

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО  
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І СИСТЕМ  
УПРАВЛІННЯ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ЩОДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
**«ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОМИСЛОВОСТІ  
І КОМУНАЛЬНИХ ОБ'ЄКТАХ»**

ДЛЯ СТУДЕНТІВ ЗАОЧНОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ  
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ  
141 – «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА  
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»  
ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНИМИ ПРОГРАМАМИ:  
«ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ  
ТА ЕЛЕКТРОПРИВОД»,  
«ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ЕНЕРГОСМНИХ ВИРОБНИЦТВ»,  
«ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ»,  
«ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ»,  
«ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ»  
(ЧАСТИНА 1)

КРЕМЕНЧУК 2018

Методичні вказівки щодо виконання контрольної роботи з навчальної дисципліни «Енергоефективні технології в промисловості і комунальних об'єктах» для студентів заочної форми навчання зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за освітньо-професійними програмами: «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод», «Електромеханічне обладнання енергоємних виробництв», «Електричні машини і апарати», «Електротехнічні системи електроспоживання», «Енергетичний менеджмент». Частина 1

Укладачі: к. т. н., доц. С. А. Сергієнко,  
асист. В. Ю. Ноженко

Рецензент к. т. н., доц. В. О. Огарь

Кафедра систем автоматичного управління та електропривода

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2018 р.

Голови методичної ради \_\_\_\_\_ проф. В. В. Костін

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Рекомендації щодо виконання та оформлення контрольних робіт.....	6
2 Зміст завдання контрольної роботи .....	7
3 Рекомендації щодо виконання контрольних робіт.....	10
Список літератури .....	19
Додаток А Зразок оформлення титульної сторінки контрольної роботи...	20
Додаток Б Паспортні дані асинхронних двигунів серії 4А .....	21
Додаток В Параметри насосів типу К і асинхронних двигунів серії АІР...	22

## ВСТУП

Навчальна дисципліна «Енергоефективні технології в промисловості і комунальних об'єктах» є підґрунтям для вивчення навчальних дисциплін, що вивчають енергетичне господарство об'єктів промисловості, методи оцінювання їх енергоефективності, підходи до розробки заходів з енергоресурсозбереження засобами промислового електроприводу. Навчальні дисципліни, що забезпечують її вивчення: «Теоретичні основи електротехніки», «Промислове енергозбереження», «Системи енергозбереження в електроприводі», «Електропостачання промислових підприємств».

Метою навчальної дисципліни «Енергоефективні технології в промисловості і комунальних об'єктах» є отримання знань у галузі енергозбереження, визначення раціональних режимів роботи та експлуатації електроприводу, розробка заходів з енергозбереження засобами електроприводу.

Основним завданнями вивчення навчальної дисципліни «Енергоефективні технології в промисловості і комунальних об'єктах» є набуття практичних навичок, які надають змогу самостійно виконувати аналіз сучасних об'єктів промисловості в енергетичному аспекті та розробку заходів з енергозбереження засобами електроприводу.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

**знати:**

- основні підходи та методи з енергозбереження;
- багаторівневу структуру сучасного електроприводу;
- методи реалізації енергозбереження засобами промислового електроприводу;
- структуру та критерії оцінювання енергетичних каналів сучасного електроприводу;
- методи розрахунку потужностей і теплових режимів електроприводу;

- методи визначення раціональних режимів роботи та експлуатації електроприводів;

- підходи до побудови систем енергозбереження промислового електроприводу;

**уміти:**

- розраховувати баланси потужностей потоків енергії силового каналу електроприводів;

- аналізувати енергетичні характеристики регульованих електроприводів;

- виконувати розрахунок потужності електроприводів та оцінювання їх теплових режимів;

- виконувати вибір раціонального типу електроприводу;

- виконувати вибір раціональних режимів роботи та експлуатації технологічних установок та електроприводів;

- аналізувати заходи з енергозбереження засобами промислового електроприводу.

Методичні вказівки щодо виконання контрольної роботи з навчальної дисципліни «Енергоефективні технології в промисловості і комунальних об'єктах» містять: рекомендації щодо виконання та оформлення контрольної роботи, теоретичні та практичні завдання контрольної роботи, список літератури, зразок оформлення титульної сторінки контрольної роботи.

## **1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ ТА ОФОРМЛЕННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ**

Згідно з навчальним планом магістри заочної форми навчання виконують у письмовому вигляді контрольну роботу. Контрольна робота складається з теоретичного питання і трьох практичних завдань. У теоретичному завданні необхідно описати технологічні аспекти та питання енергозбереження для конкретного електромеханічного обладнання. Необхідно привернути особливу увагу на енергозбереження засобами електричного приводу. Під час виконання теоретичного контрольного завдання необхідно пам'ятати, що відповідь на питання має бути вичерпною і не бути формальною. Для виконання теоретичного завдання наведено список рекомендованої літератури. Відповідь на практичні контрольні завдання необхідно надавати з проміжними обчисленнями.

Номер варіанта контрольної роботи студенти вибирають за останньою цифрою залікової книжки, цифра «0» дорівнює варіанту № 10. Усього – 10 варіантів.

Контрольну роботу оформлюють на аркушах форматом А4 (210x297 мм) не більше 40 рядків на сторінці (з висотою знаків не менше 1,8 мм), розміри полів з усіх боків – 20 мм, міжрядкова відстань – 1,5.

Контрольну роботу виконують державною мовою, приблизний обсяг – 7–10 сторінок у друкованому варіанті або 10–15 сторінок – у рукописному.

Захист контрольної роботи проводиться в термін, затверджений директором ІЕЕСУ, але не пізніше ніж за тиждень до заліку. Без захисту контрольної роботи студент не допускається до заліку.

Зразок оформлення титульної сторінки контрольної роботи з навчальної дисципліни «Енергоефективні технології в промисловості і комунальних об'єктах» наведено у додатку А.

Ускладнення, що виникають під час самостійного розгляду теоретичних питань, розв'язуються під час індивідуально-консультативних занять, які проводить викладач. Графік індивідуально-консультативних занять складається на початку кожного семестру і знаходиться на кафедрі.

## 2 ЗМІСТ ЗАВДАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

### 2.1 Теоретичне завдання

1. Насоси, вентилятори, компресорне обладнання.
2. Млинове та дробильне обладнання.
3. Центрифуги, змішувачі, сепаратори.
4. Метало- та деревообробні верстати.
5. Прокатне, пресове та штамповне обладнання.
6. Гірничодобувальне та нафтогазове обладнання.
7. Конвеєри і транспортери.
8. Промислові маніпулятори.
9. Підйомно-транспортне обладнання.
10. Електротранспорт.

### 2.2 Практичне завдання

#### Практичне завдання № 1.

Визначити оптимальне навантаження асинхронного двигуна серії 4А і навантаження, за якого економічно доцільна його заміна на двигун меншої потужності. Паспортні дані двигуна серії 4А вибирати за варіантом (додаток Б). Вартість двигуна серії 4А  $C_{ust}$  визначити як 670 грн за 1 кВт.

Двигуни меншої потужності вибирати із серії АІР. У табл. 2.1 наведено вартість асинхронних двигунів серії АІР станом на 2018 р. Визначити терміни окупності у разі заміни двигуна для коефіцієнтів навантаження  $k_n = 0,25; 0,5; 0,75$  і часу роботи двигуна на рік  $T_r = 1\ 500, 3\ 000, 4\ 500$  і  $6\ 000$  годин. Нормативний термін служби (термін амортизації)  $T_{sl} = 20$  років; термін служби до модернізації  $T_r = 15$  років; норма амортизації  $p_a = 6,4\ %$  на рік.

Умови виконання завдання:

- як тариф на електроенергію брати одноставковий тариф для Полтавської області на 2018 рік, який дорівнює 265,316 коп./кВт·год;
- заробітна плата допоміжного персоналу після модернізації не

змінюється;

- витрати на демонтаж двигуна не враховувати;
- витрати на транспортування, монтаж і пусконаладжувальні роботи нового двигуна – 35 % його вартості;
- заміний двигун є резервним на підприємстві, і його ліквідаційна вартість дорівнює нуль.

Таблиця 2.1 – Вартість асинхронних двигунів серії АІР станом на 2018 р.

№ варіанта	Тип двигуна	Потужність, кВт	ККД, %	Вартість двигуна ( $C_{нов}$ ), грн
1	AIP80B4	1,5	78,5	2205
2	AIP100S4	3	82,5	3575
3	AIP100L4	4	84,2	4147
4	AIP112M4	5,5	85,7	4860
5	AIP132S4	7,5	87	6340
6	AIP132M4	11	88,4	7348
7	AIP160S4	15	89,4	11535
8	AIP160M4	18,5	90	12014
9	AIP180S4	22	90,5	15947
10	AIP180M4	30	91,4	18757
11	AIP200M4	37	92	24450
12	AIP200L4	45	92,5	24545
13	AIP225M4	55	93	34655
14	AIP250S4	75	93,6	40934
15	AIP250M4	90	93,9	45943

### Практичне завдання № 2.

Розрахувати допустиму частоту включення асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, паспортні дані якого наведені у додатку Б.

Умови виконання завдання:

- двигун працює з відносною тривалістю включення  $\varepsilon = 0,42$  з номінальним навантаженням;
- коефіцієнт погіршення тепловіддачі –  $\beta = 0,3$ ;
- сумарний приведений до валу двигуна момент інерції електроприводу  $J_{\Sigma}$  становить  $1,2J_d$ ;
- гальмування двигуна здійснюється вибігом (відключенням).



### Практичне завдання № 3.

Оцінити термін окупності модернізації електроприводу насосної установки, яка використовується для холодного водопостачання будівлі.

Холодне водопостачання будівлі здійснюється від насосної установки з консольним насосом типу К і двигуном серії АІР, з паспортними даними, які наведено у додатку В. Проводиться модернізація електроприводу насоса завдяки використанню перетворювача частоти. Вартість перетворювача частоти  $C_{pch}$  визначається як 2130 грн за 1 кВт.

Режим роботи насосної установки цілодобовий. Час роботи насоса становить 8000 год. на рік, з них насос працює з номінальними витратами  $Q_{nom}$  (м<sup>3</sup>/с) і напором  $H_{nom}$  (м вод. ст.) протягом часу  $T_{r1} = 2600$  год, з витратами  $Q_1$  (м<sup>3</sup>/с) протягом часу  $T_{r2} = 3000$  год і з витратами  $Q_2$  (м<sup>3</sup>/с) протягом часу  $T_{r3} = 2400$  год.

Напір для знижених витрат відповідно до характеристики насоса  $H - Q$  з номінальною швидкістю обертання становить  $H_1$  і  $H_2$ .

Умови розрахунку:

- одноставковий тариф на споживану електроенергію становить 2,7 грн/кВт · год.;
- витрати на пусконаладжувальні роботи складають 8 % від вартості перетворювача частоти;
- витрати на монтаж перетворювача частоти – 10 % від його вартості;
- річні амортизаційні відрахування з перетворювача частоти становлять 6,4 %;
- транспортні витрати – 1 % від вартості перетворювача частоти;
- ККД насоса і двигуна для розрахунку незмінні та дорівнюють номінальним;
- чисельність і заробітна плата допоміжного персоналу насосної станції після модернізації не змінилися.

### 3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

#### Приклад розв'язання практичного завдання № 1

Визначити оптимальне навантаження двигуна типу 4A180S4 і навантаження, за якого економічно доцільна його заміна на двигун меншої потужності.

Двигун 4A180S4 має такі номінальні дані: потужність  $P_{nom} = 22$  кВт; напругу 380/220 В; синхронну частоту обертання  $n_0 = 1500$  об/хв; ковзання  $s_{nom} = 0,02$ ; критичне ковзання  $s_k = 0,14$ ; струм статора  $I_{1nom} = 41,2$  А; ККД  $\eta_{nom} = 90$  %;  $\cos\varphi_{nom} = 0,87$ ; активний опір статора  $R_1 = 0,219$  Ом; приведений опір ротора  $R'_2 = 0,112$  Ом; кратність критичного моменту  $\lambda_k = 2,3$ . Вартість двигуна 4A180S4 станом на 2018 р. складає  $C_{ust} = 15\,947$  грн; нормативний термін служби (термін амортизації)  $T_{sl} = 20$  років; термін служби до модернізації  $T_r = 15$  років; норма амортизації  $p_a = 6,4$  % на рік.

Умови виконання завдання:

- двигуни меншої потужності вибираються із серії АІР;
- як тариф на електроенергію беруть одноставковий тариф для Полтавської області на 2018 рік, який дорівнює 265,316 коп./кВт·год;
- заробітна плата допоміжного персоналу після модернізації не змінюється;
- витрати на демонтаж двигуна не враховуються;
- витрати на транспортування, монтаж і пусконаладжувальні роботи нового двигуна – 35 % його вартості;
- заміний двигун є резервним на підприємстві, і його ліквідаційна вартість дорівнює нуль.

1. Визначаємо швидкість холостого ходу, номінальні швидкість і момент двигуна 4A180S4:

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{nom} = \omega_0(1 - s_{nom}) = 157 \cdot (1 - 0,02) = 154 \text{ рад/с};$$

$$M_{nom} = \frac{P_{nom}}{\omega_{nom}} = \frac{22000}{154} = 143 \text{ Нм.}$$

2. Знайдемо для номінального режиму повні, змінні та постійні втрати потужності:

$$\Delta P_{nom} = \frac{P_{nom}(1 - \eta_{nom})}{\eta_{nom}} = \frac{22000(1 - 0,9)}{0,9} = 2444 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_v = M_{nom} \omega_0 s_{nom} \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) = 143 \cdot 157 \cdot 0,02 \left(1 + \frac{0,219}{0,112}\right) = 1327 \text{ Вт};$$

$$\Delta P_c = \Delta P_{nom} - \Delta P_v = 2444 - 1327 = 1117 \text{ Вт.}$$

3. Оптимальне навантаження двигуна визначається за формулою:

$$k_{n,opt} = \sqrt{\frac{\Delta P_c}{\Delta P_v}} = \sqrt{\frac{1117}{1392}} = 0,92.$$

4. ККД двигуна із цим навантаженням:

$$\eta = \frac{k_n P_{nom}}{k_n P_{nom} + \Delta P_c + k_n^2 \Delta P_v} = \frac{0,92 \cdot 22000}{0,92 \cdot 22000 + 1117 + 0,92^2 \cdot 1327} = 0,903.$$

5. Визначаємо залишкову вартість установленого двигуна:

$$Ц_{ost} = Ц_{ust} \left(1 - \frac{T_r}{T_{sl}}\right) = 15947 \cdot \left(1 - \frac{15}{20}\right) = 3986,75 \text{ грн.}$$

6. Визначаємо терміни окупності у разі заміни цього двигуна для коефіцієнтів навантаження  $k_n = 0,25; 0,5; 0,75$  і часу роботи двигуна за рік  $T_r = 1\,500, 3\,000, 4\,500$  і  $6\,000$  годин. Термін окупності розраховуємо за формулою

$$T_{ok} = \frac{KZ_{nov} + KZ_{ost} - KZ_{likv}}{(c_e T_r \Delta P_{ekon} + (Ц_{ust} - Ц_{nov}) p_a)},$$

де  $KZ_{nov}$  – капітальні витрати з нового двигуна,  $KZ_{nov} = Ц_{nov} + Z_{dem} + Z_{tr} + Z_{mont} + Z_{nal}$ ;  $Ц_{nov}$  – вартість нового двигуна;  $Z_{dem}$ ,  $Z_{tr}$ ,  $Z_{mont}$ ,  $Z_{nal}$  – витрати відповідно на демонтаж замінного двигуна, транспортування, монтаж і пусконаладжувальні роботи нового двигуна;

$c_e$  – тариф на електроенергію;  $(C_{ust} - C_{nov})P_a$  – різниця в амортизаційних відрахуваннях до і після модернізації.

Відповідно до умов розв'язання задачі  $Z_{dem} = Z_{tr} + Z_{mont} + Z_{nal} = 1,35C_{nov}$ .

Тоді вираз для визначення терміну окупності набуває вигляду:

$$T_{ok} = \frac{1,35C_{nov} + 3986,75}{2,7 \cdot T_r \Delta P_{ekon} + 0,064(15947 - C_{nov}^*)}$$

Результати розрахунку терміну окупності під час заміни двигуна наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Дані розрахунку терміну окупності у разі заміни двигуна

Показник	Розрахункова формула	$k_n = 0,25$	$k_n = 0,5$	$k_n = 0,75$
1	2	3	4	5
Потужність навантаження з таким $k_n$ , кВт	$P_c = k_n P_{nom}$	5,5	11	16,5
Втрати потужності в змінному двигуні, кВт	$\Delta P = \Delta P_c + M_c \omega_0 s_c \left( 1 + \frac{R_1}{R_2'} \right),$ де $M_c = M_{nom} k_n$ ; $s_c$ визначається із виразу $M_c = \frac{2M_k}{\frac{s_c}{s_k} + \frac{s_k}{s_c}}$ , де $M_k$ – момент критичний; $s_k$ – критичне ковзання	1,25	1,65	2,31
Двигун для заміни	Серія АІР	112М4	132М4	160М4
Втрати потужності в новому двигуні в номінальному режимі, кВт	$\Delta P_{n.nom} = \frac{P_{n.nom}(1 - \eta_{n.nom})}{\eta_{n.nom}}$	0,918	1,443	2,056
Вартість нового двигуна (з урахуванням ПДВ,	–	4 860	7 347	12 014
Зниження втрат потужності у разі заміни, кВт	$\Delta P_{ekon} = \Delta P - \Delta P_{n.nom}$	0,332	0,205	0,25

Продовження табл. 3.1

1		2	3	4
Термін окупності з $T_r = 1\ 500$ год на рік	$T_{ok} = (1,35C_{nov} + 3986,75) /$ $/(2,7 \cdot T_r \Delta P_{ekon} +$ $+ 0,064(15947 - C_{nov}^*))$	5,135	10,09	15,69
Термін окупності з $T_r = 3\ 000$ год на рік		3,1	6,304	8,7
Термін окупності з $T_r = 4\ 500$ год на рік		2,22	4,58	6,015
Термін окупності з $T_r = 6\ 000$ год на рік		1,733	3,6	4,59

Як видно з отриманих даних, відносно прийнятний термін окупності маємо з  $k_n = 0,25$  і  $T_r = 6\ 000$  год, що відповідає наявним у технічній літературі рекомендаціям.

Уточнення розрахунку терміну окупності може бути виконано унаслідок обліку втрат потужності в системі електропостачання та ліквідаційної вартості замінного двигуна. Облік цих чинників призведе до деякого зниження терміну окупності.

### Приклад розв'язання практичного завдання № 2

Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу АІР132S4 має номінальну потужність  $P_{nom} = 7,5$  кВт; ковзання  $s_{nom} = 0,04$ ; ККД  $\eta_{nom} = 87,5$  %;

$\frac{M_{пуск}}{M_{nom}} = 2$ ;  $\frac{M_{max}}{M_{nom}} = 2,5$ ;  $J_d = 0,028$  кг·м<sup>2</sup>. Розрахувати допустиму частоту

включення.

Умови виконання завдання:

– двигун працює з відносною тривалістю включення  $\varepsilon = 0,42$  з номінальним навантаженням;

– відношення  $\frac{R_1}{R_2'} = 1,5$ ;

– коефіцієнт погіршення тепловіддачі  $\beta = 0,3$ ;

– сумарний приведений до валу двигуна момент інерції електроприводу

$J_{\Sigma}$  становить  $1,2J_d$ ;

– гальмування двигуна здійснюється вибігом (відключенням).

1. Визначаємо швидкість двигуна у режимі холостого ходу і в номінальному режимі:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{nom} = \omega_0(1 - s_{nom}) = 157 \cdot (1 - 0,04) = 150,7 \text{ рад/с}.$$

2. Визначаємо номінальний момент двигуна::

$$M_{nom} = \frac{P_{nom}}{\omega_{nom}} = \frac{7500}{150,4} = 50 \text{ Нм}.$$

3. Знаходимо повні втрати потужності в двигуні в номінальному режимі:

$$\Delta P_{nom} = \frac{P_{nom}(1 - \eta_{nom})}{\eta_{nom}} = \frac{7500(1 - 0,875)}{0,875} = 1071 \text{ Вт}.$$

4. Визначаємо змінні втрати потужності в обмотках статора і ротора в номінальному режимі:

$$\Delta P_v = M_{nom} \omega_0 s_{nom} \left( 1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) = 20 \cdot 157 \cdot 0,04(1 + 1,5) = 785 \text{ Вт}.$$

5. Знаходимо постійні втрати потужності:

$$\Delta P_c = \Delta P_{nom} - \Delta P_v = 1071 - 785 = 286 \text{ Вт}.$$

6. Розраховуємо середній момент двигуна під час пуску, беручи його таким, що дорівнює напівсумі пускового та максимального (критичного) моментів:

$$M_{sr} = \frac{M_{pusk} + M_k}{2} = \frac{2M_{nom} + 2,5M_{nom}}{2} = \frac{2 \cdot 50 + 2,5 \cdot 50}{2} = 113 \text{ Нм}.$$

7. Знаходимо час пуску двигуна:

$$t_{pusk} = \frac{J_{\Sigma} \omega_{nom}}{M_{sr} - M_c} = \frac{1,2 \cdot 0,028 \cdot 150,7}{113 - 50} = 0,08 \text{ с}.$$

8. Знаходимо втрати енергії під час пуску  $\Delta W_v$ , обумовлені змінними втратами потужності  $\Delta P_v$ :

$$\Delta W_V = \frac{J_{\Sigma} \omega_0^2 \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) (s_{nach}^2 - s_{kon}^2) M_{sr}}{2(M_{sr} - M_c)} =$$

$$= \frac{1,2 \cdot 0,028 \cdot 157^2 \cdot (1 + 1,5) \cdot (1^2 - 0,04^2) \cdot 113}{2 \cdot (113 - 50)} = 2547 \text{ Дж.}$$

9. Визначаємо втрати енергії, обумовлені постійними втратами потужності  $\Delta P_c$ , і сумарні втрати енергії за час пуску:

$$\Delta W_K = \Delta P_c t_{pusk} = 286 \cdot 0,08 = 23 \text{ Дж};$$

$$\Delta W_{pusk} = \Delta W_K + \Delta W_V = 23 + 2547 = 2570 \text{ Дж.}$$

10. Розраховуємо допустиму частоту включення двигуна, ураховуючи, що двигун працює з номінальним навантаженням і без втрат енергії під час гальмування:

$$h = 3600 \frac{\Delta P_{nom} \beta (1 - \varepsilon)}{\Delta W_{pusk}} = 3600 \frac{1071 \cdot 0,3 \cdot (1 - 0,42)}{2570} = 261 \text{ вкл./год.}$$

Підвищення допустимої частоти включення двигунів однозначно пов'язане зі зниженням втрат потужності і енергії в двигуні.

По-перше, зниження втрат енергії під час пуску  $\Delta W_{pusk}$  можливо за рахунок частотно-керованого пуску з використанням перетворювача частоти. Втрати енергії під час такого пуску, порівняно з розглянутим в прикладі прямим пуском, менші в  $\frac{2T_m}{t_{pch}}$  раз, де  $t_{pch}$  – час частотно-керованого пуску

(ЧП);  $T_m = \frac{J_{\Sigma} \omega_0}{M_{pusk}}$ . З виконанням умови  $t_{pch} > 2T_m$  будуть знижені втрати енергії під час пуску та підвищення допустимої частоти включення двигуна.

$$\text{Для розглянутого прикладу } T_m = \frac{1,2 \cdot 0,028 \cdot 157}{2 \cdot 50} = 0,05 \text{ с, тому зниження}$$

втрат енергії в двигуні відбуватиметься із часом наростання частоти під час пуску більше 0,1 с.

Наявність перетворювача частоти дозволяє також реалізовувати частотно-кероване гальмування двигуна, у тому числі з можливістю рекуперації енергії в мережу.

По-друге, зниження втрат під час пуску може бути забезпечено завдяки оптимальному вибору передавального числа (радіусу приведення) механічної передачі та номінальної швидкості двигуна.

### **Приклад розв'язання практичного завдання № 3**

Холодне водопостачання будівлі здійснюється від насоса типу K90/55 з номінальними напором 55 м, продуктивністю (подачею)  $90 \text{ м}^3/\text{год}$  ( $0,025 \text{ м}^3/\text{с}$ ) і ККД  $\eta_{nom} = 0,63$ . У насосній установці використовується двигун типу АІР18052УЗ з номінальними потужністю 20 кВт і ККД  $\eta_d = 0,88$ . Проводиться модернізація електроприводу насоса за рахунок використання перетворювача частоти (ПЧ) типу Lenze потужністю 22 кВт і вартістю  $C_{pch} = 46848$  грн (станом на 2018 р.). Потрібно оцінити термін окупності виробленої модернізації унаслідок економії електроенергії.

Режим роботи насосної установки цілодобовий. Час роботи насоса становить 8000 год. на рік, з них насос працює з номінальними втратами  $Q_{nom} = 0,025 \text{ м}^3/\text{с}$  і напором  $H_{nom} = 55$  м вод. ст. протягом часу  $T_{r1} = 2600$  год. з втратами  $Q_1 = 0,015 \text{ м}^3/\text{с}$  протягом часу  $T_{r2} = 3000$  год і з втратами  $Q_2 = 0,0025 \text{ м}^3/\text{с}$  протягом часу  $T_{r3} = 2400$  год.

Напір для знижених втрат відповідно до характеристики насоса  $H - Q$  з номінальною швидкістю обертання становить  $H_1 = 59$  м вод. ст. і  $H_2 = 62$  м вод. ст.

Умови розрахунку:

- одноставковий тариф на споживану електроенергію становить 2,7 грн/кВт · год.;
- втрати на пусконаладжувальні роботи складають 8 % від вартості перетворювача частоти;
- втрати на монтаж перетворювача частоти – 10 % від його вартості;
- річні амортизаційні відрахування з перетворювача частоти становлять 6,4 %;
- транспортні витрати приймаються в розмірі 1 % від вартості



перетворювача частоти;

– ККД насоса і двигуна для розрахунку незмінний і дорівнює номінальному;

– чисельність і заробітна плата допоміжного персоналу насосної станції після модернізації не змінилися.

Економію електроенергії знаходимо, зіставляючи споживання електроенергії нерегульованого та регульованого за швидкістю електроприводів.

*Нерегульований за швидкістю електропривод.* Для кожного рівня втрати  $Q$  і напору  $H$  знаходимо споживані потужності за виразом:

$$P_{sp} = \frac{\rho g H Q}{\eta_{nom} \eta_d},$$

де  $\rho$  – густина води,  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Споживану енергію знаходимо за формулою:

$$W_{sp} = P_{sp} T_r.$$

Результати розрахунку подані в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Дані розрахунку нерегульованого електроприводу

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,025	0,015	0,005
$H, \text{ м}$	55	59	62
$T_r, \text{ год}$	2600	3000	2400
$P_{sp}, \text{ кВт}$	24,33	15,66	5,49
$W_{sp}, \text{ кВт} \cdot \text{ год}$	63260	46980	13165

Споживання електроенергії за рік роботи насосної установки складе 123405 кВт · год.

*Регульований електропривод.* Після модернізації електроприводу унаслідок зниження швидкості двигуна зменшуються з тими ж втратами напір, а отже, споживані потужність і електроенергія.

Перерахунок рівнів напору і потужності для двох швидкостей  $\omega_1$  і  $\omega_2$  здійснюється за допомогою формул подібності:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2; \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^3.$$

Дані розрахунку за умови модернізації електроприводу подані в табл. 3.3.

Споживання електроенергії в цьому випадку складе 80700 кВт·год, а шукана економія  $W_{ek} = 42705$  кВт·ч.

Таблиця 3.3 – Дані розрахунку електроприводу при його модернізації

$Q$ , м <sup>3</sup> /с	0,025	0,015	0,005
$H$ , м	55	21,2	2,5
$T_r$ , год	2600	3000	2400
$P_{sp}$ , кВт	24,33	5,64	0,22
$W_{sp}$ , кВт·год	63260	16913	527

Визначаємо строк окупності, беручи як капітальні витрати вартість перетворювача частоти і всі супровідні витрати під час модернізації:

$$T_{ok} = \frac{KZ}{\Delta E_z} = \frac{46848 \cdot (1 + 0,08 + 0,1 + 0,01)}{(42705 - 46848 \cdot 0,064)} = 1,4 \text{ роки,}$$

де  $KZ$  – капітальні витрати під час модернізації;  $\Delta E_z = E_{z1} - E_{z2}$  – зменшення експлуатаційних витрат, що отримується за рахунок виконуваних капітальних витрат,  $E_{z1}$ ,  $E_{z2}$  – відповідно експлуатаційні витрати до і після модернізації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ильинский Н. Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н. Ф. Ильинский, В. В. Москаленко. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 208 с.
2. Закладний О. М. Энергосбережения засобами промислового електропривода : навч. посібник / О. М. Закладний, А. В. Праховник, О. І. Соловей. – К. : Кондор, 2005. – 408 с.
3. Энергосбережение на промышленных предприятиях : учеб. пособие / под ред. проф. М. И. Яворского. – Томск : Изд. ТПУ, 2000. – 134 с.
4. Жежеленко И. В. Эффективные режимы работы электротехнологических установок / И. В. Жежеленко. – К. : Техніка, 1987. – 183 с.
5. Ильинский Н. Ф. Энергосбережение в электроприводе / Н. Ф. Ильинский. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 127 с.
6. Фокин В. М. Основы энергосбережения и энергоаудита / В. М. Фокин. – М. : Машиностроение, 2006. – 256 с.
7. Юдасин Л. С. Энергетика: проблемы и надежды / Л. С. Юдасин. – М. : Просвещение, 1990. – 207 с.
8. Бакалін Ю. І. Енергосбереження та енергетичний менеджмент : навчальний посібник / Ю. І. Бакалін. – Харків : БУРУН і К, 2006. – 320 с.
9. Гительман Л. Д. Эффективная энергокомпания. Экономика. Менеджмент. Реформирование / Л. Д. Гительман, Б. Е. Ратников. – М. : ЗАО Олимп-бизнес, 2002. – 544 с.
10. Данилов О. Л. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов / О. Л. Данилов, П. А. Костюченко. – М. : АСВ, 2006. – 668 с.
11. Данилов Н. И. Основы энергосбережения / Н. И. Данилов, Я. М. Щелоков. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 564 с.

**Зразок оформлення титульної сторінки контрольної роботи**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО  
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І  
СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

Кафедра «Системи автоматичного управління та електропривод»

Контрольна робота  
з навчальної дисципліни  
«Енергоефективні технології в промисловості і комунальних об'єктах»

Студента групи \_\_\_\_\_  
шифр залікової книжки \_\_\_\_\_  
Прізвище, ім'я по батькові (повністю) \_\_\_\_\_

---

Перевірив \_\_\_\_\_  
(Пп/Б викладача, підпис)

Кременчук 2018

## Паспортні дані асинхронних двигунів серії 4А

Варіант	Тип двигуна	Параметр											
		$P_{nom}$ , кВт	$J_{rot.}$ , кг·м <sup>2</sup>	$n_0$ , об/хв	$I_{1nom}$ , А	$s_{nom}$	$s_k$	$\eta_{nom}$	$\cos\varphi_{nom}$	$R_1$ , Ом	$R'_2$ , Ом	$\lambda_k$	$\lambda_{пуск}$
1	4А112М4У3	5,5	0,0206	1500	11,1	0,035	0,25	0,855	0,882	1,32	0,922	2,2	2
2	4А132М4У3	11	0,0463	1500	21,53	0,027	0,195	0,875	0,876	0,462	0,312	3	2,2
3	4А160S4У3	15	0,1	1500	29,263	0,023	0,16	0,885	0,88	0,273	0,179	2,3	1,4
4	4А160М4У3	18,5	0,13	1500	35,688	0,022	0,16	0,895	0,88	0,215	0,141	2,3	1,4
5	4А180М4У3	30	0,2245	1500	54,97	0,019	0,14	0,91	0,910	0,16	0,078	2,3	1,4
6	4А200L4У3	45	0,434	1500	81,36	0,015	0,1	0,92	0,911	0,091	0,045	2,5	1,4
7	4А225М4У3	55	0,621	1500	99,31	0,014	0,1	0,925	0,908	0,067	0,032	2,5	1,3
8	4А250S4У3	75	1,0	1500	136,14	0,012	0,095	0,93	0,9	0,0304	0,0199	2,3	1,2
9	4А250М4У3	90	1,142	1500	158,5	0,013	0,095	0,93	0,921	0,032	0,019	2,3	1,2
10	4А280S4У3	110	2,3	1500	200,754	0,013	0,085	0,925	0,9	0,0216	0,0143	2	1,2

### Параметри насосів типу К і асинхронних двигунів серії АІР

Варіант	Параметри насоса								Параметри двигуна			
	Тип насоса	$Q_{nom}$ , м <sup>3</sup> /ГОД	$H_{nom}$ , м. вод.ст.	$\eta_{nom}$	$Q_1$ , м <sup>3</sup> /ГОД	$H_1$ , м. вод.ст.	$Q_2$ , м <sup>3</sup> /ГОД	$H_2$ , м. вод.ст.	Марка двигуна	$P_{nom}$ , кВт	$n_0$ , об/хв	$\eta_d$
1	К90/35	90	35	0,70	54	37	12	40	AIP 160S2	15	3000	0,894
2	К90/35а	85	29	0,68	53	33	10	36	AIP 132M2	11	3000	0,884
3	К100-80-160	100	32	0,78	65	35	15	38	AIP 160S2	15	3000	0,894
4	К100-65-200	100	50	0,76	65	53	15	56	AIP 180M2	30	3000	0,914
5	К100-65-200а	90	40	0,74	54	43	12	47	AIP 160M2	18,5	3000	0,90
6	К100-65-250	100	50	0,72	65	53	15	56	AIP 200L2	45	3000	0,925
7	К100-65-250а	90	67	0,70	54	70	12	72	AIP 200M2	37	3000	0,92
8	К100-65-250б	80	60	0,68	48	63	10	65	AIP 180M2	30	3000	0,914
9	К160/30	160	30	0,72	90	32	40	35	AIP 180M4	30	1500	0,91
10	К160/30а	140	29	0,70	80	32	35	34	AIP 180S4	22	1500	0,90

Методичні вказівки щодо виконання контрольної роботи з навчальної дисципліни «Енергоефективні технології в промисловості і комунальних об'єктах» для студентів заочної форми навчання зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за освітньо-професійними програмами: «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод», «Електромеханічне обладнання енергоємних виробництв», «Електричні машини і апарати», «Електротехнічні системи електроспоживання», «Енергетичний менеджмент». Частина 1

Укладачі: к. т. н., доц. С. А. Сергієнко,  
асист. В. Ю. Ноженко

Відповідальний за випуск зав. кафедри САУЕ Д. Й. Родькін

Підп. до др. \_\_\_\_\_. Формат 60×84 1/16 Папір тип. Друк ризографія  
Ум. друк. акр. \_\_\_\_\_. Наклад \_\_\_\_\_ прим. Зам № \_\_\_\_\_. Безкоштовно

Видавничий відділ  
Кременчуцького національного університету  
імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600