 10^{-3} \text{ Ом}.$$

4.17. Індуктивний опір розсіювання обмотки ротора, приведений до обмотки статора:

в номінальному режимі

$$x'_2 = k_{пр1} x_2 = 1,745 * 10^4 * 0,637 * 10^{-3} = 11,12 \text{ Ом};$$

в початковий момент пуску

$$x_{2n}' = k_{np1} x_{2n} = 1,745 * 10^4 * 0,587 * 10^{-3} = 10,24 \text{ Ом.}$$

5. Магнітний ланцюг

5.1. Магнітне напруження повітряного зазору

$$F_{\delta} = 0,8 B_{\delta} \delta k_{\delta} \cdot 10^3 = 0,8 * 1,57 * 0,35 * 0,5 * 10^3 = 219,8 \text{ А.}$$

5.2. Магнітна індукція в зубці статора

$$B_{z1} = B_{\delta} t_1 / k_{c1} b_{z1} = 1,57 * 8,63 / 0,95 * 7,7 = 1,85 \text{ Тл.}$$

5.3. Напруженість магнітного поля в зубці статора H_{z1} знаходимо за кривими намагнічування для зубців сталі марки 2013, оскільки $B_{z1} > 1,8$ Тл [див. дод. табл. Д.1.9]. Коефіцієнт, що враховує відгалуження частини магнітного потоку в паз

$$k_{n1} = t_{1(1/3)} / b_{z1} k_{c1} = 9,48 / (7,7 * 0,95) = 1,29,$$

$$\text{де } t_{1(1/3)} = \pi [D_1 + (2/3)h_{z1}] / Z_1 = \pi [132 + (2/3) * 19,6] / 48 = 9,48 \text{ мм.}$$

Згідно з табл. Д.1.9 (див. дод.), якщо $B_{z1} = 1,8$ Тл, і $k_{n1} = 1,29$, обираю $H_{z1} = 1670$ А/м.

5.4. Магнітна напруга зубцевого шару статора

$$F_{z1} = 10^{-3} H_{z1} h_{z1} = 10^{-3} * 1670 * 19,6 = 32,73 \text{ А.}$$

5.5. Магнітна індукція в зубці ротора

$$B_{z2} = B_{\delta} t_2 / k_{c2} b_{z2} = 1,57 * 9,34 / (0,97 * 3,9) = 3,8 \text{ Тл.}$$

5.6. Напруженість поля в зубці ротора: оскільки $B_{z2} > 1,8$ Тл, то H_{z2} знаходжу за табл. намагнічування зубців АД для сталі марки 2013 [див. дод. табл. Д.1.10]; $H_{z2} = 3700$ А/м.

5.7. Магнітна напруга зубцевого прошарку ротора

$$F_{z2} = 10^{-3} H_{z2} (h_{z2} - 0,4 d_{n2}) = \\ = 10^{-3} * 3700 * (28,6 - 0,4 * 1,5) = 103,6 \text{ А.}$$

5.8. Коефіцієнт насичення зубцевого прошарку статора і ротора

$$k_{\mu z} = (F_{\delta} + F_{z1} + F_{z2}) / F_{\delta} = (219,8 + 32,73 + 103,6) / 219,8 = 1,62.$$

5.9. Магнітна індукція в спинці статора

$$B_{c1} = 0,5 \alpha_i \tau B_{\delta} / h_{c1} k_{c1} = 0,5 * 0,64 * 51,81 * 1,57 / 9,9 * 0,95 = 2,76 \text{ Тл.}$$

5.10. Напруженість магнітного поля в спинці статора обираю згідно з табл. намагнічування спинки АД для сталі марки 2013 [див. дод. табл. Д.1.11]

$$H_{c1} = 915 \text{ А/м.}$$

5.11. Довжина середньої силової лінії в спинці статора

$$L_{c1} = \pi (D_{1н} - h_{c1}) / 2 p = \pi (191 - 9,9) / 8 = 71,08 \text{ мм.}$$

5.12. Магнітна напруженість в спинці статора

$$F_{c1} = 10^{-3} H_{c1} L_{c1} = 10^{-3} * 915 * 71,08 = 65,03 \text{ А.}$$

5.13. Магнітна індукція в спинці ротора

$$B_{c2} = 0,5 \alpha_i \tau B_{\delta} / h_{c2} \quad k_{c2} = 0,5 * 0,64 * 51,81 * 1,57 / 15,4 * 0,97 = 1,74 \text{ Тл.}$$

5.14. Напруженість магнітного поля в спинці ротора обираю згідно з табл. намагнічування для спинки АД [див. дод. табл. Д.1.11]

$$H_{c2} = 382 \text{ А/м.}$$

5.15. Довжина середньої силової лінії в спинці ротора

$$L_{c2} = \left((\pi/2p)(D_2 - 2h_{z2} - h_{c2}) \right) + h_{c2} = \\ = \left((\pi/8)(131 - 2 * 28,6 - 15,4) \right) + 15,4 = 58,52 \text{ мм.}$$

5.16. Магнітна напруга в спинці ротора

$$F_{c2} = 10^{-3} H_{c2} L_{c2} = 10^{-3} * 382 * 58,52 = 22,35 \text{ А.}$$

5.17. Сумарна МДС на пару полюсів

$$\Sigma F = 2F_{\delta} + 2F_{z1} + 2F_{z2} + 2F_{c1} + 2F_{c2} = \\ = 2 * 219,8 + 2 * 32,73 + 2 * 103,6 + 65,03 + 22,3 = 799,64 \text{ А.}$$

5.18. Коефіцієнт насичення магнітного ланцюга двигуна

$$k_{\mu} = \Sigma F / 2F_{\delta} = 799,64 / 2 * 219,8 = 1,81.$$

5.19. Намагнічувальний струм статора

$$I_{\mu} = p \Sigma F / 0,9 m_1 w_1 k_{об1} = 2 * 799,64 / (0,9 * 3 * 270 * 0,935) = 2,34 \text{ А.}$$

5.20. Головний індуктивний опір обмотки статора

$$x_m = k_E U_{1ном} / I_{\mu} = 0,96 * 380 / 2,34 = 155,89 \text{ Ом.}$$

5.21. Коефіцієнт магнітного розсіювання

$$\sigma_{\mu} = x_1 / x_m = \frac{7,66}{155,89} = 0,04;$$

оскільки $k_{\mu} < 1,7$ і $\sigma_{\mu} = 0,04 < 0,05$, то розрахунок ЕДС E_0 не потрібен.

6. Втрати і ККД

6.1. Основні магнітні втрати в спинці статора

$$P_{m.c1} = 1,7 P_{1,0/50} B_{c1}^2 G_{c1} = 1,7 * 2,5 * 2,76^2 * 5,21 = 168,67 \text{ Вт,}$$

де G_{c1} – розрахункова маса спинки статора

$$G_{c1} = 7,8 \cdot 10^{-6} l_i k_{c1} h_{c1} \pi (D_{1н} - h_{c1}) = \\ = 7,8 * 10^{-6} * 125 * 0,95 * 9,9 * \pi (191 - 9,9) = 5,21 \text{ кг.}$$

6.2. Основні магнітні втрати в зубцях статора

$$P_{m.z1} = 1,7 P_{1,0/50} B_{z1}^2 G_{z1} = 1,7 * 2,5 * 1,85^2 * 4,89 = 71,12 \text{ Вт,}$$

де G_{z1} – розрахункова маса сталі зубцевого прошарку

$$G_{z1} = 7,8 \cdot 10^{-6} l_i k_{c1} [h_{z1} \pi (D_1 + h_{z1}) - S_{n1} Z_1] = \\ = 7,8 \cdot 10^{-6} \cdot 125 \cdot 0,95 [19,6 \cdot \pi (132 + 19,6) - 84,17 \cdot 48] = 4,89 \text{ кг.}$$

$S_{п1}$ – площа пазу в штампі

$$S_{п1} = 0,5(b_{n1} + b_{n1}') h_{n1} + 0,5(b_{n1}' + b_{w1}) h_{к1} + b_{w1} h_{w1} = \\ = 0,5(6,29 + 3,9) \cdot 17,16 + 0,5(3,9 + 3) \cdot 1,64 + 3 \cdot 0,8 = 84,14 \text{ мм}^2.$$

6.3. Основні магнітні втрати

$$P_m = P_{m.c1} + P_{m.z1} = 168,67 + 71,12 = 239,79 \text{ Вт.}$$

6.4. Електричні втрати в обмотці статора

$$P_{e1} = m_1 I_1^2 r_1 = 3 \cdot 3,43^2 \cdot 8,42 = 297,18 \text{ Вт.}$$

6.5. Електричні втрати в обмотці ротора

$$P_{e2} = m_2 I_2^2 r_2 = 38 \cdot 95,4^2 \cdot 7,2 \cdot 10^{-5} = 24,9 \text{ Вт,}$$

де $r_2 = r_{cm} + r_{кл}'' = 5,98 + 1,25 \cdot 10^{-5} = 7,2 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$

6.6. Механічні втрати

$$P_{mex} = k_m (n_1 \cdot 10^{-3})^2 (D_{1н} \cdot 10^{-2})^4 = \\ = (750 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (191 \cdot 10^{-2})^4 = 7,48 \text{ Вт,}$$

6.7. Додаткові втрати за номінального навантаження двигуна

$$P_{дод} = 0,005 P_{ном} \cdot 10^3 / \eta' = 0,005 \cdot 2200 / 0,76 = 14,47 \text{ Вт.}$$

6.8. Сумарні втрати

$$\Sigma P = (P_m + P_{e1} + P_{e2} + P_{mex} + P_{дод}) \cdot 10^{-3} = \\ = 239,76 + 297,18 + 24,9 + 7,48 + 14,47 = 596,04 \text{ Вт.}$$

6.9. Підведена до двигуна потужність

$$P_1 = P_{ном} + \Sigma P = 2200 + 596,04 = 2796,04 \text{ Вт.}$$

6.10. ККД двигуна

$$\eta = P_{ном} / P_1 = \frac{2200}{2796,04} = 0,78.$$

7. Робочі характеристики

7.1. Розрахунковий опір

$$R' = r_2' \left(\left[\frac{r_1'}{r_2'} * \left(1 + \frac{x_2'}{x_m} \right) \right]^2 + \left[\frac{x_1'}{r_2'} * \left(1 + \frac{x_2'}{x_m} \right) + \frac{x_2'}{r_2'} \right]^2 \right) =$$

$$= 1,261 * \left(\left[\frac{8,42}{1,26} * \left(1 + \frac{11,12}{155,89} \right) \right]^2 + \left[\frac{7,66}{1,26} * \left(1 + \frac{11,12}{155,89} \right) + \frac{11,12}{1,26} \right]^2 \right) =$$

$$= 299,57 \text{ Ом.}$$

7.2. Повна механічна потужність

$$P_2' = P_2 + P_{\text{дод}} + P_{\text{мех}} = 2200 + 14,47 + 7,48 = 2222 \text{ Вт.}$$

7.3. Величина A

$$A = m_1 U_{\text{ном}}^2 / (2 P_2') - r_1 = 3 * 380^2 / (2 * 2222) - 8,42 = 89,1.$$

7.4. Величина B

$$B = 2 A + R' = 2 * 89,1 + 299,57 = 477,77.$$

7.5. Ковзання

$$S_{\text{ном}} = \frac{A - \sqrt{A^2 - c_1^2 r_2' B}}{B} =$$

$$= (89,1 - \sqrt{89,1^2 - 1,04^2 * 1,26 * 477,77}) / 477,77 = 0,007.$$

де $c_1 = 1 + x_1 / x_m = 1 + 7,66 / 155,89 = 1,04$.

7.6. Еквівалентні опори робочого ланцюга схеми заміщення:

активний

$$r_{\text{екв}} = c_1 r_1 + c_1^2 r_2' / s = (1,04 * 8,42 + 1,04^2 * 1,26) / 0,007 = 203,4 \text{ Ом};$$

індуктивний

$$x_{\text{екв}} = c_1 x_1 + c_1^2 x_2' = 1,04 * 7,66 + 1,04^2 * 11,12 = 19,99 \text{ Ом};$$

повний

$$z_{\text{екв}} = \sqrt{r_{\text{екв}}^2 + x_{\text{екв}}^2} = \sqrt{203,4^2 + 19,99^2} = 204,37 \text{ Ом.}$$

7.7. Коефіцієнт потужності в робочому ланцюгу схеми розміщення

$$\cos \phi_2' = r_{\text{екв}} / z_{\text{екв}} = 203,4 / 204,37 = 0,995.$$

7.8. Струм в робочому ланцюгу схеми заміщення:

повний

$$I_2'' = U_{\text{ном}} / z_{\text{екв}} = 380 / 204,37 = 1,85 \text{ А};$$

активна складова струму

$$I_{2a}'' = I_2'' \cos \phi_2' = 1,85 * 0,995 = 1,84 \text{ А};$$

реактивна складова струму

$$I_{2p}'' = I_2'' \sin \varphi_2' = 1,85 * 0,214 = 0,39 \text{ A} .$$

7.9. Струм статора:

активна складова

$$I_{1a} = I_{0a} + I_{2a}'' = 0,25 + 1,84 = 2,09 \text{ A} ;$$

реактивна складова

$$I_{1p} = I_{0p} + I_{2p}'' = 2,34 + 0,39 = 2,73 \text{ A} ;$$

повний струм

$$I_{1ном} = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2} = \sqrt{2,09^2 + 2,73^2} = 3,43 \text{ A} .$$

7.10. Коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi_{1ном} = I_{1a} / I_{1ном} = 2,09 / 3,5 = 0,59 .$$

7.11. Споживана двигуном потужність

$$P_{1ном} = m_1 U_{1ном} I_{1a} = 3 * 380 * 2,09 = 2382,6 \text{ Вт} .$$

7.12. Електромагнітна потужність

$$P_{ем} = (P_1 - (P_{e1} + P_m)) \cdot 10^{-3} \\ = (2796,04 - (297,18 + 239,76)) \cdot 10^{-3} = 2,259 \text{ кВт} .$$

7.13. Частота обертання ротора

$$n_{ном} = n_1 (1 - S_{ном}) = 750 (1 - 0,007) = 744,75 \text{ об / хв} .$$

7.14. Електромагнітний момент

$$M_{ном} = 9,55 P_{ем} \cdot 10^3 / n_{ном} = 9,55 * 2259,1 / 744,75 = 28,8 \text{ Нм} .$$

7.15. ККД двигуна

$$\eta = P_{ном} / P_{1ном} = \frac{2200}{2382,6} = 0,92 .$$

7.16. Критичне ковзання

$$s_{кр} \approx c_1 r_2' / (x_1 + c_1 x_2') = 1,04 * 1,26 / (7,66 + 1,04 * 11,12) = 0,06 .$$

7.17. Перенавантажувальна здатність двигуна

$$\frac{M_{max}}{M_{ном}} \approx \frac{(s_{ном} / s_{кр}) + (s_{кр} / s_{ном}) + R_{кр}}{2 + R_{кр}} = \frac{\frac{0,007}{0,06} + \frac{0,06}{0,007} + 0,77}{2 + 0,77} = 3,4 ,$$

де $R_{кр} = 2r_1 s_{кр} / c_1 r_2' = 2 * 8,42 * 0,06 / 1,04 * 1,26 = 0,77 \text{ Ом} .$

8. Пускові параметри двигуна

8.1. Активний опір короткого замикання, якщо $s=1$

$$r_{к.н}' = c_1 r_1 + c_1^2 r_{2н}' = 1,04 * 8,42 + 1,04^2 * 1,81 = 10,71 \text{ Ом} .$$

8.2. Складова коефіцієнта пазового розсіювання статора, яка залежна від насичення

$$\lambda_{n1 \text{ зм}} = \left(\frac{3h_{\kappa 1}}{b'_2 + 2b_{w1}} + \frac{h_w}{b_{w1}} \right) k'_\beta = \left(\frac{3 * 1,645}{3,9 + 2 * 3} + \frac{0,8}{3} \right) * 1 = 0,76.$$

8.3. Змінна складова коефіцієнта провідності розсіювання статора

$$\lambda_{1 \text{ зм}} = \lambda_{n1 \text{ зм}} + \lambda_{\partial 1} = 0,76 + 1,1 = 1,86.$$

8.4. Складова коефіцієнта пазового розсіювання ротора, яка залежить від насичення

$$\lambda_{n2 \text{ пер}} = 1,12 \cdot 10^3 h_{m2} / I_2 = 1,12 * 10^3 * 0,6 / 95,4 = 7,04.$$

8.5. Змінна складова коефіцієнта провідності розсіювання ротора

$$\lambda_{2 \text{ зм}} = \lambda_{n2 \text{ зм}} + \lambda_{\partial 2} = 7,07 + 2,005 = 9,075.$$

8.6. Змінна складова індуктивного опору короткого замикання

$$x_{\text{зм}} = \left(\frac{c_1 x_1 \lambda_{1 \text{ зм}}}{\lambda_1} \right) + \left(\frac{c_1^2 x'_{2n} \lambda_{2 \text{ зм}}}{\lambda_2'} \right) =$$

$$= (1,04 * 7,66 * 1,86 / 4,26) + (1,04^2 * 10,24 * 9,075 / 11,89) = 11,93 \text{ Ом}.$$

8.7. Постійна складова індуктивного опору короткого замикання

$$x_{\text{пост}} = c_1 x_1 \frac{\lambda_1 - \lambda_{1 \text{ зм}}}{\lambda_1} + c_1^2 x'_{2n} \frac{\lambda_2' - \lambda_{2 \text{ зм}}}{\lambda_2'}$$

$$= 1,04 * 7,66 * \frac{4,26 - 1,86}{4,26} + 1,04^2 * 10,24 * \frac{11,89 - 9,075}{11,89} = 17,36 \text{ Ом}.$$

8.8. Індуктивний опір короткого замикання для пускового режиму

$$x'_{\kappa.n} \approx x_{\text{пост}} + k_x x_{\text{зм}} = 17,36 + 0,25 * 11,93 = 20,34 \text{ Ом},$$

де $k_x = 0,25$.

8.9. Початковий пусковий струм

$$I_{1n} \approx U_{1\text{ном}} / \sqrt{r'_{\kappa.n}{}^2 + x'_{\kappa.n}{}^2} = \frac{380}{\sqrt{10,71^2 + 20,34^2}} = 16,53 \text{ А};$$

кратність пускового струму

$$I_{1n} / I_{1\text{ном}} = \frac{25,63}{3,5} = 7,32 \text{ А}.$$

8.10. Початковий пусковий момент

$$M_n = p m_1 I_{1n}^2 r'_{2n} / 2\pi f_1 = 2 * 3 * 16,53^2 * 1,81 / 2 * \pi * 50 = 9,45 \text{ Нм}.$$

кратність пускового моменту

$$M_n / M_{ном} = \frac{9,45}{28,6} = 0,33 \text{ Нм.}$$

9. Тепловий розрахунок

9.1. Перевищення температури внутрішньої поверхні сердечника статора над температурою повітря всередині двигуна

$$\begin{aligned} \Delta \Theta_{нов1} &= k \frac{k_{\Theta} P_{e1} (2l_1 / l_{cp1}) + P_m}{\pi D_1 l_1 \alpha_1} = \\ &= 0,2 * \frac{1,07 * 309,43 * \left(\frac{2 * 125}{565} \right) + 239,76}{\pi * 132 * 125 * 11,2 * 10^{-5}} = 13,31 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{aligned}$$

де $\alpha_1 = 11,2 \cdot 10^{-5} \text{ Вт/(мм}^2 \cdot \text{ } ^\circ\text{C)}$; $k = 0,2$ і $k_{\Theta} = 1,07$.

9.2. Перепад температури в ізоляції пазової частини обмотки статора

$$\begin{aligned} \Delta \Theta_{із1} &= \frac{k_{\Theta} P_{e1} (2l_1 / l_{cp1})}{Z_1 \Pi_1 l_1} \left(\frac{c_{n1}}{\lambda_{екв}} + \frac{b_{n1} + b'_{n1}}{16 \lambda'_{екв}} \right) = \\ &= \frac{1,07 * 309,43 * \left(\frac{2 * 125}{565} \right)}{48 * 54,7 * 125} * \left(\frac{1,03}{16 * 10^{-5}} + \frac{6,29 + 3,9}{16 * 120 * 10^{-5}} \right) = 3,1 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{aligned}$$

де $\Pi_1 = 2h_{n1} + b'_{n1} + b_{n1} = 2 * 17,16 + 3,9 + 6,29 = 54,7 \text{ мм}$;

згідно з рис. Д.1.11., якщо $d/d_{із} = 0,93$

$$\lambda'_{екв} = 120 * 10^{-5} \text{ Вт/(мм} * \text{ } ^\circ\text{C)}.$$

9.3. Перевищення температури зовнішньої поверхні лобових частин обмотки статора над температурою повітря всередині двигуна

$$\Delta \Theta_{л1} = \frac{k k_{\Theta} P_{e1} (2l_{л1} / l_{cp1})}{2 \pi D_1 l_{л1} \alpha_1} = \frac{1,07 * 309,43 * \left(\frac{2 * 125}{565} \right)}{2 * \pi * 132 * 51,58 * 11,2 * 10^{-5}} = 30,59 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

9.4. Перепад температури в ізоляції лобової частини обмотки статора. Оскільки лобова частина обмотки статора не має додаткової ізоляції, то перший доданок в дужках буде = 0.

$$\Delta \Theta_{із.л1} = \frac{k_{\Theta} P_{e1} (2l_{л1} / l_{cp1})}{2 Z_1 \Pi_{л1} l_{л1}} * \left(\frac{C_{л1}}{\lambda_{екв}} + \frac{h_{н1}}{12 \lambda'_{екв}} \right) =$$

$$= \frac{1,07 * 309,43 * \left(\frac{2 * 125}{565}\right)}{2 * 48 * 55 * 125} * \left(0 + \frac{17,16}{12 * 120 * 10^{-5}}\right) = 0,26 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

9.5. Середнє перевищення температури обмотки статора над температурою повітря всередині двигуна

$$\begin{aligned} \Delta \Theta'_1 &= (\Delta \Theta_{пов1} + \Delta \Theta_{із1}) \frac{2l_1}{l_{cp1}} + (\Delta \Theta_{л1} + \Delta \Theta_{із.л1}) \frac{2l_1}{l_{cp1}} = \\ &= (13,31 + 3,1) * \frac{2 * 125}{565} + (30,59 + 0,26) * \frac{2 * 125}{565} = 20,89 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

9.6. Умовна поверхня охолодження двигуна

$$\begin{aligned} S_{дв} &= (\pi D_{1н} + 8n_p h_p)(l_1 + 2l_{e1}) = \\ &= (\pi * 191 + 8 * 200)(125 + 2 * 51,58) = 501892 \text{ мм}^2. \end{aligned}$$

9.7. Сумарні втрати, що відводяться в повітря всередині двигуна

$$\begin{aligned} \Sigma P_g &= \Sigma P' - (1 - k)(P_{e.n1} + P_m) - 0,9 P_{мех} = \\ &= 572,64 - (1 - 0,2)(146,5 + 239,76) - 0,9 * 7,48 = 256,9 \text{ Вт}, \end{aligned}$$

де

$$P_{e.n1} = k_\Theta P_{e1} \frac{2l_1}{l_{cp1}} = 1,07 * 309,43 * \frac{2 * 125}{565} = 146,50 \text{ Вт};$$

$$\begin{aligned} \Sigma P' &= \Sigma P - (k_\Theta - 1)(P_{e1} + P_{e2}) = \\ &= 596,04 - (1,07 - 1)(309,43 + 24,9) = 572,64 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

9.8. Середнє перевищення температури повітря всередині двигуна над температурою охолоджуючого середовища

$$\Delta \Theta_g = \Sigma P_g / S_{дв} = \alpha_g = \frac{256,9}{501892} = 34,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Згідно з рис. Д.1.10 (див. дод.), якщо $D_{1н} = 191 \text{ мм}$, $\alpha_g = 1,7 * 10^{-5}$.

9.9. Середнє перевищення температури обмотки статора над температурою охолоджуючого середовища

$$\Delta \Theta_1 = \Delta \Theta'_1 + \Delta \Theta_g = 20,89 + 34,7 = 55,59 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Отримане значення перевищення температури не перевищує допустимого значення для класу нагрівостійкості F.

10. Розрахунок вентиляції

10.1. Наружний діаметр відцентрового вентилятора обираю $D_n=200$ мм.

10.2. Окружна швидкість лопаток за зовнішнім діаметром вентилятора

$$v_n = \pi D_n n_{ном} / 60 \cdot 10^3 = \pi * 200 * 744,75 / 60 \cdot 10^3 = 7,79 \text{ м/с.}$$

10.3. Необхідна витрата охолоджуючого повітря для способу охолодження 1C0141

$$\begin{aligned} \Theta_e &= 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \Sigma P_e * \sqrt{n_{ном} \cdot 10^{-3} D_n \cdot 10^{-2} / \Delta \Theta_e} = \\ &= 0,9 \cdot 10^{-3} * 2,6 * 256,9 * \sqrt{744,75 \cdot 10^{-3} * 200 \cdot 10^{-2} / 34,7} = 0,024 \text{ м}^3/\text{с}. \end{aligned}$$

10.4. Поперечний переріз міжлопаткового каналу на виході повітря

$$S_e = 2 \cdot 10^6 Q_e / 0,45 v_n = 2 \cdot 10^6 * 0,02 / 0,45 * 7,79 = 11410,64 \text{ мм}^2.$$

10.5. Аеродинамічний опір

$$\begin{aligned} Z &= 12,3 (n_{ном} \cdot 10^{-3})^2 * (D_{1н} \cdot 10^{-2})^2 / Q_e^2 \\ &= 12,3 (744,75 \cdot 10^{-3})^2 * (191 \cdot 10^{-2})^2 / 0,02^2 = 43208 \text{ Па} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^6. \end{aligned}$$

10.6. Окружна швидкість лопаток за внутрішнім діаметром вентилятора

$$v_{вн} = \sqrt{v_n - 1,85 Z Q_e^2} = \sqrt{7,79 - 1,85 * 43208 * 0,02^2} = 2,7 \text{ м/с.}$$

10.7. Внутрішній діаметр вентилятора

$$D_{вн} = 60 \cdot 10^3 v_{вн} / \pi n_{ном} = 60 \cdot 10^3 * 2,7 / \pi * 744,75 = 69,2 \text{ мм.}$$

10.8. Число лопаток вентилятора

$$N_l = 6 D_n / (D_n - D_{вн}) = 6 * 200 / (200 - 69,2) = 9,1 \approx 9$$

10.9. Площина одної лопатки вентилятора

$$S_l = S_e (D_n - D_{вн}) / 2 \pi D_n = 11410,64 * \frac{200 - 69,2}{2 * \pi * 200} = 1186,7 \text{ мм}^2.$$

11. Розрахунок та побудова робочої та механічної характеристики асинхронного двигуна

В табл. 1 запишемо дані для побудови робочої характеристики асинхронного двигуна.

Таблиця 1

Параметри робочих характеристик асинхронного двигуна

Розрахункова формула	Відносна потужність				
	0,25	0,50	0,75	1,0	1,25
$P_2 = P_{ном} P_{2*}, \text{Вт}$	550	1100	1650	2200	2750
$P'_{\text{дод}} = P_{\text{дод}} P_{2*}^2, \text{Вт}$	0,90	3,62	8,14	14,47	22,6
$P'_2 = P_2 + P'_{\text{дод}} + P_{\text{мех}}, \text{Вт}$	558,4	1111,1	1665,6	2222	2780,1

$A = m_1 U_{1НОМ}^2 / (2P_2') - r_1$	290	157,2	105	89,1	59,7
$B = 2A + R'$	879,57	613,9	509,6	477,77	418,9
$s = [A - \sqrt{A^2 - c_1^2 r_2' B}] / B$	0,002	0,004	0,006	0,007	0,01
$r_{екв} = c_1 r_1 + c_1^2 r_2' / s, \text{ Ом}$	690,2	349,5	235,9	203,4	145
$x_{екв} = c_1 x_1 + c_1^2 x_2', \text{ Ом}$	19,99	19,99	19,9	19,9	19,99
$z_{екв} = \sqrt{r_{екв}^2 + x_{екв}^2}, \text{ Ом}$	690,5	350,1	236,7	204,4	146,4
$\cos \varphi_2' = r_{екв} / z_{екв}, \text{ A}$	0,999	0,998	0,996	0,995	0,99
$I_2'' = U_1 / z_{екв}, \text{ A}$	0,55	1,08	1,61	1,85	2,59
$I_{2a}'' = I_2'' \cos \varphi_2', \text{ A}$	0,54	1,07	1,6	1,84	2,56
$I_{2p}'' = I_2'' \sin \varphi_2', \text{ A}$	0,12	0,23	0,34	0,39	0,55
$I_{1a} = I_{0a} + I_{2a}'', \text{ A}$	0,79	1,32	1,85	2,09	2,81
$I_{1p} = I_{0p} + I_{2p}'', \text{ A}$	2,46	2,57	2,68	2,73	2,89
$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}, \text{ A}$	2,57	2,89	3,26	3,43	4,03
$\cos \varphi_1 = I_{1a} / I_1$	0,31	0,46	0,57	0,61	0,69
$P_1 = m_1 U_1 I_{1a}, \text{ Вт}$	900,6	1504,8	2109	2382,6	3203,4
$\eta = P_2 / P_1$	0,79	0,86	0,89	0,92	0,98
$P_{e1} = m_1 I_1^2 r_1, \text{ Вт}$	166,83	210,97	268,45	297,18	410,24
$P_{em} = (P_1 - (P_{e1} + P_m)) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}$	0,36	0,96	1,57	1,85	2,6
$n_2 = n_1 (1 - s), \text{ об/хв}$	748,5	747	745,5	744,75	742,5
$M = 9,55 \cdot 10^3 P_{em} / n_2, \text{ Н} \cdot \text{м}$	4,67	12,27	20,11	28,8	33,4

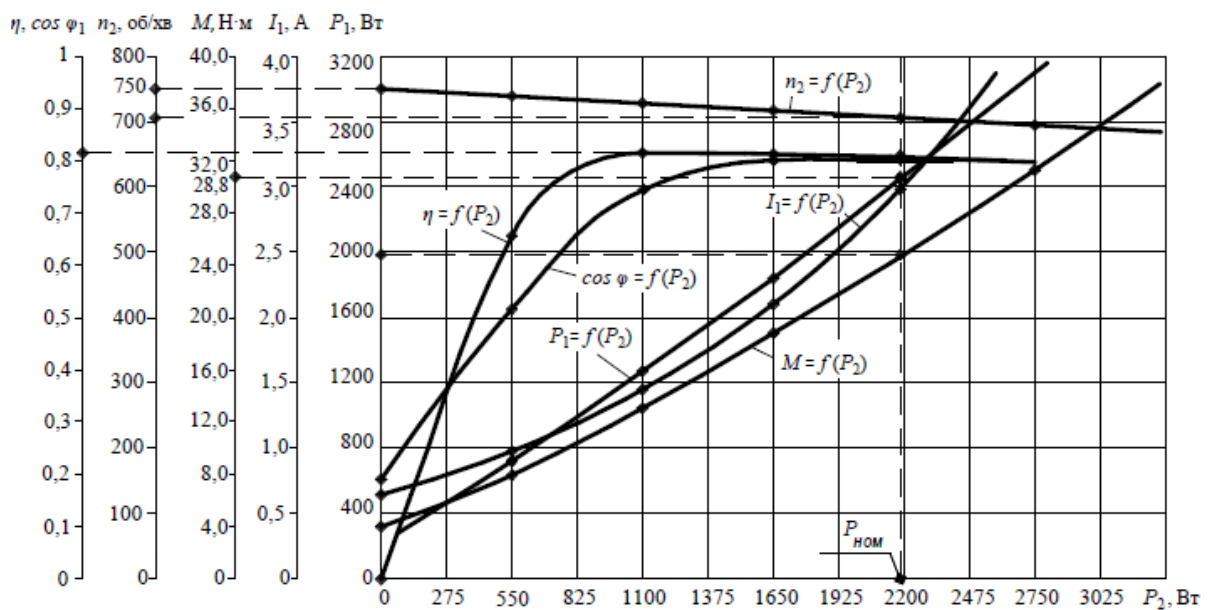


Рис. 1.4. Робочі характеристики асинхронного двигуна:

$P_{\text{ном}} = 2200$ – номінальна потужність, Вт; $M_n = 28,8$ – номінальний момент, Н·м; $n_2 = 744,75$ – номінальна частота обертання, об/хв; $\eta = 0,81$ – ККД; $\cos\varphi = 0,81$ – коефіцієнт потужності

Розрахунок механічної характеристики проводиться за формулою:

$$M = \frac{m_1 * \left(U^2 * \frac{r_2'}{S} \right)}{\omega_1 * \left((r_1 + r_2'/S)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right)}$$

де $m_1=3$ – число фаз; $U=380$ В – напруга, В; $r_2' = 1,26$ – наведений активний опір обмотки ротора, Ом; S – ковзання асинхронного двигуна; $\omega_1 = 78,53$ – кутова частота обертання магнітного поля статора, рад/с; $r_1 = 8,42$ – активний опір обмотки статора, Ом; $x_1 = 3,8$ – індуктивний опір обмотки статора, Ом; $x_2' = 11,12$ – індуктивний опір обмотки ротора, приведений до статора, Ом.

В табл. 2 запишемо дані для побудови механічної характеристики асинхронного двигуна.

Таблиця 2

Параметри механічної характеристики асинхронного двигуна

S	ω , рад/с	M, Н·м
1	0	15,64
0,9	7,85	17,28
0,8	15,7	19,29
0,6	31,4	25,1
0,4	47,1	35,8
0,2	62,8	61,2
0,1	70,68	87,7
$S_{кр} 0,06$	73,82	95,25
0,04	75,39	8,37
0,02	76,96	63,74
0,01	77,75	37,7
$S_{ном} 0,007$	77,99	28,8
0,006	78,06	24,10

0,004	78,22	16,55
0,002	78,38	8,51

Аналізуючи параметри механічної характеристики $M = f(\omega)$, (табл. 2), пусковий момент $M_{\text{п}} = 15,64$ Н·м, тобто є меншим за розрахунковий номінальний момент $M_{\text{н}} = 28,8$. Тоді запускати двигун можливо під час холостого ходу, а щоб пусковий момент був більшим за мінімальний на $(20 \div 30)\%$, необхідно збільшити активний опір R'_2 короткозамкненої обмотки ротора асинхронного двигуна. Тобто потрібен додатковий розрахунок механічної характеристики даного виду двигуна.

Перераховуємо параметри механічної характеристики, наприклад, якщо $R'_2 = 2,5$, Ом, та записуємо у табл. 3.

Таблиця 3

Параметри механічної характеристики асинхронного двигуна

S	ω , рад/с	M, Н·м
1	0	40,34
0,9	7,85	44,03
0,8	15,7	48,44
0,6	31,4	60,32
0,4	47,1	78,75
$S_{\text{кр}} = 0,2$	62,8	104,44
0,1	70,68	102,96
0,06	73,82	84,15
0,04	75,39	65,64
$S_{\text{ном}} = 0,02$	76,96	33,34
0,01	77,75	20,58
0,007	77,99	14,72

Закінчення табл. 3

0,006	78,06	12,70
0,004	78,22	8,59
0,002	78,38	4,35

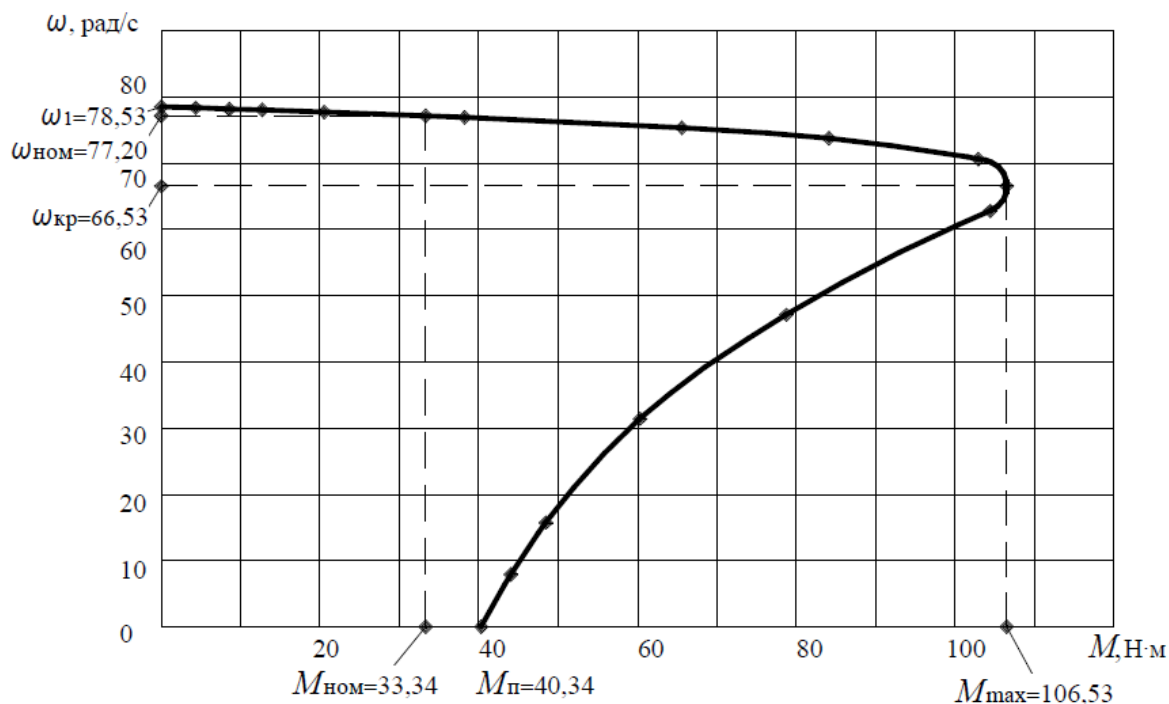


Рис. 1.5. Механічна характеристика асинхронного двигуна:

$\omega_1 = 78,53$ – кутова частота обертання поля статора, рад/с; $\omega_{ном} = 77,20$ – номінальна частота обертання, рад/с; $\omega_{кр} = 66,53$ – критична частота обертання, рад/с; $M_n = 33,34$ – номінальний момент, Н·м; $M_{п} = 40,34$ – пусковий момент, Н·м; $M_{макс} = 106,53$ – критичний (максимальний) момент, Н·м; $M_{п}/M_{ном} = 1,2$; $M_{макс}/M_{п} = 2,64$; $I_{п}/I_{ном} = 7,26$

Висновки

Розрахунок даного двигуна $P = 2,2$ кВт, з напругою $U = 380$ В, номінальною швидкістю обертання $n_2 = 737$ об/хв задовольняє вимогам заданих параметрів курсового проекту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Міліх В.І. Електротехніка та електромеханіка : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Освіта. – Київ : Каравела, 2005. – 375 с.

2. Тищеренко М.В. Електротехніка : навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів. – Київ : Кондор, 2004. – 375 с.
3. Електротехніка та електромеханіка : методичні вказівки та завдання до виконання розрахунково-графічної роботи / уклад. : Г.М. Голенков, Р.П. Бондар, Д.І. Пархоменко. – Київ : КНУБА, 2012. – 40 с.
4. ДСТУ 2818-94. Машина електричні обертові. Позначення літерні та одиниці виміру. – Київ : Держстандарт України, 1995. – 30 с. [Чинний від 01.07.1996 року].

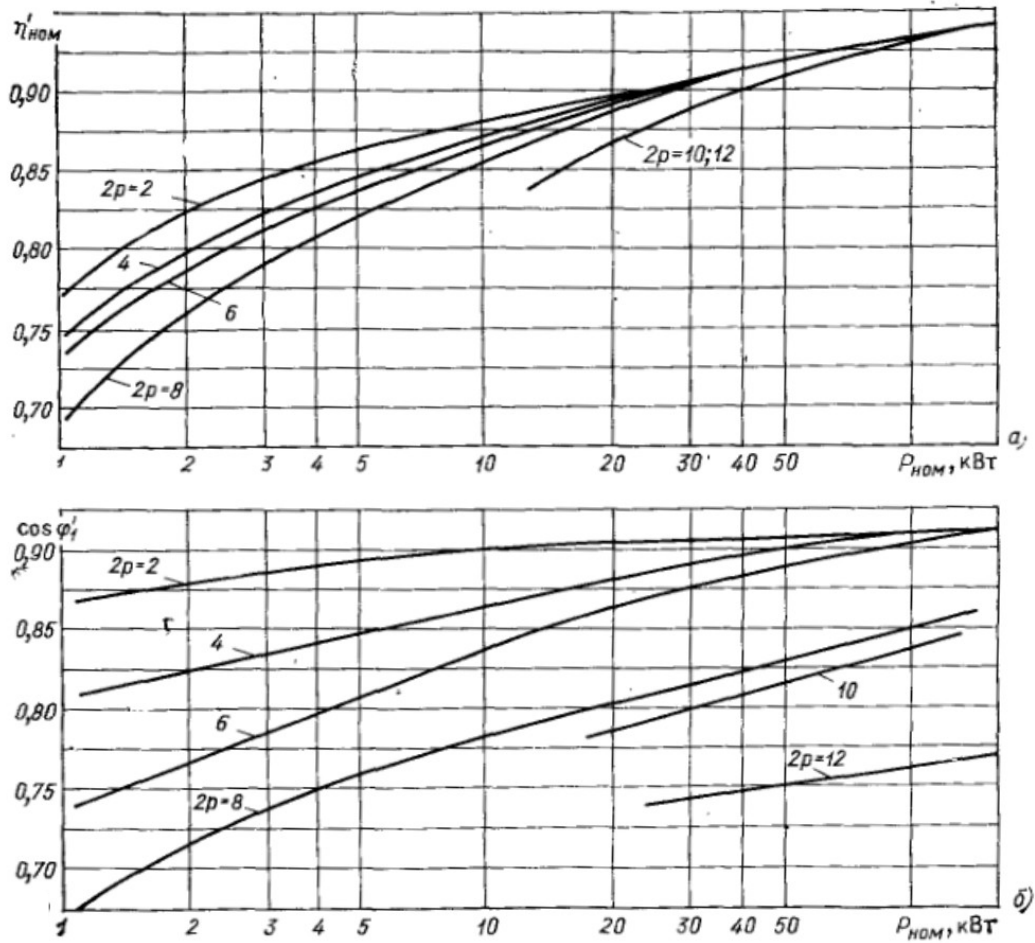


Рис. Д.1.1. Попередні значення ККД (а) та коефіцієнта потужності (б) трифазних АД

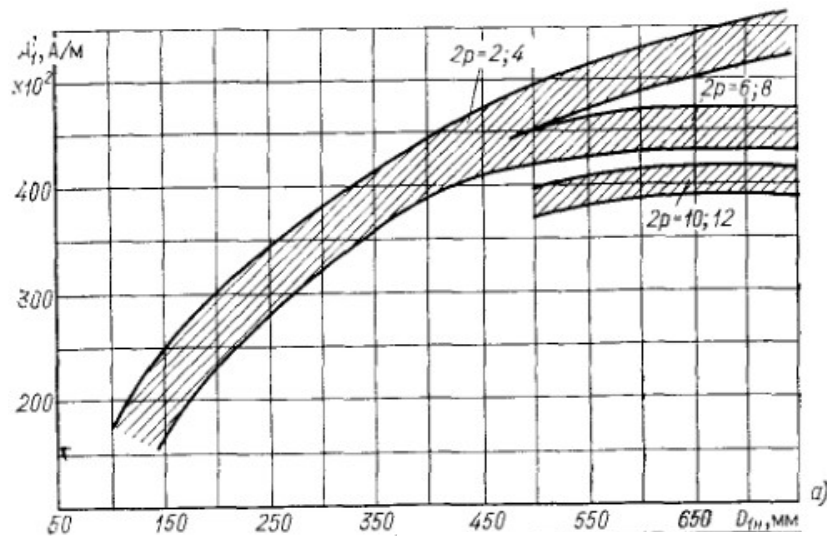


Рис. Д.1.2. Рекомендовані значення максимальної магнітної індукції у повітряному зазорі B_s' і лінійного навантаження A_1' для низьковольтних АД

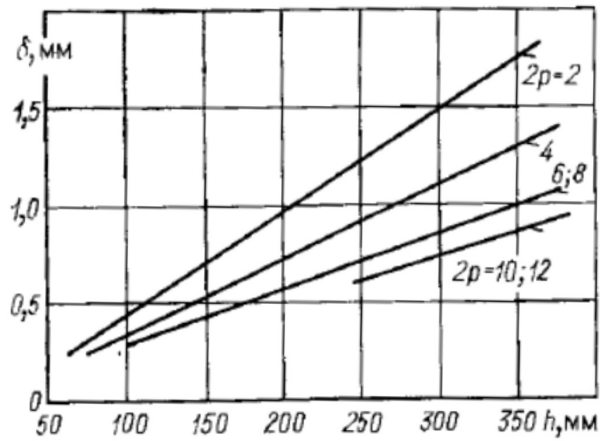


Рис. Д.1.3. Рекомендовані значення повітряного зазору δ для трифазних асинхронних двигунів загального призначення

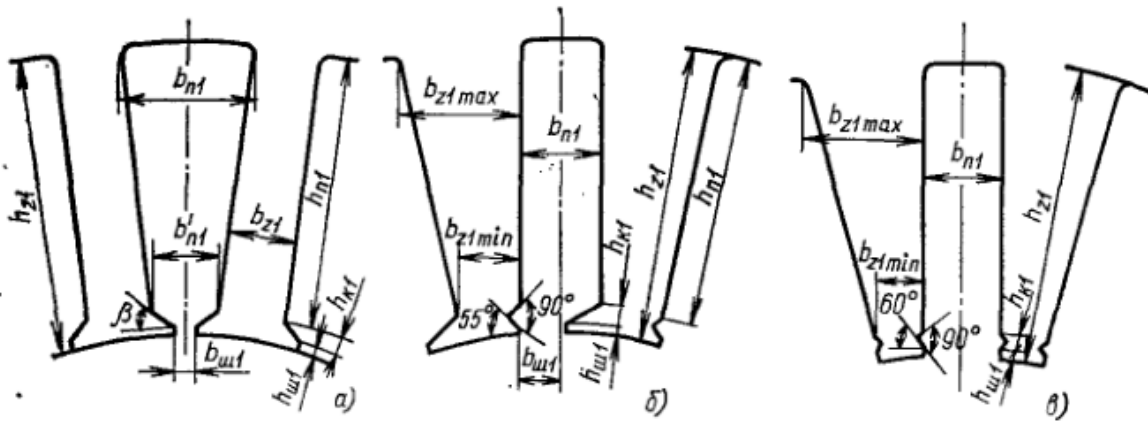


Рис. Д.1.4. Пази статора машин змінного струму:
 а – напівзакритий трапецеїдальний; б – напіввідкритий прямокутний; в – відкритий прямокутний

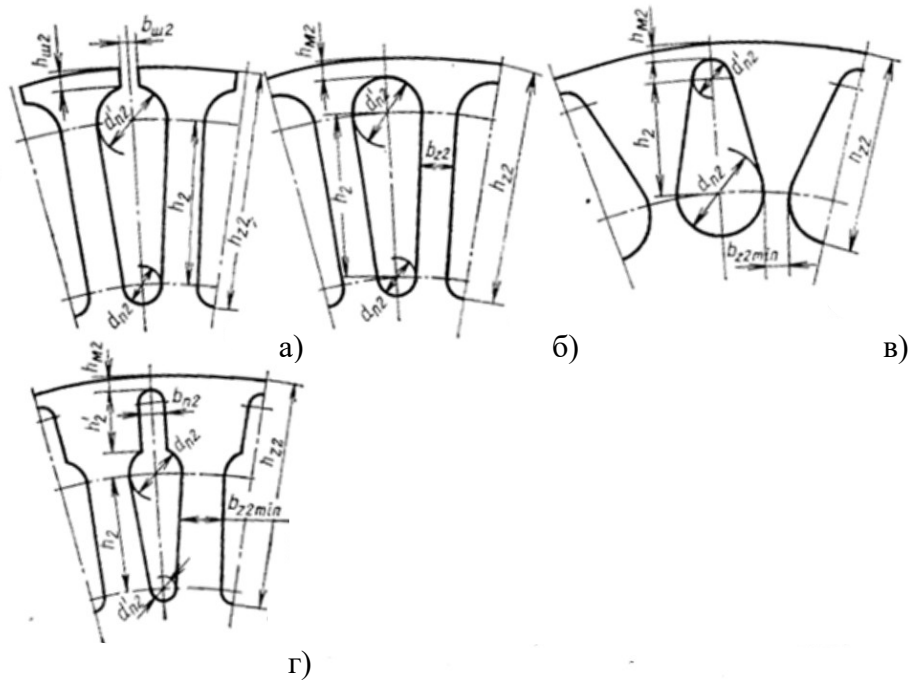


Рис. Д.1.5. Пази короткозамкнутого ротора АД:
 а – напівзакритий овальний; б і в – закритий овальний;
 г – закритий бутлочний

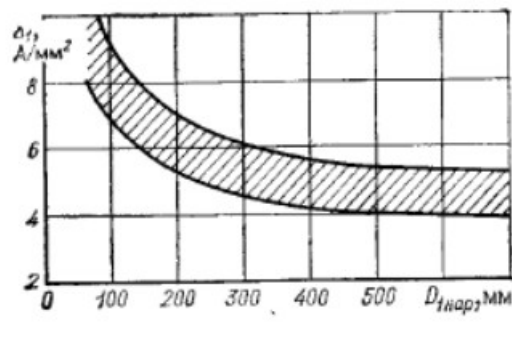


Рис. Д.1.6. Рекомендовані значення щільності струму в обмотці статора

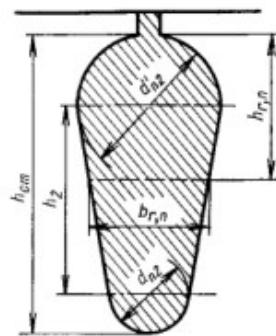


Рис. Д.1.7. Стрижень овального паза короткозамкнутої обмотки ротора

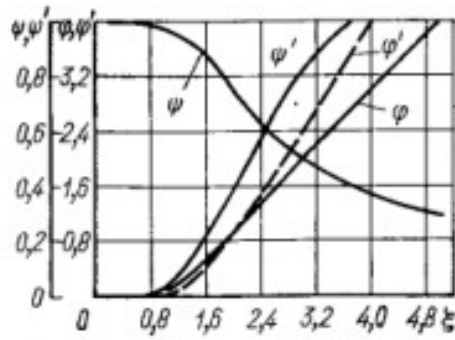


Рис. Д.1.8. Визначення коефіцієнтів φ , ψ та φ' , ψ'

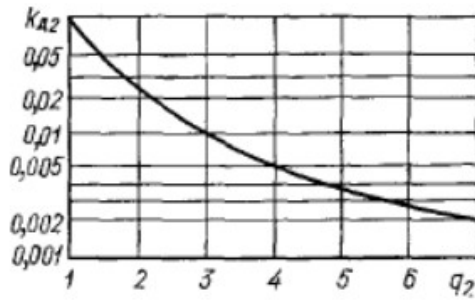


Рис. Д.1.9. До вибору коефіцієнта $k_{д2}$

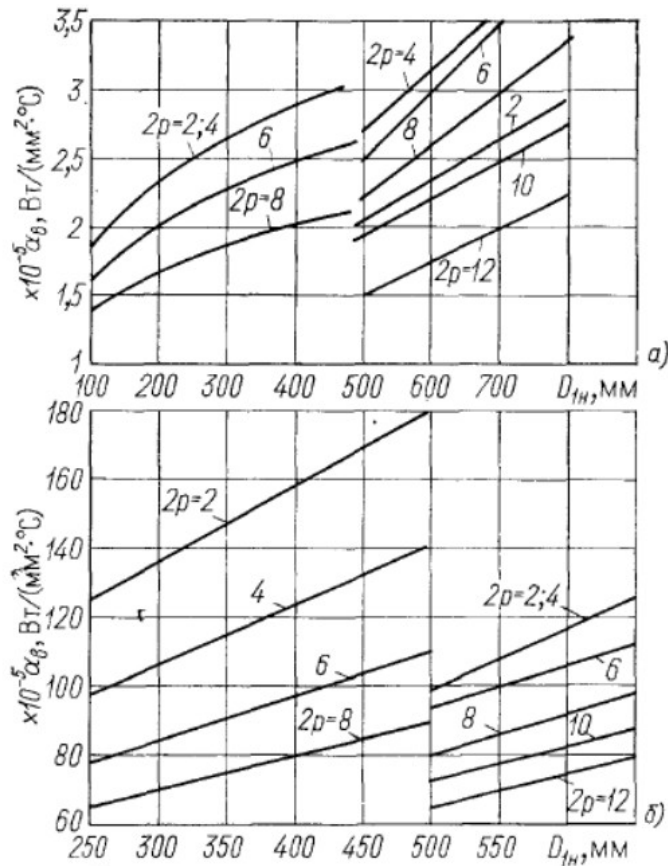


Рис. Д.1.10. Середні значення коефіцієнта α_v для машин змінного струму:
а – ступінь захисту IP44, б – ступінь захисту IP23

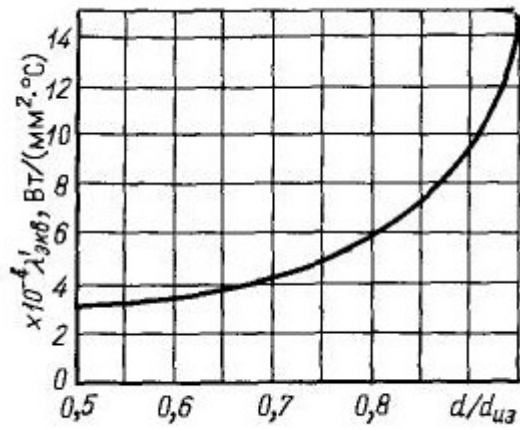


Рис. Д.1.11. Середні значення $\lambda'_{екв}$

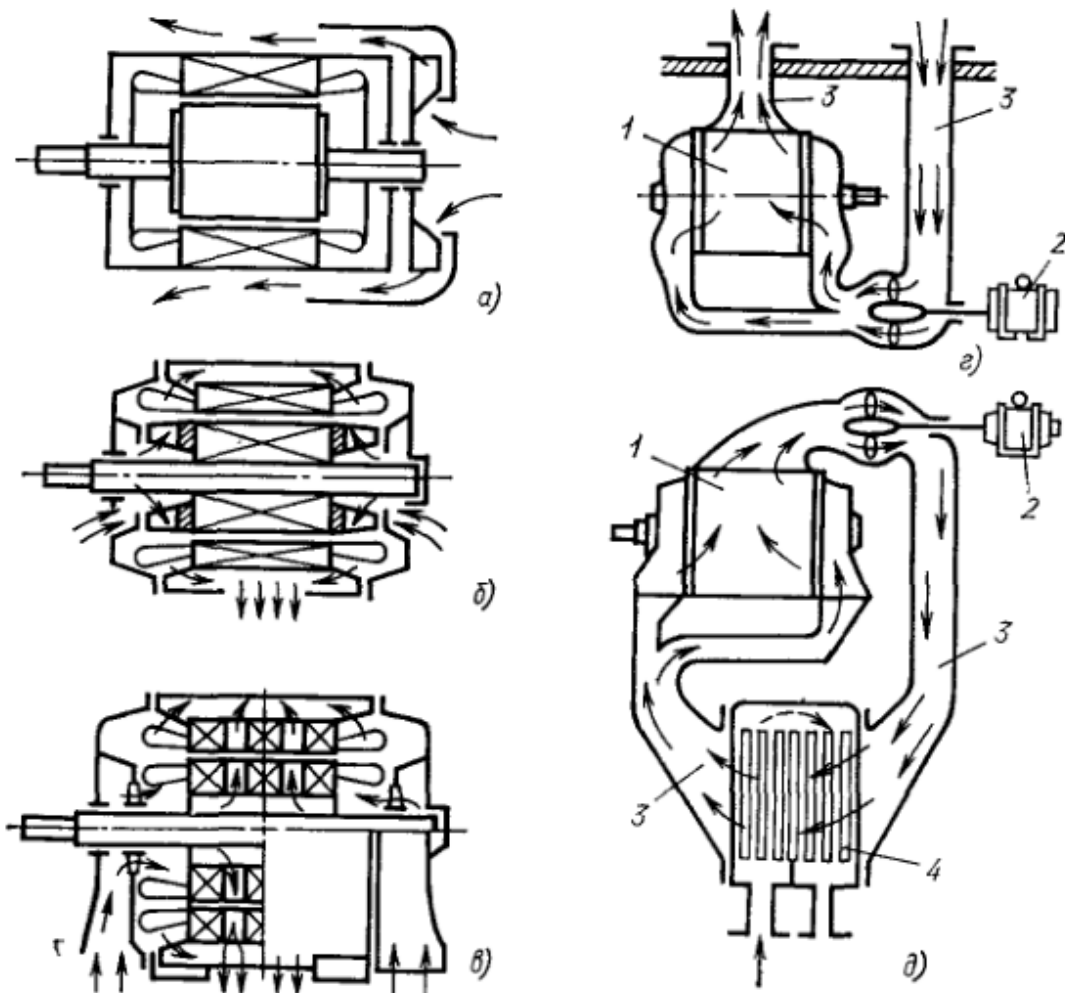


Рис. Д.1.12. Системи вентиляції електричних машин:
 а – зовнішня самовентиляція; б і в – внутрішня самовентиляція;
 г – незалежна розімкнута самовентиляція; д – незалежна замкнута вентиляція;
 1 – охолоджувана машина; 2 – двигун вентилятора;
 3 – трубопровід; 4 – газоохолоджувач

Рекомендації з вибору форми паза статора і типу обмотки

h, мм	2 p	Форма пазів статора	Тип обмотки статора	Рекомендовані значення магнітної індукції В, Тл, під час виконання двигуна за способом захисту IP44	
				B_{z1max}	B_{c1}
50 – 132	2,4	Трапецеїдальні	Одношарова насипна	1,75 – 1,95	1,50 – 1,65
	6			1,75 – 1,95	1,45 – 1,60
	8			1,70 – 1,90	1,20 – 1,35
160	2	Такі самі	Двошарова насипна	1,75 – 2,0	1,45 – 1,70
	4		Одношарова насипна	1,75 – 2,0	1,45 – 1,70
	6		Така сама	1,70 – 1,85	1,35 – 1,50
	8		Така сама	1,70 – 1,85	1,10 – 1,20
180 – 250	2	Такі самі	Двошарова насипна	1,70 – 1,90	1,45 – 1,65
	4, 6		Одно- та двошарова насипна	1,70 – 1,90	1,45 – 1,65
	8		Двошарова насипна	1,70 – 1,85	1,10 – 1,20
280 – 355	2,4, 6,8	Прямокутні напіввідкриті	Двошарова з жорстких напівкатушок	1,70 – 1,90	1,40 – 1,60
	10	Трапецеїдальні напівзакриті	Двошарова концентрична насипна	1,60 – 1,80	1,30 – 1,45
	12	Такі самі	Така сама	1,60 – 1,80	1,15 – 1,30

Продовження дод.

Таблиця Д.1.2

Рекомендовані значення магнітної індукції

h , мм	$2p$	Форма пазів ротора за рис. Д.1.5.	Рекомендовані значення магнітної індукції B , Тл, під час виконання двигуна за способом захисту IP44	
			B_{z2max}	B_{c2}
50 – 132	2	а	1,75 – 1,95	1,35 – 1,45
	4	а	1,75 – 1,95	1,15 – 1,25
	6	а	1,75 – 1,95	1,05 – 1,15
	8	а	1,70 – 1,90	0,75 – 0,85
160	2	а	1,75 – 1,95	1,35 – 1,45
	4	б	1,55 – 1,80	1,20 – 1,35
	6	б	1,65 – 1,90	1,05 – 1,15
	8	б	1,65 – 1,90	0,75 – 0,85
180 – 250	2	г	1,70 – 1,95	1,35 – 1,45
	4	а	1,65 – 1,90	1,15 – 1,25
	6	а	1,65 – 1,90	1,05 – 1,15
	8	а	1,65 – 1,90	0,75 – 0,85
280 – 355	2	г	1,60 – 1,85	1,35 – 1,45
	4	б	1,80 – 2,00	1,15 – 1,25
	6	б	1,65 – 1,90	1,05 – 1,15
	8	б	1,65 – 1,90	0,75 – 0,85
	10, 12	б	1,65 – 1,90	0,75 – 0,85

Таблиця Д.1.3

Значення коефіцієнтів для трифазних обмоток статора двигунів серії 4А

q_1	k_{p1}	$Z_1/2p$	$2p = 2$				$2p \geq 4$			
			y_1	β	k_{y1}	k_{o61}	y_1	β	k_{y1}	k_{o61}
1,5	0,960	4,5	–	–	–	–	4	0,889	0,985	0,945
2	0,966	6	–	–	–	–	5	0,833	0,966	0,935
2,5	0,957	7,5	–	–	–	–	6	0,800	0,951	0,910
3	0,960	9	–	–	–	–	7	0,778	0,940	0,902
4	0,958	12	–	–	–	–	10	0,833	0,966	0,925
5	0,957	15	–	–	–	–	12	0,800	0,951	0,910
6	0,956	18	11	0,611	0,819	0,783	15	0,833	0,966	0,923
8	0,956	24	15	0,625	0,832	0,795	19	0,792	0,947	0,905

**Діаметри і площі поперечного перерізу круглих мідних емальованих
проводів марок ПЕТВ і ПЕТ-155**

Номинальний параметр неізолюваного провідника d , мм	Середнє значення діаметра ізолюваного провідника $d_{із}$, мм	Площа поперечного перерізу неізолюваного провідника, q_1 , мм ²	Номинальний параметр неізолюваного провідника, d , мм	Середнє значення діаметра ізолюваного провідника, $d_{із}$, мм	Площа поперечного перерізу неізолюваного провідника, q_1 , мм ²
0,08	0,10	0,00502	(0,53)	0,585	0,221
0,09	0,11	0,00636	0,56	0,615	0,246
0,10	0,122	0,00758	0,60	0,655	0,283
0,112	0,134	0,00985	0,63	0,69	0,312
0,125	0,147	0,01227	(0,67)	0,73	0,353
(0,132)	0,154	0,01368	0,71	0,77	0,396
0,14	0,162	0,01539	0,75	0,815	0,442
0,15	0,18	0,01767	0,80	0,865	0,503
0,16	0,19	0,0201	0,85	0,915	0,567
0,17	0,20	0,0227	0,90	0,965	0,636
0,18	0,21	0,0255	0,95	1,015	0,709
(0,19)	0,22	0,0284	1,00	1,08	0,785
0,20	0,23	0,0314	1,06	1,14	0,883
(0,212)	0,242	0,0353	1,12	1,20	0,985
0,224	0,259	0,0394	1,18	1,26	1,094
(0,236)	0,271	0,0437	1,25	1,33	1,227
0,25	0,285	0,0491	1,32	1,405	1,368
(0,265)	0,300	0,0552	1,40	1,485	1,539
0,28	0,315	0,0616	1,50	1,585	1,767
(0,30)	0,335	0,0707	1,60	1,685	2,011
0,315	0,350	0,0779	1,70	1,785	2,27
0,335	0,370	0,0881	1,80	1,895	2,54
0,355	0,395	0,0099	1,90	1,995	2,83
0,375	0,415	0,1104	2,00	2,095	3,14
0,40	0,44	0,1257	2,12	2,22	3,53
0,425	0,465	0,1419	2,24	2,34	3,94
0,45	0,49	0,1590	2,36	2,16	4,36
(0,475)	0,515	0,1772	2,50	2,60	4,91
0,50	0,545	0,1963			

Номинальний розмір дроту по більшій стороні <i>b</i> , мм	Номинальний розмір дроту по меншій стороні <i>a</i> , мм																		
	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,12	
2,00	1,463	1,545	1,626	1,706	1,785	1,905	2,025	2,145	2,285	2,425	2,585	-	-	-	-	-	-	-	-
2,12	1,559	-	1,734	-	1,905	-	2,160	-	2,435	-	2,753	-	-	-	-	-	-	-	-
2,24	1,655	1,749	1,842	1,934	2,025	2,160	2,294	2,429	2,585	2,742	2,921	3,145	3,369	-	-	-	-	-	-
2,36	1,751	-	1,950	-	2,145	-	2,429	-	2,735	-	3,089	-	3,561	-	-	-	-	-	-
2,50	1,863	1,970	2,076	2,181	2,285	2,435	2,585	2,736	2,910	3,085	3,285	3,535	3,785	3,887	4,137	-	-	-	-
2,65	1,983	-	2,211	-	2,435	-	2,753	-	3,098	-	3,495	-	4,025	-	4,407	-	-	-	-
2,80	2,103	2,225	2,346	2,466	2,585	2,753	2,921	3,089	3,285	3,481	3,705	3,985	4,265	4,397	4,677	4,957	5,237	-	-
3,00	2,263	-	2,526	-	2,785	-	3,145	-	3,535	-	3,985	-	4,585	-	5,038	-	5,638	-	-
3,15	2,383	2,522	2,661	2,799	2,935	3,124	3,313	3,502	3,723	3,943	4,195	4,510	4,825	4,992	5,307	5,622	5,937	6,315	-
3,35	2,543	-	2,841	-	3,135	-	3,537	-	3,973	-	4,475	-	5,145	-	5,667	-	6,337	-	-
3,55	2,703	2,862	3,021	3,179	3,335	3,548	3,761	3,974	4,223	4,471	4,755	5,110	5,465	5,672	6,027	6,382	6,737	7,163	-
3,75	2,863	-	3,201	-	3,535	-	3,985	-	4,473	-	5,035	-	5,785	-	6,387	-	7,137	-	-
4,00	3,063	3,245	3,426	3,606	3,785	4,025	4,265	4,505	4,785	5,065	5,385	5,785	6,185	6,437	6,837	7,237	7,637	8,117	-
4,25	3,263	-	3,651	-	4,035	-	4,545	-	5,098	-	5,735	-	6,585	-	7,287	-	8,137	-	-
4,50	3,463	3,670	3,876	4,081	4,285	4,555	4,825	5,095	5,410	5,725	6,085	6,535	6,985	7,287	7,737	8,187	8,637	9,177	-
4,75	3,663	-	4,101	-	4,535	-	5,105	-	5,723	-	6,435	-	7,385	-	8,188	-	9,137	-	-
5,00	3,863	4,095	4,326	4,556	4,785	5,085	5,385	5,685	6,035	6,385	6,785	7,285	7,785	8,137	8,637	9,137	9,637	10,24	-
5,30	4,103	-	4,596	-	5,085	-	5,721	-	6,410	-	7,205	-	8,265	-	9,177	-	10,24	-	-
5,60	4,343	4,605	4,866	5,126	5,385	5,721	6,057	6,393	6,785	7,177	7,625	8,185	8,745	9,157	9,717	10,28	10,84	11,51	-

Номинальний розмір дроту по меншій стороні а, мм		Номинальний розмір дроту по меншій стороні а, мм																
		0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
Номинальний розмір дроту по більшій стороні b, мм		Розрахунковий переріз прямокутного дроту, мм ²																
6,00	4,663	-	5,226	-	5,785	-	6,505	-	7,285	-	8,185	-	9,385	-	10,44	-	11,64	-
6,30	4,903	5,200	5,496	5,791	6,085	6,463	6,841	7,219	7,660	8,101	8,605	9,235	9,865	10,35	10,98	11,61	12,24	12,99
6,70	-	-	5,856	-	6,485	-	7,289	-	8,160	-	9,165	-	10,51	-	11,70	-	13,04	-
7,10	-	-	6,216	6,551	6,885	7,311	7,737	8,163	8,660	9,157	9,725	10,44	11,15	11,71	12,42	13,13	13,84	14,69
7,50	-	-	-	-	7,285	-	8,185	-	9,160	-	10,29	-	11,79	-	13,14	-	14,64	-
8,00	-	-	-	-	7,785	8,265	8,745	9,225	9,785	10,35	10,99	11,79	12,59	13,24	14,04	14,84	15,64	16,60
8,50	-	-	-	-	-	-	9,305	-	10,41	-	11,69	-	13,39	-	14,94	-	16,64	-
9,00	-	-	-	-	-	-	9,865	10,41	11,04	11,67	12,39	13,29	14,19	14,94	15,84	16,74	17,64	18,72
9,50	-	-	-	-	-	-	-	-	11,66	-	13,09	-	14,99	-	16,74	-	18,64	-
10,00	-	-	-	-	-	-	-	-	12,29	12,99	13,79	14,79	16,79	16,64	17,64	18,64	19,64	20,84
10,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,63	-	16,75	-	18,72	-	20,84	-
11,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,47	16,59	17,71	18,68	19,80	20,92	22,04	23,38
11,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,67	-	20,88	-	23,24	-
12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,79	20,89	22,14	23,39	24,64	26,14

Розміри і площі поперечного перерізу прямокутного дроту

Номинальний розмір дроту по більшій стороні <i>b</i> , мм	Номинальний розмір дроту по меншій стороні <i>a</i> , мм																
	2,24	2,36	2,50	2,65	2,80	3,00	3,15	3,35	3,55	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,30	5,60
2,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,15	6,693	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,35	7,141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,55	7,589	7,829	8,326	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,75	8,037	-	8,826	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,00	8,597	8,891	9,451	10,65	10,85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,25	9,157	-	10,08	-	11,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,50	9,717	10,07	10,70	11,36	12,05	12,95	13,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,75	10,28	-	11,33	-	12,75	-	14,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5,00	10,84	11,25	11,95	12,70	13,45	14,45	15,20	16,20	17,20	-	-	-	-	-	-	-	-
5,30	11,51	-	12,70	-	14,29	-	16,15	-	18,27	-	-	-	-	-	-	-	-
5,60	12,18	12,67	13,45	14,29	15,13	16,25	17,09	18,21	19,33	20,14	21,54	-	-	-	-	-	-

Розміри і площі поперечного перерізу прямокутного дроту

Номинальний розмір дроту по більшій стороні <i>b</i> , мм	Номинальний розмір дроту по меншій стороні <i>a</i> , мм																
	2,24	2,36	2,50	2,65	2,80	3,00	3,15	3,35	3,55	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,30	5,60
	Розрахунковий переріз прямокутного дроту, мм ²																
6,00	13,08	-	14,45	-	16,25	-	18,35	-	20,75	-	23,14	-	-	-	-	-	-
6,30	13,75	14,32	15,20	16,15	17,09	18,35	19,30	20,56	21,82	22,77	24,34	25,92	27,49	-	-	-	-
6,70	14,65	-	16,20	-	18,21	-	20,56	-	23,24	-	25,94	-	29,29	-	-	-	-
7,10	15,54	16,21	17,20	18,27	19,33	20,75	21,82	23,24	24,66	25,77	27,54	29,32	31,09	32,87	34,64	-	-
7,50	16,44	-	18,20	-	20,45	-	23,08	-	26,08	-	29,14	-	32,89	-	36,64	-	-
8,00	17,56	18,33	19,45	20,65	21,85	23,45	24,65	26,25	27,85	29,14	31,14	33,14	35,14	37,14	39,24	41,54	43,94
8,50	18,68	-	20,70	-	23,25	-	26,23	-	29,63	-	33,14	-	37,39	-	41,64	-	46,74
9,00	19,80	20,69	21,95	23,30	24,65	26,54	27,80	29,60	31,40	32,89	35,14	37,39	39,64	41,89	44,14	46,84	49,54
9,50	20,92	-	23,20	-	26,06	-	29,38	-	33,18	-	37,14	-	41,89	-	46,64	-	52,34
10,00	22,04	23,05	23,45	25,95	27,45	29,45	30,95	32,95	34,95	36,64	39,14	41,64	44,14	46,64	49,14	52,14	55,14
10,8	23,38	-	25,95	-	29,13	-	32,84	-	37,08	-	41,54	-	46,84	-	52,14	-	58,50
11,2	24,73	25,88	27,45	29,13	30,81	33,05	34,73	36,97	39,21	41,14	43,94	46,74	49,54	52,34	55,14	58,50	61,86
11,8	26,07	-	28,95	-	32,49	-	36,62	-	41,34	-	46,34	-	52,24	-	52,14	-	65,22
12,5	27,64	24,95	30,70	32,58	34,45	36,95	38,83	41,33	43,83	46,02	49,14	52,27	55,39	58,52	61,64	65,39	69,14

**Конструкція системи ізоляції та елементи кріплення
всипної обмотки статора двигунів з $h = 160 \div 250$ мм**

Позиція на рис. Д.1.13	Найменування елементів ізоляції	Матеріал		Число шарів ізоляції
		Найменування та марка	товщина, мм	
1	Коробка пазова	Плівкосинтокартон ПСКФ або ізоном	0,37 – 0,4	1
2	Кришка пазова	Те саме	0,5	1
3	Прокладки	Склотекстоліт СТЕФ-1	0,5	1
4	Клин пазовий	Профільний склопластик СПП-Е або склотекстоліт СТЕФ-1	–	–
5	Прокладки міжшарові	Плівкосинтокартон ПСКФ або ізоном	0,5	1
–	Прокладки міжшарові в лобових частинах	Плівкосинтокартон ПСКФ або ізоном	0,37 – 0,4	1
–	Ізоляція внутрішніх з'єднань і вивідних кінців	Трубка ізоляційна ТКСП	–	–
–	Бандаж лобових частин	Шнур-чулок АСЕЧ	–	–
–	Просочення	Лак ПЕ-993	–	–
–	Покриття лобових частин	Емаль ЕП-91	–	–

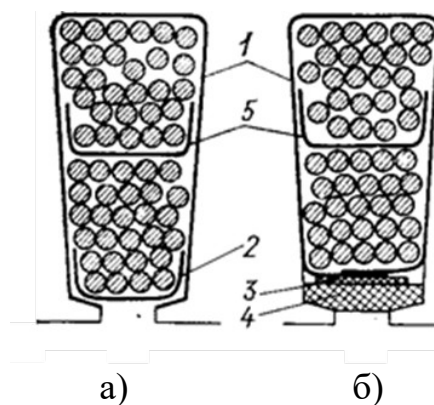


Рис. Д.1.13. Система ізоляції всипної обмотки статора:
а – під час механізованого; б – під час ручного укладання обмотки

Продовження дод.

Таблиця Д.1.7

Конструкція системи ізоляції та елементи кріплення обмотки статора з жорстких напівкатушок двигунів з $h = 280 \div 355$ мм (кл. нагрівостійкості F)

Позиція на рис. Д.1.14	Найменування елементів ізоляції	Матеріал		Число шарів ізоляції
		Найменування та марка	Товщина, мм	
1	Коробка пазова	Склянодопласт ГИТ-ЛСБ-ЛСЛ	0,55	1
2	Скріплення пазової частини напівкатушки	Стрічка скляна ЛЕС або стрічка лавсанова тафтяна	0,2 0,16	1 (врозбіж)
3	Прокладка	Склотекстоліт СТЕФ-1	0,5	1
4	Клин пазовий	Те саме	–	–
5	Прокладка міжшарова	Те саме	1,0	1
–	Скріплення лобової частини напівкатушки	Стрічка скляна ЛЕС або стрічка лавсанова тафтяна	0,2 0,16	1 (напівнахлест)
–	Ізоляція лобових частин фазних катушок	Стрічка слюдинітова ЛСУП-934-ТПл	0,13	1 (напівнахлест)
–	Прокладка дистанційна в лобових частинах	Склотекстоліт СТЕФ-1	12	–
–	Ізоляція внутрішніх з'єднань	Склолакотканина ЛСТР	0,18	2 (напівнахлест)
–	Ізоляція вивідних кінців	Трубка ізоляційна ТКР	–	–
–	Бандаж лобових частин	Шнур-чулок АСЕЧ	–	–
–	Просочення	Лак ПЕ-993	–	–
–	Покриття лобових частин	Емаль ЕП-91	–	–

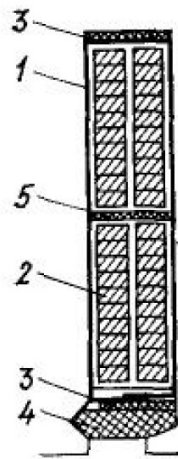


Рис. Д.1.14. Система ізоляції обмотки статора з жорстких напівкатушок

Продовження дод.
Таблиця Д.1.8

Коефіцієнт скошу пазів ротора

$\alpha_{ск}$	$k_{ск}$	$\alpha_{ск}$	$k_{ск}$	$\alpha_{ск}$	$k_{ск}$	$\alpha_{ск}$	$k_{ск}$
0	1,0	0,5	0,991	1,0	0,959	1,5	0,909
0,1	1,0	0,6	0,986	1,1	0,951	1,6	0,897
0,2	0,999	0,7	0,980	1,2	0,941	1,7	0,884
0,3	0,998	0,8	0,974	1,3	0,932	1,8	0,870
0,4	0,995	0,9	0,967	1,4	0,921	1,9,1,0	0,856

Таблиця Д.1.9

**Основна таблиця намагнічування
Сталь 2013**

Індукція В, Тл	Сотні частки індукції, Тл									
	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	Напруженість Н, А/м									
0,4	56	56	57	58	59	60	60	61	61	62
0,5	63	63	64	65	66	67	67	68	68	69
0,6	70	70	71	72	73	74	74	75	76	77
0,7	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
0,8	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
0,9	99	100	101	102	103	104	105	105	107	108
1,0	110	111	113	114	115	117	118	120	121	123
1,1	125	126	127	128	129	132	133	134	136	138
1,2	141	146	152	158	164	170	176	182	188	194
1,3	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290
1,4	300	320	350	380	410	430	460	500	540	580
1,5	620	670	780	890	1000	1130	1240	1350	1460	1580
1,6	1700	1860	2020	2180	2340	2500	2700	2800	3000	3200
1,7	3400	3700	4000	4300	4700	5000	5400	5800	6200	6600
1,8	7000	7500	8000	8500	9200	10000	10600	11200	11800	12400
1,9	13000	13600	14200	14800	15600	16500	17300	18100	18900	19800
2,0	20700	22600	24400	26300	28100	30000	36000	42000	48000	54000
2,1	60000	67000	74000	81000	86000	95000	102000	109000	116000	123000
2,2	130000	138000	146000	154000	162000	170000	178000	186000	194000	202000
2,3	210000	218000	226000	234000	242000	250000	258000	266000	274000	282000
2,4	290000	298000	306000	314000	322000	330000	338000	346000	354000	362000

Продовження дод.
Таблиця Д.1.10

**Таблиця намагнічування для зубців АД
Сталь 2013**

Індукція В, Тл	Сотні частки індукції, Тл									
	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	Напруженість Н, А/м									
0,4	124	127	130	133	136	138	141	144	147	150
0,5	154	157	160	164	167	171	174	177	180	184
0,6	188	191	194	198	201	205	208	212	216	220
0,7	223	226	229	233	236	240	243	247	250	253
0,8	256	259	262	265	268	271	274	277	280	283
0,9	286	290	293	297	301	304	308	312	316	320
1,0	324	329	333	338	342	346	350	355	360	365
1,1	270	375	380	385	391	396	401	406	411	417
1,2	424	430	436	442	448	455	461	467	473	479
1,3	486	495	504	514	524	533	563	574	584	585
1,4	586	598	610	622	634	646	658	670	683	696
1,5	709	722	735	749	763	777	791	805	820	835
1,6	850	878	906	934	962	990	1020	1050	1080	1110
1,7	1150	1180	1220	1250	1290	1330	1360	1400	1440	1480
1,8	1520	1570	1620	1670	1720	1770	1830	1890	1950	2010
1,9	2070	2160	2250	2340	2430	2520	2640	2760	2890	3020
2,0	3150	3320	3500	3680	3860	4040	4260	4480	4700	4920
2,1	5140	5440	5740	6050	6360	6670	7120	7570	8020	8470
2,2	8920	9430	9940	10460	10980	11500	12000	12600	13200	13800
2,3	14400	15100	15800	16500	17200	18000	18800	19600	20500	21400

Намагнічування для спинки АД
Сталь 2013

Індукція В, Тл	Сотні частки індукції, Тл									
	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	Напруженість Н, А/м									
0,4	52	53	54	55	56	58	59	60	61	62
0,5	64	65	66	67	69	71	72	74	76	78
0,6	80	81	83	85	87	89	91	93	95	97
0,7	100	102	104	106	108	111	113	115	118	121
0,8	124	126	129	132	135	138	140	143	146	149
0,9	152	155	158	161	164	168	171	174	177	181
1,0	185	188	191	195	199	203	206	209	213	217
1,1	221	225	229	233	237	241	245	249	253	257
1,2	262	267	272	277	283	289	295	301	307	313
1,3	320	327	334	341	349	357	365	373	382	391
1,4	400	410	420	430	440	450	464	478	492	506
1,5	520	542	564	586	608	630	654	678	702	726
1,6	750	788	826	864	902	940	982	1020	1070	1110
1,7	1150	1220	1290	1360	1430	1500	1600	1700	1800	1900
1,8	2000	2160	2320	2490	2650	2810	2960	3110	3270	3420
1,9	3570	3800	4030	4260	4490	4720	4930	5140	5350	5560
2,0	5770	6000	6300	6600	7000	7400	7900	8400	9000	9700

Таблиця Д.1.12

**Двигуни основного призначення для роботи в умовах
помірного клімату**

Номінальна потужність двигуна, кВт	Номінальна напруга, В	Обмотка статора	
		Схема з'єднання	Число вихідних кінців
0,06 – 0,37	220; 380	Δ або Y	3
0,55 – 11	220; 380; 660		
15 – 110	220/380; 380/660	Δ / Y	6
132 – 400	380/660		6

Навчально-методичне видання

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

Методичні вказівки та завдання
до виконання курсової роботи
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціалізації «Електромеханічні
системи автоматизації»

Укладачі: **Мазуренко** Леонід Іванович,
Голенков Геннадій Михайлович

Випусковий редактор *Л. С. Тавлуй*
Комп'ютерне верстання *К. А. Мавроді*

Підписано до друку 12.05.2026. Формат 60 x 84_{1/16}
Ум. друк. арк. 2,79. Обл.-вид. арк. 3,0.
Електронний документ. Вид. № 21/III-26

Видавець і виготовлювач:
Київський національний університет будівництва і архітектури
Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002