



Міністерство науки і освіти України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З ДИСЦИПЛІНИ
«РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ»
(для студентів, що навчаються за спеціальністю
131 «Прикладна механіка»,
спеціалізація «Автоматизовані логістичні системи»)

Рекомендовано кафедрою
Прикладної гідроаеромеханіки і
механотроніки
(Протокол від «28» 08 2024 р. №1)

Київ - 2024

УДК 621.311

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Ресурсозберігаючі технології логістичних систем» (для студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізація «Автоматизовані логістичні системи» / Уклад. О.Б. Неженцев. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. - 40 с.

Дано рекомендації щодо виконання практичних занять з дисципліни «Ресурсозберігаючі технології логістичних систем». Наведено вихідні дані і варіанти завдань, викладено методики розрахунку втрат і економії електричної енергії в типових електричних установках. Надано приклади розрахунку. Для закріплення знань по кожному заняттю студентам запропоновано контрольні питання.

Укладач:

О.Б. Неженцев, к.т.н., доц.

Відповідальний. за випуск

О.Ф. Луговський, д.т.н., проф.

Рецензент

Б.С. Воронцов, д.т.н., доц.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 3

Тема: ЗАМІНА МАЛОЗАВАНТАЖЕНИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ДВИГУНАМИ МЕНШОЇ ПОТУЖНОСТІ

Мета заняття - визначити зниження втрат активної потужності при заміні малоавантаженого асинхронного електродвигуна двигуном меншої потужності.

3.1 Умова завдання 5

Електродвигун А-92-2, що працює з навантаженням $P = 70$ кВт, замінюється електродвигуном меншої потужності А-82-2. Коефіцієнт зміни втрат $K_{\text{и}} = 0,1$ кВт/кВАр. Визначити ефективність виконаної заміни.

В таблиці 5 наведені технічні показники двигунів.

Т а б л и ц я 5 - Технічні показники електродвигунів

Найменування показників	Електродвигун А-92-2	Електродвигун А-82-2
Номинальна потужність $P_{\text{н}}$, кВт	$P_{\text{н}} = 125$ кВт	$P_{\text{н}} = 75$ кВт
ККД двигуна при номінальному навантаженні $\eta_{\text{н}}$	$\eta_{\text{н}} = 0,92$	$\eta_{\text{н}} = 0,91$
Коефіцієнт потужності ($\cos \varphi_{\text{н}}$) при номінальному навантаженні	$\cos \varphi_{\text{н}} = 0,92$	$\cos \varphi_{\text{н}} = 0,92$
Струм холостого ходу $I_{\text{х}}$, А	$I_{\text{х}} = 71$ А	$I_{\text{х}} = 42,6$ А
Втрати активної потужності при холостому ході $\Delta P_{\text{х}}$, кВт	$\Delta P_{\text{х}} = 4,4$ кВт	$\Delta P_{\text{х}} = 3,2$ кВт
Лінійна напруга мережі U , В	$U = 380$ В	$U = 380$ В

3.2 Розв'язок

Ефективність заміни малоавантажених електродвигунів визначається зниженням сумарних втрат активної потужності ΔP у двигунах меншої потужності.

Сумарні втрати активної потужності ΔP у двигуні визначаються по формулі:

$$\Delta P = [Q_{\text{х}}(1-K_{\text{з}}^2)+K_{\text{з}}^2 Q_{\text{н}}]K_{\text{и}}+ \Delta P_{\text{х}}+K_{\text{з}}^2 \Delta P_{\text{а}},$$

де $Q_{\text{х}}$, $Q_{\text{н}}$ - реактивна потужність, споживана з мережі, відповідно при холостому ході і при номінальному навантаженні, кВАр;

$K_{\text{з}}$ - коефіцієнт завантаження двигуна

$$K_{\text{з}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{н}}} = \frac{70}{125} = 0,56 ;$$

$\Delta P_{\text{а}}$ - приріст втрат активної потужності в електродвигуні при повному навантаженні, кВт;

K_n - коефіцієнт втрат в трансформаторах кВт/кВАр; для знижувальних трансформаторів 110/10кВ, що живляться від районних мереж $K_n = 0,1$.

Визначаємо втрати в малозавантаженому двигуні А 92-2.

Реактивна потужність, споживана асинхронним двигуном з мережі при холостому ході

$$Q_x = \sqrt{3}UI_x = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 71 \cdot 10^{-3} = 46,6 \text{ кВАр}.$$

Реактивна потужність, споживана асинхронним двигуном при номінальному завантаженні

$$Q_n = P_n \frac{\operatorname{tg} \varphi_n}{\eta_n} = \frac{125 \cdot 0,426}{0,92} = 58,0 \text{ кВАр}.$$

Приріст втрат активної потужності в двигуні при 100% завантаженні

$$\Delta P_a = P_n \frac{1 - \eta_n}{\eta_n(1 + \gamma)},$$

де γ - розрахунковий коефіцієнт, що залежить від конструкції двигуна

$$\gamma = \frac{\Delta P'_x}{100 - \eta'_n - \Delta P'_x} = \frac{3,5}{100 - 92 - 3,5} = 0,8,$$

де $\Delta P'_x$ - втрати активної потужності при холостому ході, виражені у відсотках

$$\Delta P'_x = \frac{\Delta P_x}{P_n} \cdot 100\% = \frac{4,4}{125} \cdot 100\% = 3,5\%;$$

η'_n - ККД двигуна при номінальному навантаженні, виражений у відсотках.

Таким чином, приріст втрат активної потужності в двигуні А 92-2 при 100% завантаженні

$$\Delta P_a = 125 \cdot \frac{1 - 0,92}{0,92(1 + 0,8)} = 6 \text{ кВт}.$$

Сумарні втрати активної потужності в двигуні А 92-2

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= [Q_x(1 - K_n^2) + K_n^2 Q_n] K_n + \Delta P_x + K_n^2 \Delta P_a = \\ &= [46,6(1 - 0,1^2) + 0,56^2 \cdot 58] \cdot 0,1 + 4,4 + 0,56^2 \cdot 6 = 11,6 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Аналогічно розрахуємо втрати в двигуні меншої потужності А 82-2.

Реактивна потужність, споживана асинхронним двигуном А 82-2 з мережі при холостому ході

$$Q_x = \sqrt{3}UI_x = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 42,6 \cdot 10^{-3} = 27,9 \text{ кВАр}.$$

Реактивна потужність, споживана асинхронним двигуном А 82-2 при номінальному завантаженні

$$Q_H = P_H \frac{\operatorname{tg} \varphi_H}{\eta_H} = \frac{75 \cdot 0,426}{0,91} = 35 \text{ кВАр} .$$

Приріст втрат активної потужності в двигуні А 82-2 при 100% завантаженні

$$\Delta P_a = P_H \frac{1 - \eta_H}{\eta_H (1 + \gamma)} = 75 \cdot \frac{1 - 0,91}{0,91(1 + 0,91)} = 3,86 \text{ кВт},$$

де

$$\gamma = \frac{\Delta P'_x}{100 - \eta'_H - \Delta P'_x} = \frac{4,3}{100 - 91 - 4,3} = 0,91;$$

$$\Delta P'_x = \frac{\Delta P_x}{P_H} \cdot 100\% = \frac{3,2}{75} \cdot 100\% = 4,3\% .$$

Сумарні втрати активної потужності в двигуні А 82-2

$$\begin{aligned} \Delta P_2 &= [Q_x(1 - K_z^2) + K_z^2 Q_H] K_H + \Delta P_x + K_z^2 \Delta P_a = \\ &= [27,9(1 - 0,93^2) + 0,93^2 \cdot 35] 0,1 + 3,2 + 0,93^2 \cdot 3,86 = 9,8 \text{ кВт} . \end{aligned}$$

Зниження сумарних втрат активної потужності після заміни двигунів

$$\Delta P = \Delta P_1 - \Delta P_2 = 11,6 - 9,8 = 1,8 \text{ кВт} .$$

Заміна мало завантаженого асинхронного електродвигуна А 92-2 двигуном меншої потужності А 82-2 дозволить знизити втрати активної енергії ΔE_a за рік

$$\Delta E_a = \Delta P \cdot T_{\text{роб}} = 1,8 \cdot 3000 = 5400 \text{ кВт} \cdot \text{год} .$$

Для виконання умов рентабельності необхідно, щоб економія від зниження втрат електроенергії (на протязі не більше 7 років) перевищила додаткові капіталовкладення на демонтаж старого двигуна, придбання і монтаж нового двигуна, а також різницю у вартості знятого обладнання (з урахуванням зносу) і встановлюваного (нового або такого, яке було в експлуатації).

Варіанти розрахунків при заміні мало завантажених асинхронних двигунів двигунами меншої потужності визначаються значеннями фактичного навантаження на двигун Р і наведені в таблиці 6.

Т а б л и ц я 6 – Початкові дані для розрахунків при заміні мало завантаженого асинхронного двигуна двигуном меншої потужності

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Р, кВт	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70

3.3 Умова завдання 6

Електродвигун насоса гідроприводу механізму зміни вильоту стріли крана завантажений на 50% ($K_3 = 0,5$), коефіцієнт використання двигуна $K_B = 0,7$, к.к.д. насоса $\eta_n = 0,8$. Визначити збільшення питомих витрат електроенергії внаслідок неповного завантаження електродвигуна. Коефіцієнт, що залежить від типу робочої машини $\alpha = 0,8$.

3.4 Розв'язок

Визначаємо збільшення питомих витрат електроенергії за виразом:

$$\frac{A_{п.в}}{A'_{п.в}} = \frac{K_3 \cdot K_B + \alpha \cdot (1 - \eta_n)}{[1 + \alpha \cdot (1 - \eta_n) \cdot K_3 \cdot K_B]} = \frac{0,5 \cdot 0,7 + 0,8(1 - 0,8)}{[1 + 0,8 \cdot (1 - 0,8) \cdot 0,5 \cdot 0,7]} = 1,43,$$

де $A_{п.в.}$ - питомі витрати електроенергії, які рівні відношенню електроенергії, що споживається з мережі до енергії повної роботи технологічного обладнання при $K_B = 1$;

$A'_{п.в.}$ - питомі витрати електроенергії при завантаженні машини до повної потужності;

K_3 - коефіцієнт завантаження;

K_B - коефіцієнт використання;

η_n - к.к.д. насоса;

α - коефіцієнт, який залежить від типу робочої машини і знаходиться в межах $0,7 \div 0,9$.

Початкові дані для розрахунку збільшення питомих витрат електроенергії внаслідок неповного завантаження електродвигуна за різними варіантами наведено в таблиці 7.

Т а б л и ц я 7 - Початкові дані для розрахунку збільшення питомих витрат електроенергії внаслідок неповного завантаження електродвигуна

Варіант	Коефіцієнт завантаження K_3	Коефіцієнт використання K_B	η_n	α
1	0,30	0,80	0,63	0,70
2	0,35	0,75	0,65	0,75
3	0,40	0,70	0,68	0,80
4	0,45	0,65	0,70	0,85
5	0,50	0,60	0,72	0,70
6	0,55	0,55	0,74	0,75
7	0,60	0,50	0,76	0,80
8	0,65	0,45	0,78	0,85
9	0,70	0,40	0,80	0,70
10	0,75	0,35	0,82	0,75
11	0,40	0,30	0,84	0,80
12	0,55	0,75	0,86	0,85

Контрольні питання

- 1 При якій мірі завантаження двигуна:
 - а) доцільна його заміна?
 - б) доцільність заміни має бути підтверджена необхідними розрахунками?
 - в) заміна двигуна недоцільна?
- 2 Визначите реактивну потужність, споживану двигуном з мережі:
 - а) при холостому ході?
 - б) при номінальному навантаженні?
- 3 Як визначити коефіцієнт завантаження двигуна?
- 4 Як впливає коефіцієнт завантаження двигуна на втрати потужності в двигуні?
- 5 Яким показником визначається доцільність заміни малозавантаженого двигуна двигуном меншої потужності?

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Мартинов А.В., Неженцев О.Б., Шевченко М.О. Основи енергозбереження: Навчальний посібник. – Луганськ: Вид-во СЛУ ім. В. Даля, 2003. – 232с.
- 2 Гольстрем В.А., Кузнецов Ю.Л. Справочник по экономии топливно-энергетических ресурсов. - К.: Техніка, 1985. - 383 с.
- 3 Чиликин М.Г. Общий курс электропривода. - М.: Энергия, 1971. - 423 с.
- 4 Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. / Под общ. ред. А.А.Федорова, Г.В.Сербиновского / Кн - 1. - М.: Энергия, 1973. – 520 с.
- 5 Мартынов А.В. Основы энергоэнтропии машин и процессов на промышленном транспорте. - Луганск: Изд-во Восточноукр. гос. ун-та, 1997. - 210 с.
- 6 Методичні рекомендації щодо нормування витрат палива, теплової енергії та опалення житлових, громадських будинків, споруд та на господарсько-побутові потреби в Україні.- К.: Держаний комітет України з енергозбереження. - 2000, - 636 с.
- 7 Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Основи енергозбереження в ПТДБММ" (для студентів, що навчаються за напрямом "Машинобудування", спеціальність "Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання") / Уклад. О.Б. Неженцев, М.О. Шевченко. - Сєверодонецьк: Вид-во СЛУ ім. В. Даля, 2016. - 40 с.

Додаток А

Т а б л и ц я А.1 – Питомий активний опір кабелів, Ом / км

Перетин жил, мм ²	Алюміній	Мідь
10	3.12	1.84
16	1.95	1.16
25	1.25	0.74
35	0.894	0.53
50	0.62	0.37
70	0.447	0.265
95	0.329	0.195
120	0.261	0.154
150	0.2	0.124
185	0.169	0.1
240	0.13	0.077
300	0.1	0.061
400	0.077	0.046

Т а б л и ц я А.2 – Питомий активний і реактивний опір повітряних ліній, Ом / км

Перетин проводу, мм ²	Алюміній		Сталеалюміній			
	r_0	x_0	Провід АС		Провід АСУ, АСО	
			r_0	x_0	r_0	x_0
16	1.96	0.39	2.06	0.411	-	-
25	1.27	0.377	1.38	0.398	-	-
35	0.91	0.366	0.85	0.385	-	-
50	0.63	0.355	0.65	0.374	-	-
70	0.45	0.345	0.46	0.364	-	-
95	0.33	0.333	0.33	0.353	-	-
120	0.27	0.327	0.27	0.347	0.28	0.4
150	0.21	0.319	0.21	0.34	0.21	0.4
185	0.17	0.311	-	-	0.17	0.393
240	0.13	0.304	-	-	0.13	0.384
300	-	-	-	-	0.1	0.378
400	-	-	-	-	0.08	0.368

Додаток Б

**Т а б л и ц я Б.1 - Технічні характеристики двохобмоткових
трифазних трансформаторів**

Тип трансформатора	P_H , кВт	ΔP_C , кВт	ΔP_M , кВт	I_{XX} , %	U_{K3} , %
ТМ-25/10	25	0,135	0,6	3,2	4,5
ТМ-40/10	40	0,190	0,88	3,0	4,5
ТМ-63/10	63	0,265	1,28	2,8	4,5
ТМ-100/10	100	0,365	1,97	2,6	4,5
ТМ-100/35	100	0,465	1,97	2,4	6,5
ТМ-160/10	160	0,565	2,65	2,4	4,5
ТМВМ-160/10	160	0,460	2,65	2,4	4,5
ТМФ-160	160	0,565	3,1	2,4	4,7
ТМ-160/35	160	0,700	3,1	2,4	6,8
ТМ-250/10	250	0,820	3,7	2,3	4,5
ТМВМ-250/10	250	0,660	3,7	2,3	4,5
ТМФ-250	250	0,820	4,2	2,3	4,5
ТМ-250/35	250	1,0	4,2	2,3	6,8
ТМ-320/10	320	1,600	6,0	6,0	5,5
ТМ-400/10	400	1,050	5,5	2,1	4,5
ТМ-400/35	400	1,150	4,2	3,5	4,5
ТМ-630/10	630	1,56	7,6	2,0	5,5
ТМФ-630/10	630	1,56	8,5	2,0	5,5
ТМ-630/35	630	1,42	7,6	3,0	6,5
ТМ-1000/10	1000	2,40	12,2	1,4	5,5
ТМС-1000/10 3ТЗ	1000	2,75	12,2	1,5	8,0
ТМ-1000/35	1000	2,75	12,2	1,5	6,5
ТМ-1600/10	1600	3,30	18,0	1,3	5,5
ТМ-1600/35	1600	3,65	18,0	1,4	6,5
ТМ-2500/10	2500	4,60	25,0	1,0	5,5
ТМ-2500/35	2500	5,10	25,0	1,1	6,5
ТМ-4000/10	4000	6,40	33,5	0,9	6,5
ТМ-4000/35	4000	6,70	33,5	1,0	7,5
ТМ-6300/10	6300	9,0	46,5	0,8	6,5
ТМ-6300/35	6300	9,40	46,5	0,9	7,5
ТМ-10000/35	6300	14,5	65,0	0,8	7,5
ТМ-16000/35	6300	21,0	90,0	0,6	8,0

Додаток В

Т а б л и ц я В.1 - Технічні дані компенсуючих конденсаторів

Тип конденсатора	U, В	N, кВАр	Маса, кг
УК1-0.415-20Т3	415	20	32
УК2-0.415-40Т3	415	40	70
УК3-0.415-60Т3	415	60	102
УК4-0.415-80Т3	415	80	136
УК4-0.38-100У3	380	100	140
УКЛ-6.3-450У3	6300	450	600
УКП-6.3-900У3	6300	900	885
УКЛ-6.3-1350У3	6300	1350	1170
УКЛ-10.5-450У3	10500	450	600
КМ-0.38-3	380	10	25
КМ-10.5-1	10500	25	35

Т а б л и ц я В.2 – Характеристики статичних конденсаторів

Фірма виробник і тип конденсаторів	Напруга, кВ	Ряд номінальних потужностей, кВАр	Питома вартість, Дол. США/кВАр	Питома потужність, кВАр/дм ³
Усть-Кам'яногорський конденсаторний завод	0,4 1,05 6,3 10,5	12,5; 30; 33; 60; 67 45,63; 125 75;150	5,6-10,7 3,9-9,8 3,3-3,4 3,3-10	2,25-5,42 дані відсутні дані відсутні дані відсутні
ZEZ ZAMBERK (CNAKP, CPAKB) Чехія	0,4 6,3	2; 3,15; 4; 5; 6,25; 8; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 40; 50 50; 100; 150;200	3,8-13,8 2,4 -5,3	2,0-9,0 дані відсутні
BERLINER CONDENSAT ORENFABRIK	0,4	5; 8,3; 10; 12,5; 16,7; 20; 25; 30; 33,3; 40; 50; 60;	13,3-42,0	1,8-3,0

Продовження Т а б л и ц і В.2

ELEKTRONIK ON CONDENSAT OREN GERA (MPP, MKP- конденсатори; ЕМ- конденсаторні модулі), Німеччина	0,4	Конденсатори 1; 2; 2,5; 3; 4; 6; 6,25; 7,5; 8; 10; 12,5; 13,3; 15; 20; 25 конденсаторні модулі 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 80; 100	дані відсутні 23,8-64,0	3,9-8,5 дані відсутні
НДПІКІ «Молнія» (КМР1, КМР2), Україна	6,3 10,5	50; 75; 150 50; 75; 150	3,5-4,0 3,5-4,0	2,85-4,35 2,85-4,35
ЕМЕК ELECTRIK (ECOVAR-5, ECOVAR-5M), Туреччина	0,4	10; 20; 30; 40; 50; 60	4,0	2,75-3,45
ELEKTROMO NTAZ BUDGOSZCZ (CLMP), Польща	0,4	2,5; 5,8; 8; 10; 12; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 60; 70; 80; 100; 120;	7,9-22,5	0,6-3,7

Додаток Г

Т а б л и ц я Г.1 – Значення тригонометричних функцій

Градуси	sin	tg	ctg	cos	Градуси
0	0,0000	0,0000	-	1,0000	0
1	0,0175	0,0175	57,290	0,9998	1
2	0,0349	0,0349	28,636	0,9994	2
3	0,0523	0,0524	19,081	0,9986	3
4	0,0698	0,0699	14,301	0,9976	4
5	0,0872	0,0875	11,430	0,9962	5
6	0,1045	0,1051	9,5144	0,9945	6
7	0,1219	0,1228	8,1443	0,9925	7
8	0,1392	0,1405	7,1154	0,9903	8
9	0,1564	0,1584	6,3138	0,9877	9
10	0,1736	0,1763	5,6713	0,9818	10
11	0,1908	0,1944	5,1446	0,9816	11
12	0,2079	0,2126	4,7046	0,9781	12
13	0,2250	0,2309	4,3315	0,9744	13
14	0,2419	0,2493	4,0108	0,9703	14
15	0,2588	0,2679	3,7321	0,9659	15
16	0,2756	0,2867	3,4874	0,9613	16
17	0,2924	0,3057	3,2709	0,9563	17
18	0,3090	0,3249	3,0777	0,9511	18
19	0,3256	0,3443	2,9042	0,9455	19
20	0,3420	0,3640	2,7475	0,9397	20
21	0,3584	0,3839	2,6051	0,9336	21
22	0,3746	0,4040	2,4751	0,9272	22
23	0,3907	0,4245	2,3559	0,9205	23
24	0,4067	0,4452	2,2460	0,9135	24
25	0,4226	0,4663	2,1445	0,9063	25
26	0,4384	0,4877	2,0503	0,8988	26
27	0,4540	0,5095	1,9626	0,8910	27
28	0,4695	0,5317	1,8807	0,8829	28
29	0,4848	0,5543	1,8040	0,8746	29
30	0,5000	0,5774	1,7320	0,8660	30
31	0,5150	0,6009	1,6643	0,8572	31
32	0,5299	0,6249	1,6003	0,8480	32
33	0,5446	0,6494	1,5395	0,8387	33
34	0,5592	0,6745	1,4826	0,8290	34
35	0,5736	0,7002	1,4281	0,8192	35
36	0,5878	0,7265	1,3764	0,8090	36
37	0,6018	0,7536	1,3270	0,7986	37
38	0,6157	0,7813	1,2799	0,7880	38
39	0,6293	0,8098	1,2349	0,7771	39
40	0,6428	0,8391	1,1918	0,7660	40
41	0,6561	0,8693	1,1504	0,7547	41
42	0,6691	0,9004	1,1106	0,7431	42
43	0,6820	0,9325	1,0724	0,7314	43
44	0,6947	0,9657	1,0355	0,7193	44
45	0,7071	1,000	1,0000	0,7001	45
Градуси	cos	ctg	tg	sin	Градуси