

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-енергетичний факультет

Кафедра тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і
технічного сервісу

ЕЛЕКТРОПРИВІД І АВТОМАТИЗАЦІЯ

методичні рекомендації

для виконання практичних робіт здобувачами першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти ОПП «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія» денної форми здобуття вищої
освіти

Миколаїв
2023

УДК 621.313.13
Е50

Друкується за рішенням науково-методичної комісії інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного університету від 13.11.2023 р., протокол № 3.

Укладач:

Зубехіна-Хайят О. В. – асистент кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу, Миколаївський національний аграрний університет;

Рецензенти:

Марченко Д. Д. – к.т.н., доцент кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу, МНАУ

Вахоніна Л. В. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, МНАУ

©Миколаївський
національний
аграрний університет, 2023

ЗМІСТ

	стр.
ВСТУП	4
Практична робота №1	6
Практична робота №2	9
Практична робота №3	10
Практична робота №4	11
Практична робота №5	13
Література	16

ВСТУП

Рівень життя сучасної людини значною мірою визначається розвитком виробничих сил. Виробничі сили – це засоби виробництва (техніка, ресурси, енергія) та люди, які використовують ці засоби для виробництва продукції.

Досить безбідне існування (у матеріальному плані) сучасній людині забезпечила науково-технічна революція, яка почалась у середині минулого століття й призвела до докорінної зміни технічних засобів виробництва на основі механізації та автоматизації.

Механізація виробництва – це заміна ручних засобів праці (інструментів) машинами та механізмами. Механізація зробила людину сильною та спритною. Вона вивільнила людину від тяжкої та монотонної праці, значно підвищила її продуктивність. «Серцем» більшості механізмів є двигун – спочатку це була парова машина, пізніше електродвигун або двигун внутрішнього згоряння.

Автоматизація виробництва – це широке застосування у виробничих процесах автоматичного та автоматизованого устаткування, у якому функції керування та контролю передані керуючим приладам та автоматичним пристроям (автоматам).

Слово «автомат» у перекладі з грецької значить «самодіючий». У Стародавній Греції так називалися механізми та пристрої, які могли самостійно, без видимої участі людини виконувати деякі прості дії.

В кредитному модулі «Електропривод та автоматизація» у

систематизованому вигляді і досить повному обсязі знайшли відображення як теоретичні, так і практичні питання розрахунку систем керування сучасних промислових автоматизованих електроприводів.

Метою кредитного модуля «Електропривод та автоматизація» є аналіз загальних вимог до керування рухом електроприводу та виробничого механізму, вивчення принципів побудови та методів розрахунку систем керування електроприводами, типових вузлів і керуючих елементів систем електроприводу постійного і змінного струму.

Практична робота 1

Тема: «Розрахунок електродвигуна конструкції приводу вентилятора. Розрахунок статора»

Час роботи – 2 години

Зробити згідно свого варіанту даний розв'язок.

Розрахувати електродвигун конструкції приводу вентилятора.

Виконання ступеня захисту *IP44*, спосіб охолодження *ICAO141*.

Потужність двигуна $2,2 \text{ кВт}$, $2p=2$, $f = 50 \text{ Гц}$, $U_{in} = 220 / 380\text{В}$, $n = 3000 \text{ об/хв}$. Висота осі обертання $h = 80 \text{ мм}$, $h_1 = 13 \text{ мм}$. Вибираємо зовнішній діаметр сердечника статора $D_a = 0,135 \text{ м}$.

Приклад розв'язання:

Дано:

$$P = 2,2 \text{ кВт}, h = 80 \text{ мм}$$

$$2p = 2, h_1 = 13 \text{ мм}$$

$$f = 50 \text{ Гц}, D_a = 0,135 \text{ м}$$

$$U_{in} = 220 / 380\text{В},$$

$$n = 3000 \text{ об/хв}$$

Хід роботи:

1. Внутрішній діаметр сердечника статора, м:

$$D = k_d \times D_a, \tag{1.1}$$

$$k_d = 0,56.$$

$$D = 0,56 \times 0,135 = 0,0756 \text{ м} = 75,6 = 76 \text{ мм}.$$

2. Визначаємо полюсне ділення, $2p=2$

$$\tau = (\pi \times D) / 2p, \tag{1.2}$$

$$\tau = (3,14 \times 0,0756) / 2 = 0,119 \text{ м}.$$

3. Розрахункова потужність машини, *Вт*:

$$P' = (P_{2H} \times k_e) / (\cos \varphi_H \times \eta_H), \quad (1.3)$$

$$P' = (2200 \times 0,98) / (0,87 \times 0,83) = 2951 \text{ Вт.}$$

де k_e – коефіцієнт, рівний відношенню ЕРС до номінальної напруги,

$$k_e = 0,98;$$

$$\eta_H - \text{ККД машини, } \eta_H = 0,83;$$

$$\cos \varphi_H - \text{коефіцієнт потужності машини, } \cos \varphi_H = 0,87;$$

$$P_{2H} - \text{потужність машини, Вт.}$$

4. Вибираємо попереднє електромагнітне навантаження машини:

$$A = 20 \times 10^3 \text{ А/м};$$

$$B_{\delta} = 0,67 \text{ Тл.}$$

$$\text{Обмоточний коефіцієнт (одношарова обмотка) } k_{ob} = 0,95.$$

Розрахункова довжина магнітопроводу машини, (1.6):

$$l_{\delta} = P' / (K \times B \times D^2 \times \Omega \times K_{ob} \times A \times B_{\delta}), \quad (1.4)$$

$$l_{\delta} = 0,114 \text{ м, } B = 1,22 \text{ Тл, } \Omega = 23,3, \kappa = 1$$

$$\text{Відношення } \lambda = l_{\delta} / \tau \quad (1.5)$$

$$\lambda = 0,114 / 0,119 = 0,95.$$

5. Граничне значення зубцевого ділення $t_{z1max} = 0.0118$ та $t_{z1min} = 0.01$.

Число пазів статора:

$$Z_{1min} = (\pi \times D) / t_{z1max}. \quad (1.6)$$

$$Z_{1min} = (3,14 \times 0,0756) / 0,0118 = 20,13$$

$$Z_{1max} = (\pi \times D) / t_{z1min}. \quad (1.7)$$

$$Z_{1max} = (3,14 \times 0,0756) / 0,01 = 24,01.$$

Приймаємо $Z_1 = 24$.

$$q_1 = z_1 / (2 p \times m) \quad (1.8)$$

де $m = 3$ – число фаз.

$$q_1 = 24 / (2 \times 3) = 4 - \text{обмотка одношарова.}$$

6. Зубцьове ділення статора:

$$t_{z1} = (\pi \times D) / 2p \times m \times q \quad (1.9)$$

$$t_{z1} = (3.14 \times 0.0756) / 24 = 0.0099 \text{ м.}$$

Завдання згідно варіанту

Варіант	$P, \text{ кВт}$	$n, \text{ об/хв}$	$D_a, \text{ м}$
1	2,3	3100	0,138
2	2,8	3200	0,140
3	2,9	3300	0,142
4	2,4	3100	0,150
5	2,4	3500	0,139
6	2,7	3600	0,143
7	2,3	3600	0,140
8	2,9	3500	0,145
9	2,3	3200	0,142
10	2,6	3100	0,143
11	2,5	3400	0,149
12	2,5	3400	0,148
13	2,8	3300	0,145
14	2,8	3300	0,145
15	2,2	3500	0,146
16	2,2	3700	0,146
17	2,4	3400	0,147
18	2,6	3100	0,147
19	2,9	3200	0,148
20	2,7	3200	0,148
21	2,8	3200	0,140
22	2,3	3800	0,141
23	2,6	3400	0,141
24	2,9	3500	0,149
25	2,1	3200	0,145

Практична робота 2

Тема: «Розрахунок електродвигуна конструкції приводу вентилятора. Розрахунок статора»

Час роботи – 2 години

Розрахунок електродвигуна конструкції приводу вентилятора.

Продовжуємо розрахунок статора для вентилятора.

Хід роботи:

1. Число ефективних провідників в пазу статора (попередньо при $a=1$)

$$U_n' = \pi \times D \times A / z_1 \times I_{1n}, \quad (2.1)$$

$$U_n' = (3,140 \times 0,0756 \times 20,5 \times 10^3) / (24 \times 4,56) = 43.4.$$

$$I_{1n} = P_{2n} / (m \times U_{н\phi} \times \cos\varphi \times \eta_n), \quad (2.2)$$

$$I_{1n} = 2200 / (3 \times 220 \times 0,87 \times 0,83) = 4.56 \text{ A}$$

Приймаємо $a_1=1$

$$U_n = U_n' \times a_1, \quad (2.3)$$

$$U_n = 43.4 \cdot 1 = 43.4 \approx 44$$

2. Розраховуємо кількість витків, W_1

$$W_1 = \frac{z_1 \times U_n}{2 \times m \times a_1}, \quad (2.4)$$

$$W_1 = \frac{24 \times 44}{2 \times 3 \times 1}$$

$$W_1 = 176 \text{ витків}$$

3. Лінійне навантаження

$$A = \frac{z_1 \times U_n \times I_{1n}}{a_1 \times \pi \times D}, \quad (2.5)$$

$$A = \frac{24 \times 44 \times 4,56}{1 \times 3,14 \times 0,0756}$$

$$A = 20,27 \cdot 10^3 \text{ А/м}$$

4. Визначаємо магнітний потік

$$\Phi = \frac{U_{н\phi} \times k_e}{4 \times k_g \times f \times W_1 \times k_{об1}}, \quad (2.6)$$

$$\Phi = \frac{0,98 \times 220}{4 \times 1,11 \times 50 \times 176 \times 0,95}$$

$$\Phi = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ Вб (для одношарової обмотки з } q=4 \text{)}$$

$$k_{об1} = 0,95$$

5 Індукція в повітряному зазорі

$$B_{\delta} = \frac{\Phi \times p}{D \times l_{\delta}}, \quad (2.7)$$

$$B_{\delta} = \frac{0,00576 \times 1}{0,0756 \times 0,114}$$

$$B_{\delta} = 0,66 \text{ Тл.}$$

Практична робота 3

Тема : «Розрахунок ротора»

Час роботи – 2 години

Повітряний зазор $\delta = 0,35$. Число пазів ротора $z_2 = 20$.

1. Зовнішній діаметр ротора

$$D_2 = D - 2 \times \delta \times 10^3, \quad (3.1)$$

$$D_2 = 0,0756 - 2 \times 0,35 \times 10^3$$

Довжина магнітопровода ротора 0,114 м.

2. Зубцевий розподіл ротора

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2}, \quad (3.2)$$

$$t_2 = \frac{3.14 \cdot 0.0751}{20} = 0.011 \text{ м.}$$

3. Внутрішній діаметр ротора дорівнює діаметру валу, так як сердечник ротора безпосередньо насаджується на вал.

$$d_g = K_g \times D_a, \quad (3.3)$$

де $K_g = 0,23$

$$d_g = 0,23 \cdot 0,135 = 0,03105 \text{ м} = 31,05 \text{ мм.}$$

4. Струм в обмотці ротора

$$I_2 = I_{1n} \cdot k_i \cdot v_i, \quad (3.4)$$

де $k_i = 0,90$

$$v_i = \frac{2 \times m \times W_1 \times k_{об1}}{z_2 \times k_{ck}}, \quad (3.5)$$

$$v_i = \frac{2 \times 3 \times 176 \times 0,958}{20 \times 1} = 50,53$$

де $k_{ck} = 1$

$$I_2 = 4,56 \times 0,9 \times 50,53 = 210 \text{ А.}$$

Практична робота 4

Тема : «Розрахунок ротора»

Час роботи – 2 години

1. Площа поперечного перерізу стрижня, (попередньо по $q_c = \frac{I_2}{J_2}$.)

Щільність струму в стрижні литої клітки приймаємо $J_2 = 3$.

$$q_c = \frac{210}{3} = 70,5 \text{ мм}^2$$

2. Визначаємо паз ротора з додатків.

Приймаємо:

$$b_{ш} = 1 \text{ мм}; h_{ш} = 0,5 \text{ мм}; h'_{ш} = 1,0 \text{ мм}$$

3. Допустима ширина зуба

$$b_{z2} = \frac{B_6 \times t_2 \times l_6}{B_{z2} \times l_{cm2} \times K_c}, \quad (4.1)$$

$$b_{z2} = \frac{0,65 \times 0,011 \times 0,114}{1,22 \times 0,114 \times 0,97} = 0,0060 \text{ м} = 6,0 \text{ мм.}$$

$$B_{z2} = 1,22 \text{ Тл}$$

4. Визначаємо розміри паза

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D_2 - 2h_{u1}) - Z_2 b_{z2}}{\pi + Z_2} = \frac{3,14 \cdot (75,1 - 2 \cdot 0,5) - 20 \cdot 6}{3,14 + 20} = 5,05 \approx 5,0 \text{ мм.}$$

(4.2)

$$b_2 = \sqrt{\frac{b_1^2 \cdot \left(\frac{Z_2}{\pi} + \frac{\pi}{2}\right) - q_c \cdot 4}{\frac{Z_2}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = \sqrt{\frac{5,05^2 \cdot \left(\frac{20}{3,14} + \frac{3,14}{2}\right) - 4 \cdot 70,5}{\frac{20}{3,14} - \frac{3,14}{2}}} = 2,72 \approx 2,7 \text{ мм.}$$

(4.3)

$$h_1 = (b_1 - b_2) \cdot \frac{Z_2}{2\pi} = (5,05 - 2,72) \cdot \frac{20}{2 \cdot 3,14} = 8,47 \approx 8,5 \text{ мм.}$$

(4.4)

5. Уточнюємо ширину зубців ротора за формулами

$$b_{z2}' = \pi \times \frac{D_2 - 2(h_{u2} + h_{u2}') \times b_1}{z_2} - b_1, \quad (4.5)$$

$$b_{z2}' = 3,14 \times \frac{75,1 - 2(0,5 + 1) \times 5,0}{20} - 5,0 = 4,36 \text{ мм}$$

$$b_{z2}'' = \pi \times \frac{D_2 - 2h_{n2} + b_2}{z_2} - b_2, \quad (4.6)$$

$$b_{z2}'' = 3,14 \times \frac{75,1 - 2 \cdot 2,8 + 2,7}{20} - 2,7 = 4,62 \text{ мм}$$

$$b_{z2} = \frac{b_{z2}' + b_{z2}''}{2} = \frac{4,36 + 4,62}{2} = 4,49 \text{ мм,}$$

(4.7)

6. Повна висота паза:

$$h_{n2} = h_{u2}' + h_{u2} + h_1 + \frac{b_1}{2} + \frac{b_2}{2} = 1 + 0,5 + 8,5 + \frac{5,0}{2} + \frac{2,7}{2} = 12,8 \text{ мм,}$$

(4.8)

7. Визначаємо перетин стрижня:

$$q_c = \frac{\pi}{8} \cdot (b_1^2 + b_2^2) + \frac{1}{2}(b_1 + b_2)h_1, \quad (4.9)$$

$$q_c = \frac{3,14}{8} \cdot (5,05^2 + 2,72^2) + \frac{1}{2}(5,0 + 2,7)8,5 = 41,5 \text{ мм}^2$$

Практична робота 5

Тема : «Розрахунок ротора»

Час роботи – 2 години

Розрахунок магнітного кола, втрат і ККД

1. Магнітна напруга повітряного зазору

$$F_\delta = \frac{2}{\mu_0} \times B_\delta \times \delta \times k_\delta, \quad (5.1)$$

$$F_\delta = \frac{2}{4\pi \times 10^{-7}} \times 0,66 \times 0,35 \times 10^{-3} \times 1,28 = 448,75 \text{ А}$$

$$k_{\delta 1} = \frac{t_{z1}}{t_{z1} - \gamma_1 \delta} = \frac{0,0099}{0,0099 - 5,41 \cdot 0,35 \cdot 10^{-3}} = 1,236$$

де

$$\gamma_1 = \frac{(b_{\otimes 1} / \delta)^2}{5 + b_{\otimes 1} / \delta}, \quad (5.2)$$

$$\gamma_1 = \frac{(3 \times 10^{-3} / 0,35 \times 10^{-3})^2}{5 + 3 \times 10^{-3} / 0,35 \times 10^{-3}} = 5,41$$

2. Магнітна напруга зубцевої зони статора:

$$F_{z1} = H_{z1} \cdot 2h_{z1} = 2 \cdot 0,0091 \cdot 411 = 7,4 \text{ А}, \quad (5.3)$$

де $h_{z1} = h_{n1} = 0,0091 \text{ м}$.

3. Розрахунок індукції в зубцях

$$B_{z1} = \frac{B_\delta \cdot t_{z1} \cdot l_\delta}{b_{z1} \cdot l_{cn1} \cdot K_c} = \frac{0,66 \cdot 0,0099 \cdot 0,114}{0,00562 \cdot 0,114 \cdot 0,97} = 1,18 \text{ Тл}. \quad (5.4)$$

$$B_{z1}=1,18, H_{z1}=411\text{А/м}$$

4.Магнітна напруга зубцевої зони ротора

$$F_{z2} = H_{z2} \cdot 2h_{z2} = 2 \cdot 436 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} = 10,9 \text{ А}, \quad (5.5)$$

$$h_{z2} = h_{r2} - 0,1 \cdot b_z = 12,8 - 0,1 \cdot 2,7 = 12,5 \text{ мм},$$

(5.6)

5.Індукція в зубці

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z2} \cdot l_{\delta}}{b_{z2} \cdot l_{cn2} \cdot K_c} = \frac{0,66 \cdot 0,011 \cdot 0,114}{6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,114 \cdot 0,97} = 1,22 \text{ Тл}, \quad (5.7)$$

по таблиці для $B_{z2}=1,22$ Тл знаходимо $H_{z2}=436$ А/м.

Робочі характеристики АД с короткозамкненим ротором

Таблиця 1

№ п/п	Розрахункова формула	Од ини ця	Ковзання						
			0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035
1	$a' \cdot \frac{r_2^{\square}}{s}$	Ом	358.8	179.4	119.6	89.7	71.7	59.8	51.3
2	$b' \cdot \frac{r_2^{\square}}{s}$	Ом	0	0	0	0	0	0	0
3	$R = a + a' \cdot \frac{r_2^{\square}}{s}$	Ом	362	182.6	122.8	92.9	74.9	63	54.4
4	$X = b + b' \cdot \frac{r_2^{\square}}{s}$	Ом	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
5	$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	Ом	362.1	182.7	123.1	93.2	75.1	63.5	55
6	$I_2^{\square} = \frac{U_{1H}}{Z}$	А	0.608	1.204	1.79	2.36	2.92	3.47	3.99
7	$\cos \phi_2^{\square} = \frac{R}{Z}$		1	0.998	0.998	0.996	0.994	0.992	0.989
8	$\sin \phi_2^{\square} = \frac{X}{Z}$		0.023	0.045	0.066	0.087	0.108	0.128	0.148
9		А	0.70	1.301	1.882	2.449	3	3.534	4.052

10		A	1.294	1.334	1.398	1.486	1.596	1.725	1.872
11	$I_1 = \sqrt{I_{0a}^2 + I_{0p}^2}$	A	1.473	1,863	2.345	2.864	3.398	3.933	4.463
12	$I_{21} = e \cdot I_2'$	A	0.624	1.237	1.837	2.424	2.999	3.56	4.107
13		кВТ	0.466	0.858	1.242	1.616	1.98	2.333	2.674
14	$P_{21} = 3 \cdot I_1^2 \cdot r_1 \cdot 10^{-3}$	кВТ	0.02	0.033	0.052	0.077	0.108	0.145	0.187
15		кВТ	1.98	7.79	0.017	0.03	0.046	0.065	0.086
16		кВТ	2.32	4.29	6.21	8.08	9.89	0.012	0.013
17		кВТ	0.231	0.251	0.282	0.322	0.371	0.428	0.493
18	$P_2 = P_1 - \Sigma P$	кВТ	0.234	0.607	0.96	1.29	1.6	1.9	2.18
19	$\eta = 1 - \frac{\Sigma P}{P_{1\text{в}}}$		0.503	0.707	0.773	0.801	0.813	0.816	0.816
20	$\cos \phi = \frac{I_{1a}}{I_{1\text{в}}}$		0.479	0.698	0.803	0.855	0.883	0.899	0.908

Література

1. Основи електроприводу : піручник / В. Савченко та ін. Київ : Ліра-К, 2016. 524 с.
2. Електричні машини та апарати : методичні рекомендації для виконання практичних робіт здобувачами початкового рівня (короткий цикл) вищої освіти ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми здобуття вищої освіти / уклад. Л. В. Вахоніна, О. М. Циганов, В. А. Мардзявко, А. Ю. Руденко. Миколаїв : МНАУ, 2022. 82 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/11537>
3. Електропривід і автоматизація : метод. реком. до проведення лабораторних робіт для здобувачів вищої освіти ступеня “бакалавр” спеціальності 208 “Агроінженерія” денної та заочної форми навчання / уклад. О. А. Авдєєва, О. С. Садовий. Миколаїв : МНАУ, 2018. 81 с. URL: <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/3742>
4. Виконавчі механізми у системах автоматики : метод. реком. для виконання курсової роботи здобувачам вищої освіти ступеня “Магістр” спеціальності 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” денної та заочної форми навчання / уклад. А. А. Ставинський, О. А. Авдєєва, О. С. Садовий. Миколаїв : МНАУ, 2018. 75 с. URL: <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/3755>.

Для довідок

Навчальне видання

ЕЛЕКТРОПРИВІД І АВТОМАТИЗАЦІЯ:

Методичні рекомендації

Укладач:

Зубєхіна-Хайят Олександра Валеріївна

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 1,5.

Тираж 20 прим. Зам. № ____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.