

Міністерство освіти і науки України

Сумський державний університет

Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання

Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту

Завідувач кафедри електроенергетики

\_\_\_\_\_ І. Л. Лебединський

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

## **Магістерська робота**

на тему:

**“ Комплексна електрифікація виробничих процесів майстерні по ремонту електрообладнання”**

Спеціальність 8.141 ”Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”

Виконала студентка гр. ЕТмдн-01п \_\_\_\_\_ Даниленко Д.В.

Керівник, ст.викладач \_\_\_\_\_ Єфімов Г.П.

Консультанти:

по економічній частині доцент, к.е.н. \_\_\_\_\_ Маценко О.М.

по питанням охорони праці \_\_\_\_\_ Єфімов Г.П.

Нормоконтроль, ст. викладач \_\_\_\_\_ Єфімов Г.П.

Сумський державний університет

Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання

Кафедра електроенергетики

Спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електроенергетики

\_\_\_\_\_ І. Л. Лебединський

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

### ЗАВДАННЯ

на магістерську роботу студентці групи ЕТмдн-01п

Даниленко Денису Володимировичу

1. Тема магістерської роботи: “ **Комплексна електрифікація виробничих процесів майстерні по ремонту електрообладнання**”затверджено наказом по університету №\_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_
2. Дата здачі роботи: 2021 р.
3. Вихідні дані роботи:
  - Нормативні документи;
  - План зони електропостачання;
  - Паспортні данні обладнання.
4. Зміст пояснювальної записки:
  - Вступ;
  - Технологічні процеси в ремонтній майстерні
  - Вибір технологічного обладнання
  - Вибір силового електрообладнання
  - Розрахунок освітлення
  - Технологія модернізації асинхронних електродвигунів
  - Проектування електропостачання майстерні
  - Охорони праці.
  - Економічна ефективність прийнятих рішень;
- Список використаної літератури.
5. Перелік графічного матеріалу:
  - Лист 1. План майстерні з силовою мережею.

Лист 2. План майстерні з освітлювальною мережею.

Лист 3. Принципова електрична схема КТП-10/0,4 кВ.

6. Консультанти:

Розділ	Керівник	Завдання видав	Завдання прийняв
1	Єфімов Г.П.		
2	Єфімов Г.П.		
3	Маценко О.М.		

7. Дата видачі завдання: \_\_\_\_\_

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Єфімов Г.П.

Завдання отримала студентка \_\_\_\_\_ Даниленко Д.В.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів магістерської роботи	Термін виконання
1	Розрахунок освітлювальної та силовій системи електропостачання	1.11–10.11.21
2	Розрахунок системи електропостачання	11.11–20.11.21
3	Охорона праці	20.11–24.11.21
4	Економічна частина	25.11–30.11.21
5	Написання розрахунково-пояснювальної записки і захист магістерської роботи	01.12–10.12.21

Студент-дипломник \_\_\_\_\_ Даниленко Д.В.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Єфімов Г.П.  
(підпис)

## Реферат

с. 121, рис. 22, табл. 20, кресл.3

Бібліографічний опис: “Комплексна електрифікація виробничих процесів майстерні по ремонту електрообладнання” [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра; спец.: 8.141 - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Даниленко Д.В; керівник Єфімов Г.П Суми: СумДУ, 2021. - 121 с.

**Ключові слова:** розробка технології, модернізація асинхронних двигунів, ємнісна компенсація реактивної потужності, енергоефективність, електропривод робочих машин, електрична енергія, внутрішня ємнісна компенсація реактивної потужності асинхронних двигунів.

разработка технологии, модернизация асинхронных двигателей, емкостная компенсация реактивной мощности, энергоэффективность, электропривод рабочих машин, электрическая энергия, внутренняя емкостная компенсация реактивной мощности асинхронных двигателей.

technology development, modernization of induction motors, capacitive compensation of reactive power, energy efficiency, electric drive of working machines, electric energy, internal capacitive compensation of reactive power of induction motors.

**Короткий огляд** – виконано дослідження виробничих приміщень майстерні по ремонту техніки. Розрахунок навантаження внутрішніх електричних мереж, вибір потужності силового трансформатора 10/0,4кв, проводів внутрішніх мереж, пускозахисної апаратури. Розрахунок навантаження внутрішніх електричних мереж, вибір потужності силового трансформатора 10/0,4кв, проводів внутрішніх мереж, пускозахисної апаратури.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,  
ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АД - асинхронний двигун;

МРС - магніторушійна сила (F);

ЕРС - електрорушійна сила (E);

ВЄКРП - внутрішня ємнісна компенсація реактивної потужності

$\Phi$  - магнітний потік;

$\cos \varphi$  - коефіцієнт потужності двигуна;

R - активний опір обмотки в схемі заміщення;

X - індуктивний опір обмотки в схемі заміщення;

I - струм обмотки статора двигуна;

$I_L$  - індуктивна складова струму двигуна;

$I_C$  - ємнісна складова струму двигуна;

C - ємність конденсатора;

w - число витків обмотки;

$\delta$  - просторовий зсув обмоток по пазах осердя статора;

$\alpha$  - фазовий зсув струмів двох напівобмоток статора.

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b>		8
1	<b>КОМПЛЕКСНА ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У РЕМОНТНІЙ МАЙСТЕРНІ</b>	9
1.1	Технологічні процеси в ремонтній майстерні	9
1.2	Вибір технологічного обладнання	10
1.3	Вибір силового електрообладнання	13
1.4	Вибір апаратури керування і захисту	24
1.5	Розрахунок силових електропроводок та розподільчих щитів	25
1.6	Розрахунок освітлення	27
1.7	Опалення та вентиляція майстерні	34
2	<b>РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВНУТРІШНЬОЇ ЄМНІСНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ</b>	37
2.1	Компенсація реактивної потужності асинхронних електродвигунів як один із заходів енергозбереження	37
2.2	Рекомендації щодо модернізації обмотки статора асинхронних двигунів з використанням внутрішньої ємнісної компенсації	43
2.3	Технологічні вказівки щодо виготовлення модернізованих обмоток	49
2.4	Післяремонтні випробовування	50
2.5	Вибір і встановлення конденсаторів	51
2.6	Метод вібраційної діагностики	53
2.7	Метод спектрального аналізу струму обмотки статора	59
2.8	Метод діагностики на основі штучних нейронних мереж	71
2.9	Метод тепловізornoї діагностики	76
3	<b>ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МАЙСТЕРНІ</b>	80
3.1	Вибір силового трансформатора	80
3.2	Розрахунок повітряних ліній електропередач	82
3.3	Перевірка умов спрацювання пускозахисної апаратури в аварійних режимах	84
3.4	Визначення втрат електроенергії	88

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Даниленко Д.В.			Лит.	Лист	Листов
Провер.		Ефімов Г.П.				6	121
Реценз.					<i>Сум ДУ ЕТмдн-01п</i>		
Н. Контр.							
Утверд.		Лебединский					

*Електрифікація майстерні по ремонту електрообладнання  
Пояснительная записка*

3.5	Визначення категорії за надійністю електропостачання та збитків від перерви у електропостачанні	90
3.6	Заходи по раціональному використанню та економії енергоресурсів	90
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	92
4.1	Аналіз стану безпеки праці на підприємстві	94
4.2	Розробка комплексу заходів щодо усунення небезпечних шкідливих виробничих факторів	98
4.3	Розрахунок заземлювального пристрою споживчої трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ	101
4.4	Блискавкозахист ремонтної майстерні	104
4.5	Пожежна безпека	105
5	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВСКРП АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ РЕМОНТНОЇ МАЙСТЕРНІ	107
	Висновок	119
	Список літератури	120

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Даниленко Д.В.</i>			<i>Електрифікація майстерні по ремонту електрообладнання Пояснительная записка</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Ефімов Г.П.</i>					6	121
<i>Реценз.</i>						<i>Сум ДУ ЕТмдн-01п</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>		<i>Лебединский</i>						

## ВСТУП

Подальше зростання ефективності сільськогосподарського виробництва не можливе без комплексної електрифікації та автоматизації виробничих процесів.

З року в рік зростає споживання електроенергії сільським господарством і практично все йде на виробничі процеси. В сільському господарстві України працює понад 3,7 млн. електродвигунів сумарною потужністю 19,2 млн. кВт. Проте значна кількість електродвигунів виходить з ладу відпрацювавши 20-50% нормативного терміну експлуатації, передбаченого заводом-виготовлювачем.

Сучасні трактори, автомобілі, самохідні комбайни та інша техніка, яку застосовують у сільськогосподарському виробництві, устатковані складним електрообладнанням, до якого належать джерела електропостачання з відповідними перетворювачами й регуляторами, контрольні й світлові прилади, електрична мережа з комунікаційною апаратурою та засобами захисту.

Зростання кількості споживачів потребувало нарощення потужності генераторів без істотного збільшення їхніх маси та габаритів, що сприяло появі компактної конструкції зі стабілізацією напруги регуляторами принципово нової схеми. Впроваджуються стартери з вмонтованими редукторами та збудженням від постійних магнітів. Це електрообладнання потребує грамотного його використання під час експлуатації, оскільки на нього припадає від 8 до 25 % усіх несправностей. Відмова в роботі або вихід із ладу будь-якого елемента електрообладнання може призвести до відмови всієї системи і машини в цілому, що призведе до простоїв, аварій та економічних втрат.

Для поліпшення організації та якості технічного обслуговування і ремонту електрообладнання при ремонтно-транспортних підприємствах створюють станції технічного обслуговування, які обладнують необхідними технічними засобами.<sup>7</sup>

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		



# 1 КОМПЛЕКСНА ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У РЕМОНТНІЙ МАЙСТЕРНІ

## 1.1 Технологічні процеси в ремонтній майстерні

Спеціалізована ремонтна майстерня призначена для проведення технічного обслуговування, поточного капітального ремонту силового електрообладнання.

Технологічний процес ремонту включає в себе наступні операції:

- доставка в цех;
- розбирання;
- очищення і мийка вузлів та агрегатів;
- дефектування;
- ремонт зношених деталей і збірних одиниць;
- комплектування;
- збірка;
- налаштування та післяремонтні випробовування;
- фарбування і сушіння;
- відправка на склад ремонтного фонду або на місце монтажу.

Процес ремонту розпочинається з миття. В технологічному процесі ремонту, миття і очистка виконується в декілька станів: зовнішнє миття; миття збірних одиниць; очистка окремих деталей в спеціальних машинах.

Починаючи ремонт, обладнання частково розбирають на агрегати для повторного миття, потім по конвеєру подають в камеру повторного миття, після чого його розбирають повністю.

З ділянки розбирання агрегатів і миття деталей контейнери з деталями надходять на ділянку дефектування.

Мета дефектування - встановити істинний технічний стан деталей і вузлів, прийняти правильне рішення про можливість їх подальшого використання. З ділянки дефектування контейнери надходять на ділянку комплектації. Мета цих робіт — підготувати комплекти деталей для збирання агрегатів.

					МП.5.8.141.041.ПЗ	Лист
						9
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Зібрані і перевірені вузли і агрегати фарбують і подають на лінію збирання.

Деякі вузли перед заключним встановленням збирають і випробовують в зібраному вигляді на окремих ділянках майстерні. На ділянці фарбування проводять роботи по підготовці поверхні до фарбування і відбувається процес фарбування.

## 1.2 Вибір технологічного обладнання

Технологічне обладнання ремонтно-монтажної ділянки повинна забезпечувати можливість продуктивного і якісного виконання розбірних робіт, миття вузлів і деталей, дефектування і транспортування агрегатів, вузлів на відповідні ремонтні ділянки.

Приймаючи комплект технологічного обладнання майстерні будемо орієнтуватися на типовий проект ТП 816-3-6.83 "Спеціалізована майстерня ремонту енергообладнання на 50 тис. умовних ремонтів на рік".

Ремонтно-монтажні роботи виконуються на спеціалізованих місцях.

Для розбирання двигунів, трансформаторів, інших вузлів з великою вагою використовують підвісні крани (кран-балки).

Для виконання контрольно-дефектних робіт і комплектування використовуються контрольно-вимірвальні стенди, столи, шафи, вимірвальний інструмент та пристосування для дефектування і сортування деталей.

На слюсарно-механічній дільниці виконуються роботи по механічній обробці деталей і деякі слюсарні роботи по ремонту деталей, виготовлення нестандартного обладнання, технологічної оснастки і інструменту.

Технологічне обладнання ділянки включає токарно-гвинтовий верстат, універсально-фрезерувальний верстат, вертикально-свердильний верстат.

Зварювання і наварювання металів бувають найбільш поширеними технологічними процесами при виконанні механічних ремонтних робіт. Для цих робіт в основному використовують електродугове зварювання. Додатково на

					МП.5.8.141.041.ПЗ	Лист
						10
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

ковальсько-зварювальній дільниці майстерні виконуються роботи по відновленню деталей тиском, виготовлення нових деталей і окремих їх частин.

Для різноманітних ковальських робіт, що виконані методом зварного кування на плоских і фасонних бабках використовуються пневматичні ковальські молоти. Для нагрівання деталей використовуються ковальські горни і нагрівні печі.

На збиральній ділянці виконуються ремонтно-монтажні роботи, пов'язані з збиранням, регулюванням електрообладнання. Ділянка обладнана стендами для збирання вузлів електрообладнання і різним випробувальним обладнанням.

До обладнання ділянки перевірки і регулювання автотракторного електрообладнання відноситься стенд КИ-968 ГОСНИТИ, що використовується для перевірки і регулювання електрообладнання.

В усіх приміщеннях ремонтної майстерні даним дипломним проектом передбачається вентиляція, яка забезпечує санітарно-гігієнічні норми повітряного середовища в рамках допустимих санітарно-гігієнічних нормативів.

Також виконання магістерської роботи передбачає автоматичне і дистанційне відключення вентиляційних систем при виникненні пожежі, а також неможливість включення зварювального апарату і зарядного агрегату без витяжної вентиляції.

Звичайна вентиляція проектується в тих випадках, коли в приміщеннях де вона встановлена, швидкість повітрообміну по існуючих нормативах дорівнює 3, в приміщеннях де кратність вище 3, передбачається штучна - з механічним спонуканням повітря або змішана вентиляція.

Як систему вентиляції для дільниці зварювання і наплавлення деталей використовують переривчасто витяжну вентиляцію з пристроями місцевого відсмоктування на робочих місцях.

Кількість повітря, яке видаляється загальнообмінною вентиляцією визначаємо за годинною кратністю цього обліку згідно вимог, що встановлені нормами. Необхідний повітрообмін визначаємо за формулою:

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						11
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$$L_n = V \cdot K_p, \quad (1.1)$$

де V- об'єм вентиляованого приміщення,  $V = 52,5\text{м}^3$ ;

$K_p$ - кратність повітрообміну, для ділянки зварювання  $K_p$  становить  $2,0 \div 2,5$ .

Тоді:

$$L_n = 52,4 \cdot 2,5 = 130,1 \text{ м}^3/\text{Г.}$$

Місцеві видалення повітря на робочому місці виконано у вигляді витяжної шафи. Кількість видаленого повітря визначаємо за формулою:

$$L_m = 3600 \cdot V_{cp} \cdot F, \quad (1.2)$$

де  $V_{cp}$ - середня швидкість повітря в робочому отворі,  $V_{cp} = 1,5 \text{ м/с}$  ;

F - площа поперечного перерізу робочого отвору,  $F = 0,5 \cdot 1,2 = 0,6 \text{ м}^2$ .

$$L_m = 3600 \cdot 1,5 \cdot 0,6 = 3230 \text{ м}^3/\text{Г.}$$

Приймаємо шафу за номером 2268 для зварних робіт розміром  $3030 \times 90 \times 2100 \text{ мм}$ .

Кількість видаленого повітря -  $3280 \text{ м}^3/\text{Г}$ . Сумарний дорівнює :

$$L = L_n + L_m = 131,1 + 3230 = 3375,1 \text{ м}^3/\text{Г.} \quad (1.3)$$

Видалення повітря з приміщення здійснюється з верхньої або нижньої зони. За розміром витяжного отвору приймається повітропровід квадратного перерізу  $276 \times 276 \text{ мм}$ , що виготовлений з оцинкованої сталі.

Розміщення технологічного обладнання в ремонтній майстерні наведено додатку А, дані про технологічне обладнання приводяться в табл. 1.1.

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						12
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

### 1.3 Вибір силового електрообладнання

Потужність електродвигуна вентилятора з запасом становить:

$$P_{уст} = K_3 L_{\delta} P / (3600 \cdot 102 \cdot \eta_e \cdot \eta_n \cdot \eta_{мид}), \quad (1.4)$$

де  $K_3$  - коефіцієнт запасу на пусковий момент ( для електродвигунів потужністю до 2кВ,  $K_3=1,2$ );

$L_{\delta}$  - дійсна подача вентилятора,  $L_{\delta} = 3406 \text{ м}^3/\text{г}$ ;

$P$  - приведений тиск,  $P = 41,2 \text{ кгс}/\text{м}^2$ ;

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						13
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 - Перелік технологічного обладнання з електроприводом

Назва обладнання	Електропривод							Апарат керування	
	тип	кількість, шт	P, кВт	n, об/хв	I <sub>н</sub> , А	η <sub>н</sub> , %	cos φ <sub>н</sub>	тип пускача	тип теплового реле
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Очищувач пароструменевий	АИР80В2	1	2,2	2850	4,7	83,0	0,87	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 102104
Стационарний пост змащування	АИР100А6	61	2,1	920	3,05	74,0	0,74	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100804
	АИР71В6	1	0,55	920	1,75	87,5	0,71	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100804
	АИР100А6	1	2,2	950	5,65	71,0	0,73	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100104
Електроmechanічний пост змащення	АИР71В6	1	0,55	920	1,75	87,5	0,71	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100704
Установка для діагностування тракторів	АКВ824УЗ	1	55	1430	98,5	87,5	0,88	ПМЛ 5200УЗ	РТЛ 100204
Машина для миття	АИР13254	1	7,5	1455	15,1	87,5	0,88	ПМЛ 2220УЗ	РТЛ 102104
Станок для шліфування клапанів	АИР71А4	1	0,55	1365	1,7	70,5	0,70	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100704
Універсальний станок притирання клапанів	АИР80В6	1	3,05	920	7,4	74,0	0,74	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100804
	АИР71В6	1	0,55	920	1,74	67,5	0,74	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100804
Автомат А-508М	АКД4-3	1	0,2	1450	0,7	75,0	0,72	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100204

МР.5.8.141.041.ПЗ

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	<i>МР.5.8.141.041.ПЗ</i>												
Установка для заряджання акумуляторів і пуску двигунів	-	1	42	-									200	-	-	-	-
Контрольно-випробувальна установка КИУ-5	-	1	3,0	-									10	-	-	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 102104
Машина контактного зварювання МТ-2201-1УХЛ4	-	1	20	-									60	-	-	ПМЛ 4220УЗ	РТЛ 100204
Стенд обкаточно-гальмівний	АИР25026	1	45	950									160	90,0	0,87	ПМЛ 4200УЗ	РТЛ 205704
Паливна колонка	АИР63В4	2	0,37	1365									1,2	68,0	0,77	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100304
Станок заточувальний настільний	АИР56В2	2	0,25	2770									0,74	68,0	0,77	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100304
Станок свердлильний настільний	АИР71В2	1	0,55	920	1,74	67,5	0,71	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100304								
Трансформатор для паяння поводів	-	1	5	-	22,8	-	-	-	-								
					15		Лист										

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Універсальний стенд КИ 968	АИР90А4	1	2,2	1410	5,0	80,0	0,83	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100704
Селеновий вимикач	-	1	4,0	-	6,1	-	-	-	-
Електродістоля тор	-	1	1,6	-	7,3	-	-	-	-
Універсальний стенд для випробувань паливної апаратури	АИР80В4	1	1,5	1395	3,6	77,0	0,83	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100704
Вертикально- свердильний станок	АИР100А6	1	2,2	950	5,65	81,0	0,73	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100704
Комбінований станок	АИР100Л6	1	0,12	1375	0,44	63,0	0,66	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100104
Токарно- гвинторізний станок	АИР100Л6	1	2,2	950	5,65	81,0	0,74	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100104
Пристосування для обкатки задніх мостів	АИР132В2	1	7,5	1455	15,7	87,0	0,86	ПМЛ 122УЗ	РТЛ 101404

МР.5.8.141.041.ПЗ



Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Молот пневматичний	АИР 13284	1	7,5	1455	22,0	87,5	0,87	ПМЛ 122УЗ	РТЛ 100404
Стенд для ремонту підвищення кареток тракторів	АИР13254	1	7,5	1455	15,1	87,5	0,88	ПМЛ 2220УЗ	РТЛ 102104
Електрошліфувальна машина	АИР71В2	1	1,1	2890	2,48	77,5	0,87	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100604
Обдирочно-шліфувальний станок	АИР 10014	1	4,0	1410	8,6	84,0	0,84	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 101004
Кран підвісний	АИР112М 4	3	5,5/2	1425	11,5	85,0	0,85	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100804
Лебідка електрична	АИР112М 4	3	5,5/2	1425	11,5	85,0	0,85	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100804
Витяжна система ВУ-15	АИР71В4	1	0,55	1365	1,7	70,5	0,70	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100404
-/- ВУ-14	АИР71В4	1	0,55	1365	1,7	70,5	0,70	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100404
-/- ВУ-13	АИР71В4	1	0,55	1365	1,7	70,5	0,70	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100404
-/- ВУ-12	АИР71В4	1	0,75	920	2,25	690	0,74	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100404
-/-ВУ-11	АИР71В4	1	0,55	1365	1,7	70,5	0,70	ПМЛ 1220УЗ	РТЛ 100404

МР.5.8.141.041.ПЗ

17

Лист



$\eta_e$  - ккд вентилятора,  $\eta_e = 0,6$ ;

$\eta_n$  - ккд передачі,  $\eta_n = 1$ ;

$\eta_{ніо}$  - ккд підшипників,  $\eta_{ніо} = 0,98$ .

Тоді:

$$P_{уст} = 1,2 \cdot 3406 \cdot 41,2 / (3600 \cdot 102 \cdot 0,6 \cdot 0,98) = 1,28 \text{ кВт.}$$

Електродвигун вентилятора працює в тривалому режимі згідно ГОСТ 183-74 з постійним або з навантаженням, що змінюється не значно.

Номінальну потужність вибираємо за умови:

$$P_{ном} \geq P_{уст}.$$

Вибираємо електродвигун потужністю 1,5 кВт. Живлення здійснюється трифазним змінним струмом з частотою 50 Гц. За частотою обертання двигун вибираємо, виходячи з характеристик вентилятора, частота обертання якого повинна бути в межах  $930 \div 1420 \text{ хв}^{-1}$ , маючи високий ккд і  $\cos \varphi$  та мінімальну собівартість.

У відповідності з ГОСТ 2479-79 за конструктивним виконанням і ступенем монтажу приймаємо двигун виконання ІМ.

Оскільки до приводу вентилятора не застосовують спеціальних вимог, то приймаємо електродвигун з нормальною механічною характеристикою основного виконання АІР 80В4С1.

Перевіряємо двигун за умовами пуску при зниженій напрузі з урахуванням розкиду параметрів електродвигуна. Визначаємо час пуску графоаналітичним методом і перевіряємо двигун за нагрівом під час пуску.

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						19
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Механічна характеристика вентилятора одержана розрахунковим шляхом за формулою:

$$M_c = M_0 + (M_{cn} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^x, \text{ Нм}; \quad (1.5)$$

де  $M_0$  - момент зрушення, Нм;

$M_{cn}$  - момент статичних опорів при номінальних швидкостях, Нм;

$\omega$  - поточне значення кутової швидкості;

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 1420 / 60 = 148,4 \text{ с}^{-1};$$

$$M_0 = 0,15 M_{cn}, \text{ Нм};$$

$$M_0 = 0,15 \cdot 8,6 = 1,22 \text{ Нм}.$$

Результати розрахунків заносимо до табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Розрахунок механічної характеристики вентилятора

$\omega, \text{с}^{-1}$	0	31,4	62,8	94,2	115,1	148,4	157
$M_c, \text{Нм}$	1,31	1,63	2,7	4,35	6,74	8,6	9,8

Момент інерції, приведений до вала електродвигуна, визначається за формулою:

$$j_{np} = j_{дв} + j_{зв}, \quad (1.7)$$

де  $j_{дв}$  - момент інерції двигуна;

$$j_{дв} = 0,0033 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$j_{зв}$  - момент інерції вентилятора,  $j_{дв} = 0,009 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

$$j_{np} = 0,0033 + 0,009 = 0,0123 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$j_{np} = 0,123 \text{ Нм}^2.$$

Механічну характеристику двигуна розраховуємо за формулою:

$$M = \frac{M_{кр} \cdot (2 + q)}{\left(\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S}\right) + q}, \text{ Нм}; \quad (1.8)$$

де  $M_{кр}$  - максимальний момент двигуна;

$S_{кр}$  - критичне ковзання;

$S$  - поточне значення ковзання.

$$M = M_{\min}, \text{ Нм}; \quad \omega = \omega_{\min}, \text{ сек}^{-1} \quad S = 0,85$$

$$M = M_n, \text{ Нм}; \quad \omega = \omega_n, \text{ сек}^{-1} \quad S = 1$$

За побудованою характеристикою знаходимо характеристику, що відповідає зниженню напруги на затискачах електродвигуна (допускається  $\Delta U$  -5%):

$$M' = M \cdot \left(\frac{U}{U_n}\right)^2, \text{ Нм}; \quad (1.12)$$

За цією механічною характеристикою будемо криву механічної характеристики двигуна з врахуванням розкиду його параметрів згідно ГОСТ 123-79. Допускається зменшення:  $M_{\max}$  на 10%,  $M_{\min}$  на 10%,  $M_n$  на 10% від номінального.

Розрахунок проводимо в табличній формі (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 - Розрахунок механічних характеристик електродвигуна

$\omega \text{ с}^{-1}$	151	144,5	117,55	23,59	0
S	0	0,08	0,25	0,85	1
M, Нм	0	10,1	22,2	16,17	18,19
M' Нм	0	8,71	19,13	13,95	15,65
M'' Нм	0	6,35	17,22	11,12	13,33

На рис. 1.1 побудована механічна характеристика вентилятора та механічна характеристика електродвигуна. Динамічну характеристику отримуємо шляхом віднімання:

де  $M_{\text{де}}$  – момент, що розвивається електродвигуном;

$M_c$  - момент опору вентилятора.

Оскільки при запуску динамічний момент має змінне значення, то для визначення часу розгону вибираємо невеликий приріст швидкості, під час якого динамічний момент змінюється мало та рівний середньому значенню за час, необхідний для приросту швидкості на величину  $\Delta\omega$ :

Результати розрахунку часу пуску заносимо до табл.1.4.

Таблиця 1.4 - Розрахунок часу пуску електродвигуна

$j, \text{Нм}^2$	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123	0,123
$\Delta\omega, \text{с}^{-1}$	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7
$M_{\text{дин}} \text{Нм}$	13,1	11,9	12,2	12,7	13,3	13,7	13,8	12,9	1
$t, \text{с}$	0,14	0,16	0,188	0,152	0,145	0,14	0,139	0,149	0,578

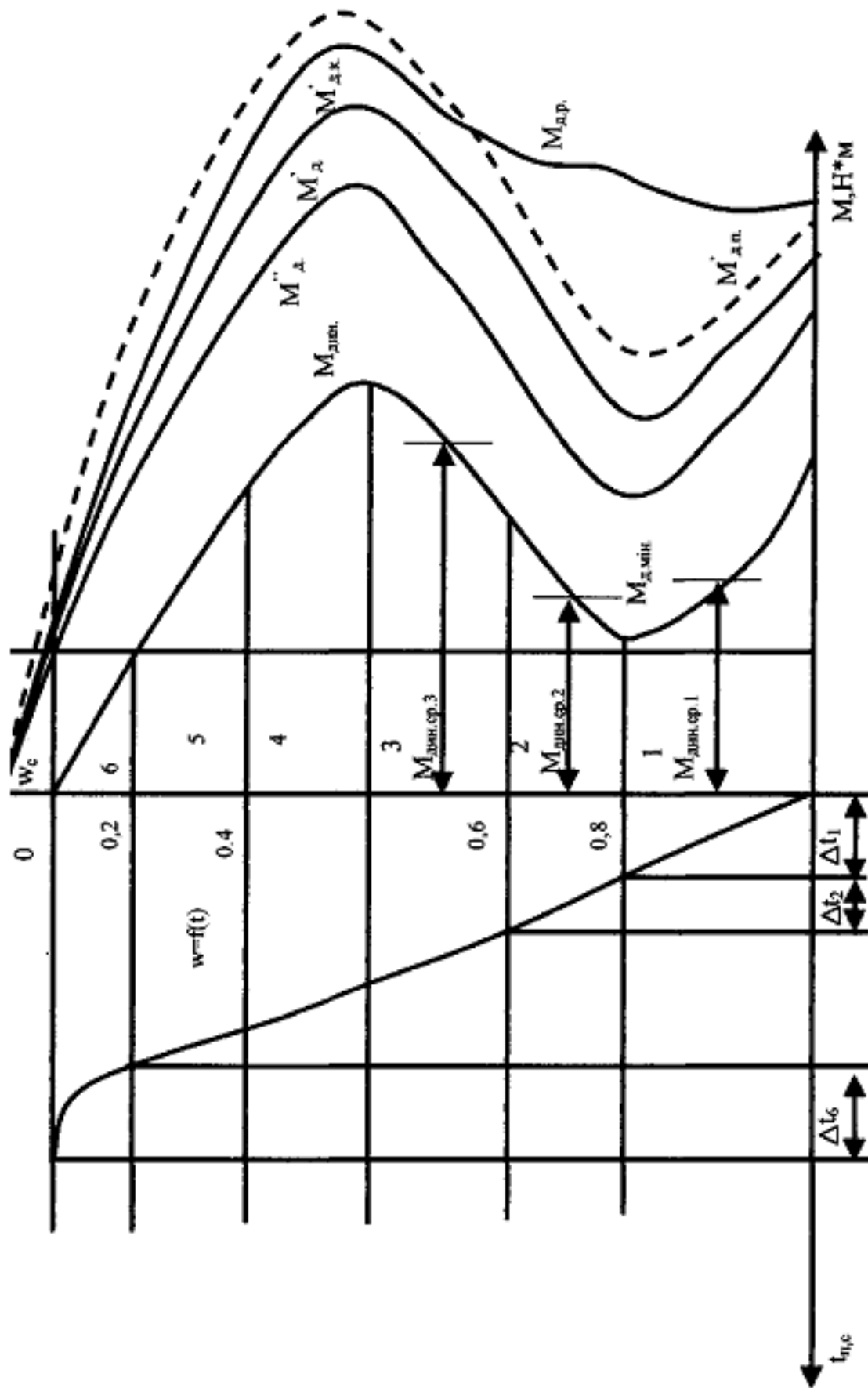


Рис. 1.1 – Механічні характеристики електродвигуна АИР80А4СУ1. Визначення тривалості пуску електропривода графо-аналітичним методом

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

Час пуску електродвигуна:  $t_n = \Sigma \Delta t = 1,957 \text{ с}$ .

Нагрівання двигуна за час пуску визначається за формулою:

$$\theta = \theta_n + v_t \cdot t_n, \quad (1.15)$$

де  $\theta_n$  - температура навколишнього середовища,  $\theta_n = 20^\circ\text{C}$ ;

$v_t$  - швидкість зростання температури,  $v_t = 5,9^\circ\text{C}/\text{с}$ .

Тоді:

$$\theta = 20 + 5,6 \cdot 1,957 = 31,25^\circ\text{C}.$$

Нагрівання двигуна під час пуску незначне і не перевищує допустимі параметри.

#### 1.4 Вибір апаратури керування і захисту

Для захисту від перевантажень і коротких замикань вибираємо автоматичний вимикач типу ВА. Вибір здійснюємо для електродвигуна 4ААМ63А4У3 витяжної системи ВУ-5. Параметри двигуна:  $P_n = 0,25 \text{ кВт}$ ;  $I_{н.дв} = 0,85 \text{ А}$ ;  $I_{п} = 4,25 \text{ А}$ .

Вибір здійснюємо з наступних умов, при цьому  $I_{ав} = 25 \text{ А}$ :

1.  $U_{ав} \geq U_{мер}$ ;  $U_{ав} = 380 \text{ В} \geq U_{м} = 380 \text{ В}$ ;
2.  $I_{ав} \geq I_{н.дв}$ ;  $I_{ав} = 25 \text{ А} > I_{н.дв} = 0,85 \text{ А}$ ;
3.  $I_{т.р} \geq I_{н.дв}$ ;  $I_{т.р} = 1,0 \text{ А} \geq I_{н.дв} = 0,85 \text{ А}$ ;
4.  $I_{відс. ел.магн. р} \geq (1,45 \dots 1,65) \cdot I_{пуск}$ ;  $I_{відс. ел.магн. р} = 12 I_{ав} = 12 \cdot 25 = 300 \text{ А} \geq 1,65 \cdot I_{пуск} = 5,6 \text{ А}$ ;
5.  $I_{гр.к} \geq I_{зф.к.з}$ ;  $I_{гр.к} = 3 \text{ кА} \geq I_{зф.к.з} = 1,5 \text{ кА}$ .

Вибираємо автоматичний вимикач ВА51 25-340010РІР30УХЛЗ згідно ТУ 16-522.157-83.

					<i>МР.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						24
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		



Для дистанційного керування електродвигуном і для захисту від перевантажень вибираємо електромагнітний пускач типу ПМЛ з тепловим розчіплювачем серії РТЛ, виходячи з умов:

1.  $U_{\text{емп}} \geq U_{\text{мер}}; U_{\text{емп}} = 380\text{В} \geq U_{\text{мер}} = 380\text{В};$
2.  $I_{\text{н.м}} \geq I_{\text{н.дв}}; I_{\text{н.м}} = 10\text{А} \geq I_{\text{н.дв}} = 0,85\text{А};$
3.  $I_{\text{уст.т.р.}} \geq I_{\text{н.дв}}; I_{\text{уст.т.р.}} = 1,1\text{А} \geq I_{\text{н.дв}} = 0,85\text{А};$
4.  $U_{\text{кот. емп}} \geq U_{\text{мер}}; U_{\text{кот. емп}} = 220\text{В} \geq U_{\text{мер}} = 220\text{В}.$

Приймається електромагнітний пускач типу ПМЛ-1230 О4В з електротепловим реле РТЛ – 1005804 з діапазоном регулювання номінального струму неспрацювання 0,61÷1,0 А.

Аналогічно вибирається апаратура керування і захисту для всіх інших струмоприймачів і результати розрахунків та вибору заносимо в розрахунково-монтажну таблицю силової мережі (додаток А).

### 1.5 Розрахунок силових електропроводок та розподільчих щитів

Переріз струмоведучих проводів і кабелів вибираємо з умови гранично допустимого нагрівання і достатньої механічної міцності:

$$I_{\text{т.дон}} \geq I_{\text{max.т.дон}}, \quad (1.16)$$

де  $I_{\text{т.дон}}$  - тривало допустимий струм нагріву провідника, А;

$I_{\text{max.т.дон}}$  - максимальний тривало допустимий струм нагріву провідника, А.

Проводиться розрахунок і вибір проводки для двигуна вентилятора зварювальної ділянки. Електродвигун працює з постійним навантаженням. За максимальний робочий струм приймаємо його номінальний струм:

$$I_{\text{max.т.дон}} = I_{\text{н.вїд}} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi}; \quad (1.17)$$

$$I_{\text{max.т.дон}} = I_{\text{н.вїд}} = \frac{0,25 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,84 \cdot 0,83} = 0,51\text{А}.$$

					МР.5.8.141.041.ПЗ	Лист
						25
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Приймаємо провід марки АПВ з алюмінієвими жилами, прокладений в сталевих трубах, потай в підлозі. Переріз струмопровідної жили 2,5 мм<sup>2</sup>. Проводку виконуємо в сталевій трубі згідно ГОСТ 3262 - 75.

Внутрішній діаметр труби визначаємо за формулою:

$$D \geq 1,2 \cdot d, \quad (1.18)$$

де  $d$  - діаметр проводки, мм; для трижильного проводу АПВ діаметр складає  $d = 9,0$  мм, тоді:  $D = 1,5 \cdot 9,0 = 13,5$  мм.

Приймаємо трубу з найбільш стандартним близьким значенням внутрішнього діаметру - 15 мм. Аналогічно вибираємо силову електропроводку для інших струмоприймачів і результати заносимо в розрахунково-монтажну таблицю (лист №2 графічної частини).

Живлення струмоприймачів здійснюється від головної розподільчої шафи типу ПР8501-074-ІР21У3 із автоматичними вимикачами ВА51Г31-340010020У3 та розподільчих шаф типу ПР8501-023-ІР21У3 з вимикачами ВА51-2534.

Пусковою і захисною апаратурою для електродвигунів слугують електромагнітні пускачі ПМЛ з кнопками керування.

Підключення переносних струмоприймачів передбачається від силових ящиків із штепсельними роз'єднаннями і розетками типу РШ - 30, ШТ - 10.

Вимикач вводу триполюсний ВА51Г33-340010020У3 на 160 А. Розподільча частина електромережі виконана кабелем АВВГ, який прокладений по будівельних конструкціях, проводом ПВ або АПВ в поліетиленових або сталевих трубах. Живлення вводу здійснюється кабелем АВВГ 4х95.

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						26
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

## 1.6 Розрахунок освітлення

Передбачається робоче (загальне і місцеве) освітлення, аварійне і переносне. Напруга мереж робочого і аварійного освітлення 380/220 В, - переносного 36 В.

Освітленість приміщення прийнята згідно вимог ДСТУ та документу "Норми проектування освітлення".

Робоче і аварійне освітлення передбачається світильниками типу ПВЛМ, ПСХ; переносне - світильниками РВО - 42 УХЛ4 через ящики з понижувальними трансформаторами ЯТП - 0,25. Штучне освітлення повинно відповідати таким вимогам: забезпечити необхідну і постійну освітленість робочого місця, деталей, інструментів; не допускати різниці в освітленні окремих ділянок робочого місця.

Проектом передбачена система штучного освітлення: загальна і комбінована.

При комбінованій системі освітлення використовується загальне і місцеве освітлення робочого місця. Розрахунок освітлення виконується на кожній ділянці допоміжних і побутових приміщень, згідно з діючими нормами ДБН П-97.

Розрахунок освітлення здійснюємо методом використання коефіцієнта світлового потоку, перевірку розрахунку освітлення виконуємо точковим методом. Вибір освітлювальних установок і способів прокладання електропроводів проводимо в залежності від умов навколишнього середовища в приміщеннях.

Виконуємо розрахунок освітлення для ремонтно-монтажної дільниці. Розміри дільниці - 19x10 м. Висота приміщення - 6 м. Освітлювальна площа - 190 м<sup>2</sup>. Для освітлення використовуємо люмінесцентні лампи, які мають ряд переваг:

- висока освітлювальна віддача, довгий період роботи, мала собівартість;
- сприятливий спектр випромінювання, висока якість передачі кольору;
- низька яскравість і температура поверхні лампи.

									Лист
									27
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата					

MP.5.8.141.041.ПЗ

Вибираємо світильники типу ПВЛМ 2x40, в яких встановлено по дві люмінесцентні лампи ЛБ-40. Світловий потік лампи - 4320 лм. Розрахунковий світловий потік для всього приміщення:

де  $E$  - нормальна освітленість, лк;  $E=200$  лк;

$K$  - коефіцієнт запасу,  $K = 1,3$ ;

$S$  - площа приміщення,  $m^2$

$Z$  - коефіцієнт нерівномірності освітлення,  $Z = 1,1$ ;

$\eta$  - коефіцієнт використання світлового потоку.

Визначаємо індекс приміщення:

$H_p$  - розрахункова висота світильників;

$$H_p = H - (h_c + h_p), \quad (1.21)$$

де  $H$  - висота приміщення,  $m$ ;

$h_c$  ~ відстань від світильників до стелі,  $h_c = (0,2 \dots 0,25) m$ ;

Коефіцієнти відбивання в приміщенні:  $\rho_{стелі} = 50\%$ ;  $\rho_{стін} = 30\%$ ;  $\rho_{підлоги} = 10\%$ .

Залежно від коефіцієнта відбивання, типу кривої сили світла світильника і індексу приміщення приймаємо коефіцієнт використання світлового потоку –  $\eta = 0,52$ .

$$\Phi = \frac{200 \cdot 190 \cdot 1,2}{0,52} = 95000 \text{ лм.}$$

Таким чином, для створення загального світлового потоку на ділянці складання необхідно встановити кількість світильників, яка дорівнює:

де  $\Phi_1$  - світловий потік лампи світильника, лм.

$$N = \frac{95000}{2 \cdot 4320} = 10,78.$$

Вибираємо 10 світильники і розташовуємо в 2 ряди по 5 в кожному ряду. Відстань між рядами однакова:

$$L = \lambda \cdot H_p, \quad (1.23)$$

де  $\lambda$  - найбільша відстань між світильниками,  $\lambda = 1,5$ м.

$$L = 1,5 \cdot 4 = 6\text{м.}$$

Відстань від стін:  $b = (0,25..0,5)L$ ;  $b = 0,5 \cdot 6 = 3\text{м}$  (рис. 2.2).

Перевірку освітлення в окремих точках ділянки проводимо точковим методом (рис. 2.2). Оскільки довжина ряду світильників перевищує половину розрахункової висоти підвісу, то ряд світильників розглядається як безперервна світлова лінія. Оскільки при довгих рядах світильників зменшується освітленість на кінцях рядів, то компенсуємо це віддалення лінії на  $0,5H_p$  від межі освітлювальної поверхні. Точку приймаємо під робочим місцем. Густина світлового потоку визначаємо за формулою:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E \cdot \kappa_z \cdot H_p}{M \cdot \Sigma \varepsilon}, \quad (1.24)$$

де  $E$  - нормована освітленість;

$\kappa_z$  - коефіцієнт запасу;

$H_p$  - розрахункова висота підвісу;

$M$  - коефіцієнт враховуючої дії віддалення світильників;

$\varepsilon$  - відносна освітленість.

Відносна освітленість визначається за графіком з координатами "P", "L".

Так як точка А освітлюється декількома частинами рядів, то відносна освітленість визначається від кожного ряду окремо, а потім сумується.

Визначаються координати:  $P'' = \frac{P}{H_p}$ ;  $L'' = \frac{L}{H_p}$  За ними визначають відносну

освітленість. Дані зводяться до табл. 2.4. Тоді:

$$\sum \varepsilon = 241,3\text{лк.}$$

$$\Phi'' = \frac{1000 \cdot 200 \cdot 1,3 \cdot 4}{1,3 \cdot 241,3} = 3298,56 \text{ лк/м.}$$

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						29
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Повний світловий потік ряду буде дорівнювати:

$$\Phi = \Phi^n \cdot L, \quad (1.25)$$

де L- довжина ряду.

$$\Phi = 3298,56 \cdot 13 = 42886,41 \text{ лк.}$$

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						30
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

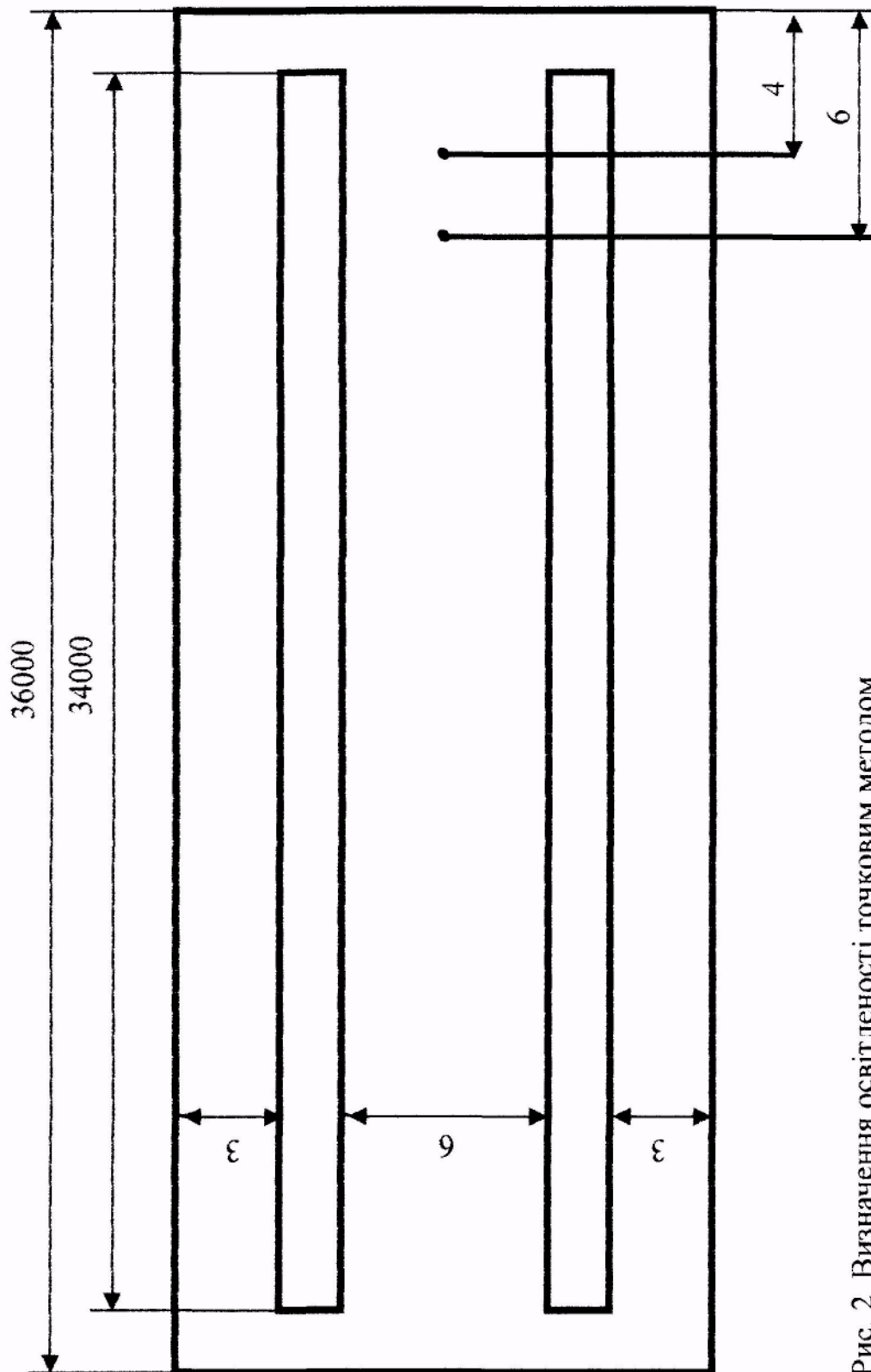


Рис. 2 Визначення освітленості точковим методом

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

MP.5.8.141.110.ПЗ

Таблиця 1.5 – Дані для перевірки освітленості

Н <sub>р</sub> , м	L, м	P, м	P''	L''	ε, лк
4	21	2,8	0,7	5,25	70
4	21	2,8	0,7	5,25	70
4	4	2,8	0,7	1	51,25
4	4	2,8	0,7	1	51,25

Кількість світильників в ряду визначають за формулою:

$$n = \frac{\Phi}{\Phi_c}, \quad (1.26)$$

де  $\Phi_c$  – світловий потік лампи в світильнику,  $\Phi_c=8640$  лм;

Встановлюємо 10 шт. світильників типу ПВЛМ 2x40. Тоді:

$$n = \frac{42886,11}{8640} = 4,94 \text{ шт.}$$

Приймаємо в ряду по 5 світильників. Кількість світильників для всього приміщення:  $\Pi_{заг} = 2 \cdot n$ ;  $\Pi_{заг} = 2 \cdot 5 = 10$  шт.

Результати розрахунку точковим методом підтверджують правильність розрахунку методом використання коефіцієнта світлового потоку.

Освітлення в контрольній точці перевіряємо за формулою:

$$E = \frac{n \cdot \Phi_c \cdot M \cdot \Sigma \varepsilon_{\theta}}{1000 \cdot \kappa_3 \cdot H_p \cdot L}, \quad (1.27)$$

де  $\Sigma \varepsilon_{\theta}$  - сумарна освітленість в точці лк;  $\Sigma \varepsilon_{\theta} = 110$  лк.

$$E = \frac{10 \cdot 8640 \cdot 1,2 \cdot 110}{1000 \cdot 1,3 \cdot 3,5 \cdot 13} = 218,5 \text{ лк.}$$

Норми допускають відхилення освітленості до 15%, а норма складає 200 лк.



Аналогічно проводимо розрахунок освітленості для інших приміщень майстерні. Результати заносимо до світлотехнічної відомості (табл. 2.6). Переріз провідників освітлювальних мереж вибираємо за умов:

1. за розрахунковим струмом навантаження;
2. за механічною міцністю.

Проводимо розрахунок освітлювальної мережі ремонтно - монтажної дільниці. Кількість світильників розподіляємо на 3 групи по 5 в кожній. Освітлювальну мережу виконуємо алюмінієвим проводом з несучим сталевим тросом АПВ -2 (1х2,5).

За умовами механічної міцності найменший переріз для алюмінієвих проводів -  $2,5 \text{ мм}^2$ . За умовою гранично допустимого нагрівання:  $I_{гр.дон} \geq I_{роз.роб}$ .

Для алюмінієвого проводу  $S = 2,5 \text{ мм}^2$ , розташованого відкрито  $I_{гр.дон} = 19 \text{ А}$ .

Робочий струм визначаємо за формулою:

$$I_{роб} = \frac{P_{вст} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (1.28)$$

де  $P_{вст}$  — встановлена потужність групи;

$U_n$  - номінальна напруга.

$$I_{роб} = \frac{2,18 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 3,3 \text{ А}$$

$$19 \text{ А} \geq 3,3 \text{ А}$$

Умова виконується.

Перевіримо вибраний переріз проводу за допустимою втратою напруги у лінії за формулою:

$$\Delta U = \frac{\Delta P_i \cdot l}{\rho \cdot S}, \%, \quad (1.29)$$

де  $\Delta P_i$  - сума моментів потужностей;

$l$ - коефіцієнт, який залежить від кількості фаз, напруги і матеріалу проводу;

$S$ - переріз проводу.

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						33
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Визначаємо суму моментів потужностей потокової лінії за розрахунковою схемою питомої групової лінії:

$$\Delta P_i \cdot l = P_y \cdot l_y \cdot \left( P_y \cdot \frac{2,3}{2} \right), \quad (1.30)$$

$$\Delta P_i \cdot l = 2,08 \cdot 8 \cdot 2,08 \cdot \frac{2,3}{2} = 40,6 \text{ Вт/м}^2. \text{Визначаємо фактичну втрату напруги}$$

в лінії:

$$\Delta U = \frac{40,6}{19,3 \cdot 4} = 0,51 \%$$

Фактична втрата напруги менша допустимої.

Приймаємо кабель АВВГ3х2,5, та провід АПВ 3х2,5 з несучим сталевим тросом АВТ - 1. Аналогічно проводимо розрахунок інших ліній освітлювальної мережі.

Для керування освітленням і захистом від аварійних режимів приймаємо освітлювальні щитки типу ЯОУ-8503-ІР21УЗ з автоматичними вимикачами ВА 51-2914.

Групові освітлювальні мережі прокладаємо на скобах і тросах, кабелем АВВГ, проводом АПВ в поліетиленових трубах.

Обслуговування світильників на висоті більше 5 м виконується за допомогою телескопічної вишки. Як аварійне джерело світла використовують переносний акумуляторний ліхтар.

## 1.7 Опалення та вентиляція майстерні

Щоб запобігти попадання холодного повітря в ремонт майстерню взимку при відкриванні вхідних воріт використовуємо припливну систему, яка обладнана перегородкою. Розміри її складають 600х1000 мм.

Схемою автоматизації передбачено:

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		34

- перед запуском припливного вентилятора здійснюється прогрівання перегородки шляхом вмикання електронагрівачів. При можливості вмикання електронагрівачів за 30 хв до відкриття перегородки передбачається змішане з'єднання електронагрівачів;

- при запуску припливного вентилятора передбачено автоматичний 3 хв прогрів калорифера., після чого відкривається утеплена перегородка, вмикається система автоматичного регулювання і вимикаються електронагрівачі перегородки;

- підтримка заданої температури повітря в припливному повітропроводі виконується шляхом регулювання теплопродуктивності калорифера регулюючим клапаном на трубопроводі зворотного теплоносія;

- у випадку аварійного припинення подачі теплоносія, при температурі повітря перед калорифером, яка нижче нуля, зупиняється припливний вентилятор, автоматично закривається утеплена перегородка і на щит автоматизації надходить сигнал про аварійне відключення системи.

- схемою автоматизації передбачено також захист калорифера від замерзання при непрацюючій припливній системі.

При повітряному опаленні повітря нагріте до температури вищої, ніж температура внутрішнього повітря, подається в приміщення, віддає йому певну кількість тепла, яке компенсує тепловитрати.

Системи повітряного опалення можуть бути, централізованими, коли повітронагрівальні пристрої подають нагріте повітря в декілька приміщень і децентралізованим з подачею повітря місцевим опалювально-вентиляційними агрегатами.

Теплова потужність повітронагрівальної апаратури ( $\Phi$ ) залежить від повітря, яке подається в приміщення для змішаної системи:

$$\Phi = c \cdot (Q_{mp} \cdot (t_n - t_e) + Q_{mn} \cdot (t_n - t_e)), \quad (1.31)$$

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						35
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

де  $c$  — питома ізобарна теплоємність повітря, приймається  
 $c=1\text{кДж}/(\text{кг}^\circ\text{C})$ ;

$Q_{\text{ТР}}$ ,  $Q_{\text{ТН}}$  — відповідно масові витрати циркуляційного і  
внутрішнього повітря,  $\text{кг}/^\circ\text{C}\cdot\text{год}$ ;

$t_{\text{н}}$ ,  $t_{\text{в}}$  — температури, відповідно зовнішнього і внутрішнього повітря,  $^\circ\text{C}$ .

Виходячи із значення теплової характеристики виробничого приміщення ремонтної майстерні (питома тепла характеристика  $q_{\text{от}}=0,7\dots0,6\text{Вт}/(\text{м}^3\cdot^\circ\text{C})$ , приймається  $q_{\text{от}} - 0,6\text{Вт}/(\text{м}^3\cdot^\circ\text{C})$ .

Для даної теплової характеристики визначаємо об'єм необхідного повітря для нагрівання в тепловій перегородці:

$$V = \frac{P_{\text{дв}}}{q_{\text{от}} \cdot (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})}, \quad (1.32)$$

де  $P_{\text{дв}}$  - потужність електродвигуна, кВт;

$T_{\text{max}}$  - температура в зоні теплової перегородки,

$^\circ\text{C}$ ;

$T_{\text{min}}$  - мінімальна температура,  $^\circ\text{C}$ .

$$V = \frac{1,8}{0,5 \cdot 30} = 0,11\text{м}^3.$$

Таким чином, тепла потужність повітрянагрівальної установки складає:

$$\Phi = 1 \cdot (48 \cdot (50 - 20) + 38 \cdot (50 - 30)) = 4489\text{Вт}.$$

## 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВНУТРІШНЬОЇ ЄМНІСНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

### 2.1 Компенсація реактивної потужності асинхронних електродвигунів як один із заходів енергозбереження

Найпоширенішим споживачем електричної енергії в сільськогосподарському виробництві є електропривод, на частку якого припадає більше половини електричної енергії, що використовується на виробничі потреби. Основними елементами електроприводів робочих машин є асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, яких на сьогоднішній день в сільському господарстві України експлуатується понад 4 млн. шт. Характерним є те, що в сільському господарстві переважають асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором номінальною потужністю до 10 кВт. За кількістю вони складають понад 97%, а за сумарною встановленою потужністю - близько 90%. За галузями сільського господарства асинхронні двигуни розподілені так, %: тваринництво - 40; рослинництво - 20; переробні та інші підприємства - 40.

Широке їх розповсюдження в сільськогосподарському виробництві зумовлюється простотою конструкції, високою надійністю (при дотриманні правил експлуатації), невеликою вартістю. Незважаючи на те, що асинхронні двигуни мають ряд недоліків (великий струм намагнічування, великий пусковий струм при малому пусковому моменті, невелика робоча зона механічної характеристики), вони були і залишаються основою електропривода робочих машин і механізмів як у промисловості, так і в сільському господарстві.

За принципом дії асинхронний двигун – споживач двох видів енергії:

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						37
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

активної, яка перетворюється в механічну на валу двигуна та у теплові втрати, і реактивної, необхідної для створення обертового магнітного поля. При цьому реактивна енергія не перетворюється в інші види, проте обмін нею з джерелом живлення завантажує обмотку статора двигуна, мережу живлення та джерело електричної енергії реактивним струмом, що призводить до збільшення загального струму двигуна і додаткових втрат активної енергії в усіх елементах електричної системи.

Значне споживання реактивної потужності асинхронними двигунами обумовлене наявністю повітряного зазору між статором і ротором, який має великий магнітний опір. Так, при холостому ході асинхронний двигун споживає з мережі реактивний струм намагнічування, який складає 20-40% від номінального для потужних двигунів та 60-80% для двигунів невеликої потужності. Коефіцієнт потужності асинхронного двигуна при холостому ході становить 0,15-0,3, а у режимі номінального навантаження – 0,7-0,9. Великий реактивний струм двигун споживає і в процесі пуску. Реактивний струм – основна причина втрат електричної енергії, які в мережі живлення становлять 10-12%, а у самому двигуні 10-30% від споживаної енергії.

Для зменшення втрат електроенергії у мережі живлення пропонуються різні способи, одним з яких є компенсація реактивної потужності. У звичайному випадку паралельно споживачеві чи групі споживачів вмикають батарею конденсаторів, яка частково або повністю звільняє мережу від передачі реактивної потужності, але не впливає на енергетичні характеристики самого споживача.

Зменшити втрати активної енергії одночасно у мережі живлення і в асинхронному двигуні та покращити його енергетичні характеристики можна за рахунок використання так званої внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності двигуна [6,7].

При цьому фазна обмотка статора поділяється на дві рівні послідовно з'єднані

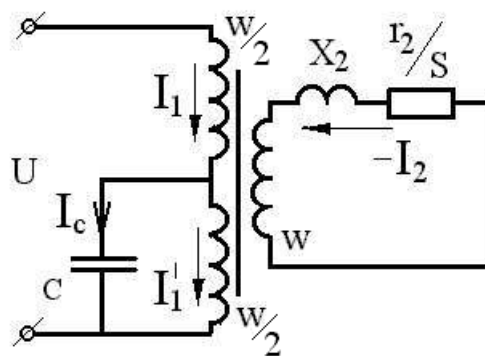
					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						38
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

частини, одна з яких шунтується конденсатором (рис. 2.1.1). У такому випадку обидві напівобмотки, як і в некомпенсованому двигуні, споживають реактивну потужність, але одна з них одержує її як і раніше з мережі, а інша – від шунтуючого конденсатора, внаслідок чого знижується струм, який двигун споживає з мережі. Мінімум споживаного двигуном струму забезпечується при повній компенсації реактивної потужності напівобмотки, зашунтованої конденсатором (рис. 2.1.2, а), що при номінальному навантаженні двигуна знижує споживання ним реактивної потужності і зменшує кут зсуву фаз між напругою мережі і струмом практично у 2 рази. За умови сталості номінальної активної потужності на валу і активної складової струму  $I_n \cos \varphi_n$  струм, споживаний двигуном з мережі при внутрішній ємні-

сній компенсації, дорівнює:

$$I_{1n} = I_n \frac{\cos \varphi_n}{\cos \frac{\varphi_n}{2}},$$

де  $I_n$ ,  $\cos \varphi_n$  – відповідно номінальний струм і коефіцієнт потужності базового некомпенсованого двигуна;  $\frac{\varphi_n}{2}$  – кут зсуву фаз між напругою мережі і споживаним струмом двигуна із внутрішньою ємнісною компенсацією.



а

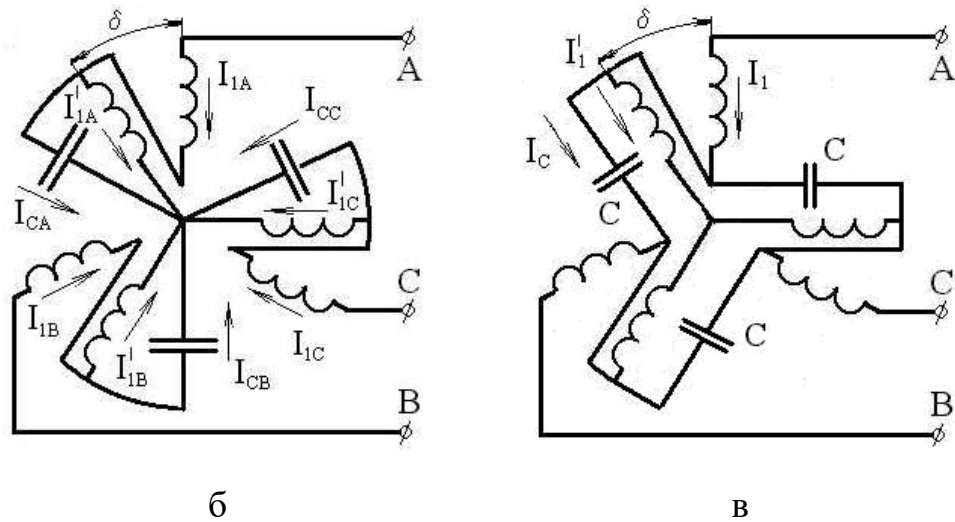


Рис. 2.1.1 – Принципові електричні схеми асинхронного двигуна з внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності для фази статора і ротора (а), у трифазному варіанті обмотки статора (б, в). Конденсатори включені за схемою Y (б) або Δ (в)

Струм напівобмотки, що шунтується ємністю, зростає до величини  $I'_{1n} = \frac{I_n}{\cos \frac{\varphi_n}{2}}$ . У цілому відбувається зниження втрат потужності у фазі обмотки статора двигуна на 10 – 15%.

При цьому величина ємності на фазу при з'єднанні конденсаторів за схемою Y дорівнює:  $C_Y = \frac{2 \cdot 10^6 I_n \sin \varphi_n}{\omega U_n}$  мкФ, а при з'єднанні Δ -  $C_\Delta = \frac{C_Y}{3}$ .

Наприклад, двигун АИР 71В2 з номінальними даними  $P_n = 1,1$  кВт,  $\cos \varphi_n = 0,8$ ,  $\eta_n = 0,795$ ,  $U_n = 220$  В,  $I_n = 2,6$  А при шунтуванні однієї з напівобмоток фази ємністю  $C_\Delta = 15$  мкФ споживає з мережі струм  $I_1 = 2,2$  А, а струм зашунтованої обмотки становить  $I'_1 = 2,75$  А. За рахунок внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності коефіцієнт потужності двигуна зростає і становить:  $\cos' \varphi_n = \cos \frac{\varphi_n}{2} = 0,95$ , втрати потужності в обмотці статора знижуються на 10%, а в мережі живлення - на 30%.



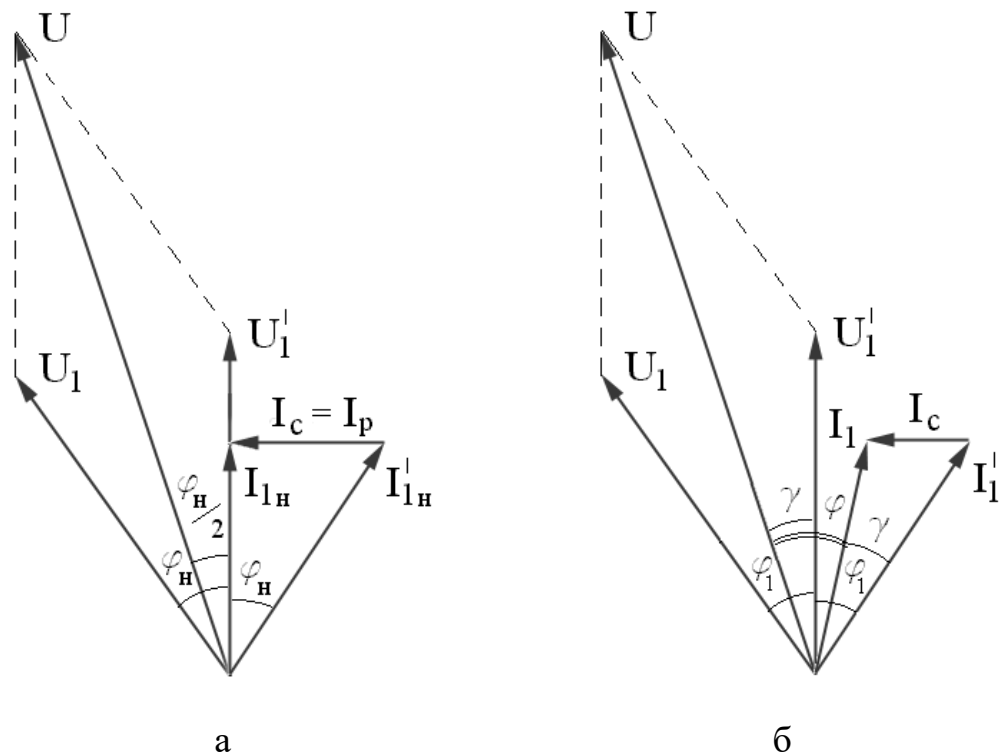


Рис. 2.1.2 – Спрощені векторні діаграми фази обмотки статора при номінальному навантаженні двигуна і повній компенсації реактивної потужності напівобмотки (а) та при частковій компенсації реактивної потужності напівобмотки (б)

Реально мінімум втрат потужності в обмотці статора має місце при недокомпенсації реактивних потужності і струму  $I_p$  (порядку до  $I_c \approx 0,8I_p$ ) (рис. 2.1.2, б) зашунтованої ємністю напівобмотки з використанням конденсаторів  $C_\Delta = 8 \div 10$  мкф на 1кВт номінальної потужності двигуна. При вмиканні конденсаторів за схемою  $\Delta$  (рис. 1,в) їх робоча напруга становить 0,5 від лінійної напруги мережі живлення двигуна, що суттєво зменшує їх вартість.

Найбільш ефективна внутрішня ємнісна компенсація для двигунів малої потужності (до 10 – 12 кВт) з доволі малим  $\cos \varphi_n$ , широко розповсюджених у сільському господарстві.

Внутрішня ємнісна компенсація робить такі двигуни більш ефективними, енергозберігаючими.

Так, пусковий струм двигуна зменшується на 10–12%, струм холостого ходу – на 30–40%, номінальний струм – на 10–15%. Номінальний ККД двигуна зростає на 2–3%, а при недовантаженні - на 5–6%.

Проте шунтування однієї з напівобмоток статора ємністю призводить до зсуву фаз  $\gamma$  між струмами  $I_1$  та  $I'_1$  напівобмоток (рис. 2,б), в результаті чого на кут  $\gamma$  просторово зміщуються між собою обертові хвилі МРС напівобмоток, хоча осі самих напівобмоток збігаються. Для створення необхідного магнітного потоку це потребує деякого збільшення струму намагнічування, а отже, і струму шунтованої напівобмотки, що призводить до перерозподілу напруг напівобмоток. Для підвищення ступеня ефективності внутрішньої ємнісної компенсації необхідно на такий же кут  $\delta = -\gamma$  зсунути між собою у просторі і напівобмотки, що при  $\delta + \gamma = 0$  дає суміщення осей хвиль МРС, забезпечує мінімум струму намагнічування і струму зашунтованої ємністю напівобмотки, який не повинен перевищувати номінальний струм машини. Наприклад, при  $\delta = 30^\circ$ ,  $\gamma = -30^\circ$  система стає практично шестифазною, 12-зонною з додатковими перевагами її порівняно з трифазною системою [4,5]. Оптимальне значення  $\delta = 30^\circ$  створюється поділом фазної зони  $60^\circ$  трифазної розподіленої обмотки на дві рівні зони по  $30^\circ$  з кутом просторового зсуву їх осей на  $30^\circ$  (рис.1,б,в) або відносного зміщення двох напівобмоток, що розташовані у верхній або нижній частині пазів. Фазовий зсув струмів  $I_1$  та  $I'_1$  у робочому режимі звичайно також приблизно дорівнює  $30^\circ$  при внутрішній ємнісній компенсації асинхронних двигунів потужністю до 10 – 12 кВт.

Струм  $I'_1$  зашунтованої ємністю напівобмотки завжди відстає від струму  $I_1$  за фазою на кут  $\gamma$ , тоді як знак кута  $\delta$  просторового зсуву осей напівобмоток залежить від напрямку обертання магнітного поля. Тому для реверсивного двигуна при одному напрямку його обертання  $\delta - \gamma \rightarrow 0$  і хвилі МРС напівобмоток зближуються, при іншому напрямку

обертання сума  $(\delta + \gamma)$  збільшується, хвилі МРС зміщуються одна відносно одної і внутрішня ємнісна компенсація стає менш ефективною. Відповідно для реверсивного двигуна рекомендується приймати напівобмотки з просторовим збіганням їх осей  $(\delta = 0)$ , що забезпечує однаковий ефект від внутрішньої ємнісної компенсації при зміні напрямку обертання двигуна.

## 2.2 Рекомендації щодо модернізації обмотки статора асинхронних двигунів з використанням внутрішньої ємнісної компенсації

При проведенні капітального ремонту асинхронних електродвигунів є можливість здійснити модернізацію їх обмотки статора з метою підвищення техніко-економічних показників двигунів.

Модернізації підлягають двигуни серій АО2, 4А, АИ та інші, у яких обмотка статора може бути розділена на дві рівні послідовно з'єднані частини з виводом на клемний щиток початків  $C_1, C_2, C_3$  обмоток для підключення до мережі живлення та середніх точок  $C'_1, C'_2, C'_3$  для підключення електричних конденсаторів. При цьому технологія виготовлення обмотки, її укладання в пази осердя статора максимально наближена до існуючої для обмоток базових двигунів, які підлягають ремонту. Весь технологічний процес ремонту обмоток статора при використанні внутрішньої ємнісної компенсації виконується відповідно до технічних вимог на капітальний ремонт базових серійних асинхронних двигунів [1,2]. Зберігаються основні обмоткові дані базового двигуна (марка, діаметр провода, кількість витків у котушці, кількість ефективних провідників у пазу).

Згідно з класифікацією, прийнятою у [3], обмотки статора базових машин серій 4А та АИ поділяються на такі основні види:

01 – одношарова концентрична,

02 – одношарова ”врозвалку”,

03 – двошарова петльова рівносекційна.

					<i>МР.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						43
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Саме такі види обмоток рекомендуються для модернізації при використанні внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності. При проведенні ручних ремонтних робіт одно-двошарова обмотка з кількістю полюсів  $2p = 4, 6, \dots$  зазвичай замінюється двошаровою 03 зі збереженням перерізу провoda, кількості витків в обмотці фази та еквівалентного кроку по пазах [3].

Будь-яку з цих обмоток завжди можна розділити на дві рівні частини з виділенням середніх точок обмоток фаз, до яких за схемою  $\Delta$  приєднуються конденсатори внутрішньої ємнісної компенсації. Напівобмотки можуть бути розташовані під різнойменними полюсами або різними парами полюсів, під усіма полюсами при збіганні просторових осей напівобмоток або при зміщенні цих осей одна відносно іншої на прийнятий кут  $\delta$ .

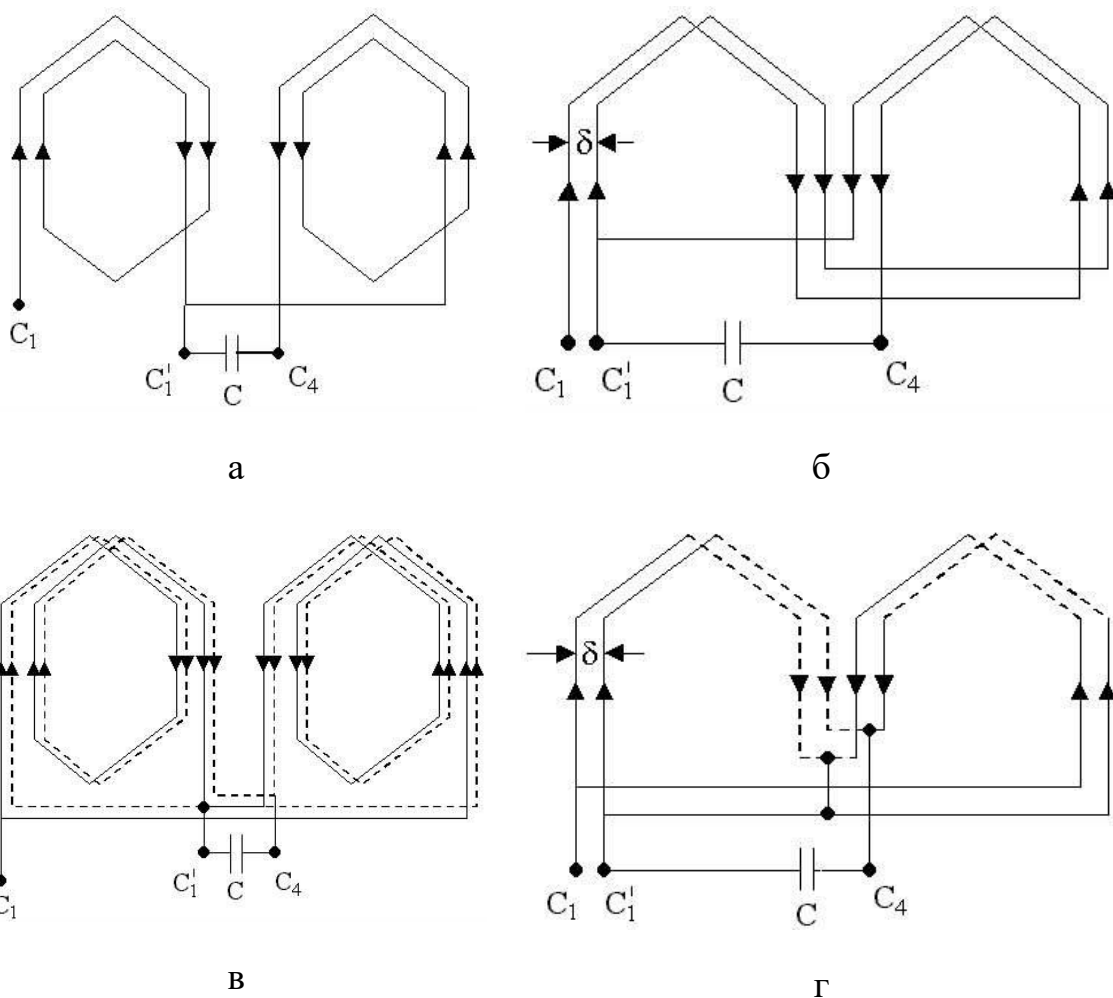
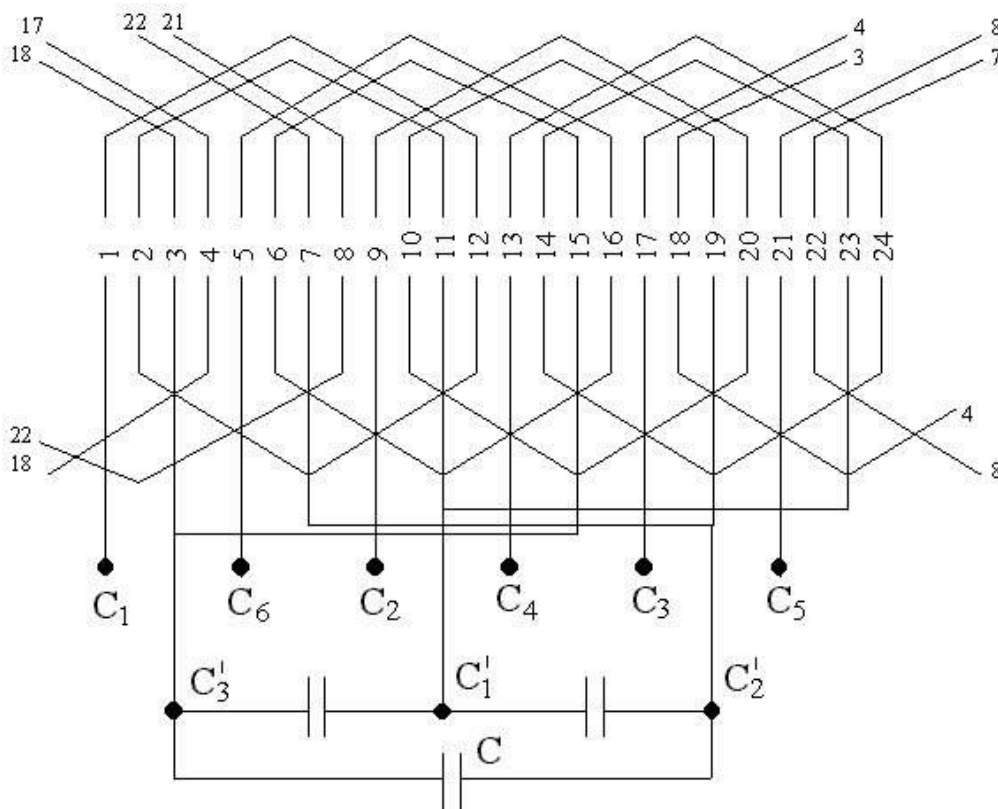


Рис. 2.2.1 – Принцип виконання фази обмотки статора трифазного асинхронного двигуна з внутрішньою ємнісною компенсацією при  $2p = 2$ ,  $Z_1 = 24, 36$ :

а, б – одношарова ”врозвалку” послідовна обмотка при  $\delta = 0$  (а) та  $\delta = 30^\circ$  (б);

в, г – двошарова обмотка з двох послідовно-паралельних віток при  $\delta = 0$  (в) та  $\delta = 30^\circ$  (г);

— — одношарова обмотка або верхній шар двошарової;  
 - - - - нижній шар двошарової обмотки



а

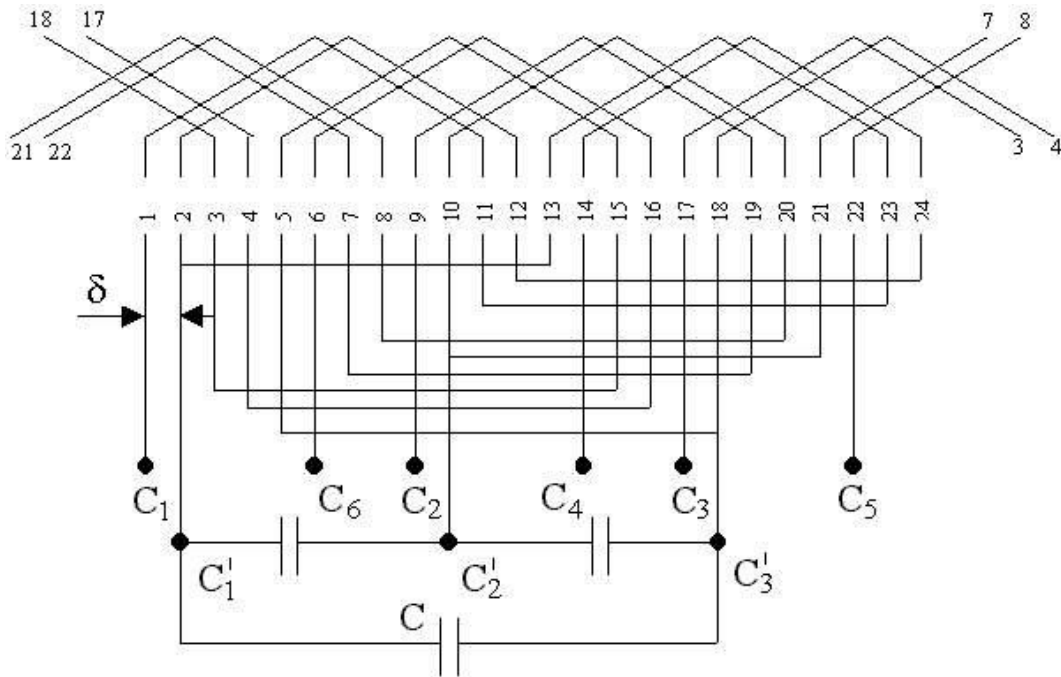
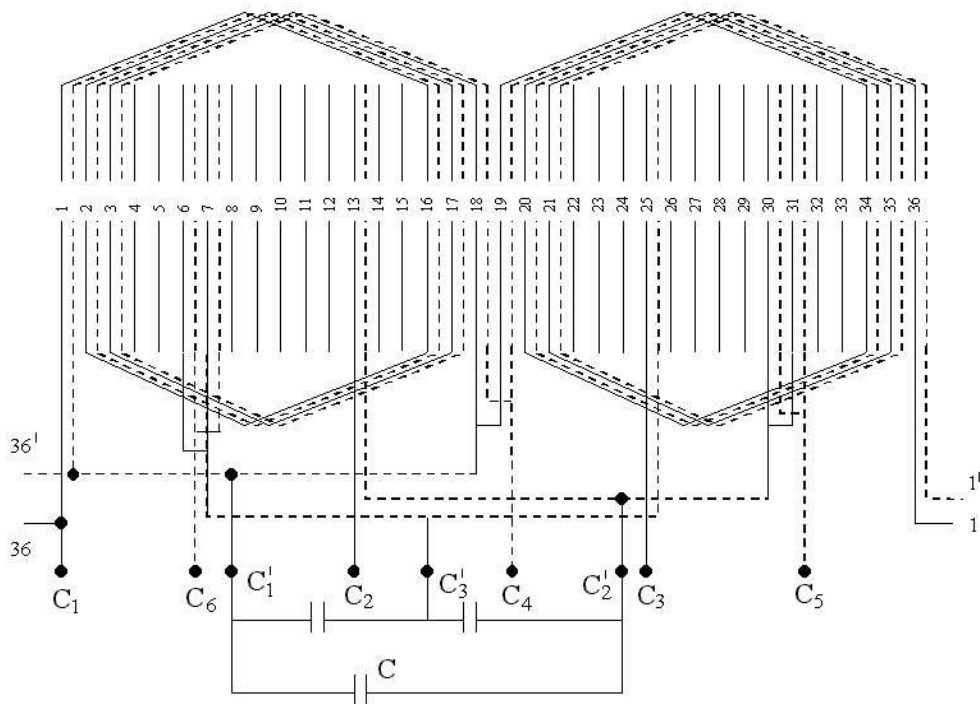


Рис. 2.2.4 – Розгорнуті схеми одношарових трифазних обмоток статора асинхронного двигуна з внутрішньою ємнісною компенсацією при  $2p = 2$ ,  $Z_1 = 24$ : а – концентрична,  $y = 1-12$ ,  $2-11$ ,  $\delta = 0$ ;

б – ”врозвалку”,  $y = 1-11$ ,  $2-12$ ,  $\delta = 30^\circ$



а

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

MP.5.8.141.041.ПЗ

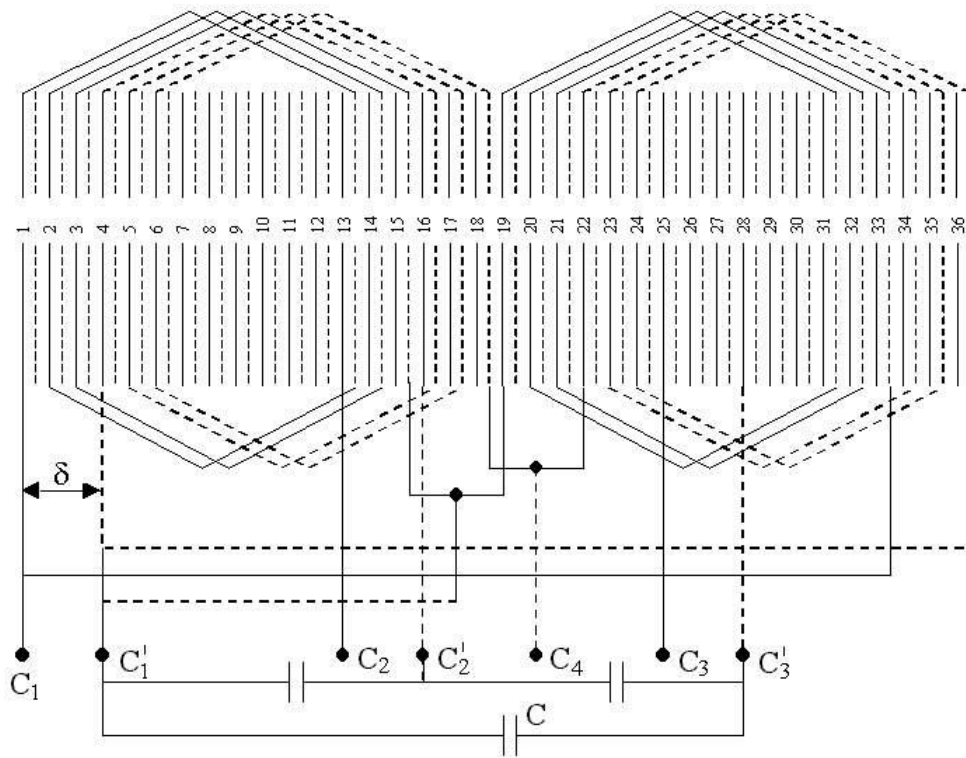


Рис. 2.2.5 – Фрагменти двошарової обмотки однієї фази асинхронного двигуна з внутрішньою ємнісною компенсацією при  $2p = 2$ ,  $Z_1 = 36$  та двох послідовно-паралельних напівобмотках

При збереженні схеми базової обмотки її напівфази можуть опинитися під різними полюсами (при  $p = 1; 3; \dots =$  непарне число, рис. 2.2.3, а) або під різними парами полюсів (при  $p = 2; 4; \dots =$  парне число, рис. 2.2.4, а; 2.2.5, а).

Шунтування ємністю однієї з напівобмоток змінює струми напівфаз за величиною та фазою, що може призвести до деякої просторової асиметрії хвиль МРС напівобмоток. Тому при використанні базової обмотки її необхідно розділити на дві рівні частини, які просторово збігаються і розташовані однаково під усіма полюсами. Для цього одношарову обмотку замінюють двошаровою зі зменшенням кількості витків котушки вдвічі. Одну з напівобмоток розташовують у нижній частині пазів, іншу – у верхній частині тих самих пазів за тією ж схемою. Напівобмотки з'єднують між собою послідовно. При шунтуванні однієї з них конденсатором струми та МРС напівобмоток розходяться по фазі на

кут  $\gamma$  (зазвичай не більше  $30^\circ$ ), що незначною мірою впливає на ефективність внутрішньої ємнісної компенсації, яка у такому випадку не залежить від напрямку обертання двигуна. Тому схеми обмоток з просторовим збіганням осей напівобмоток рекомендуються для реверсивних двигунів.

Для нереверсивних двигунів більший ефект від внутрішньої ємнісної компенсації забезпечують схеми обмоток, у яких обидві напівобмотки розташовані під усіма полюсами і просторово зміщені одна відносно іншої на кут  $\delta = 30^\circ$ . Для цього в обмотках з парним  $q$  ( $q = \frac{Z_1}{2pm}$  = парне число – число пазів на полюс і фазу) шестидесятиградусна фазна зона розділяється на дві рівні частини. Напівобмотки з'єднуються послідовно, одна з них шунтується конденсатором (рис. 2.2.3. б, г; 2.2.4. б; 2.2.5. а). За випереджаючого відносно напрямку обертання двигуна кута просторового зсуву осей напівобмоток  $\delta$  та відстаючого за часом кута між векторами струмів зашунтованої і незашунтованої напівобмоток  $\gamma$  в процесі роботи двигуна  $(\delta - \gamma)$  прямує до нуля, що призводить до збігання хвиль МРС напівобмоток і, відповідно, зменшення струму намагнічування.

Для обмоток з непарним  $q$ , наприклад, при  $2p = 4$ ,  $Z_1 = 36$ ;  $2p = 6$ ,  $Z_1 = 54$  та інших  $q = 3$ , кут зсуву пазових ЕРС дорівнює:  $\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z_1} = 20^\circ$ . У такому разі неможливо розділити фазну зону на дві рівні частини. При цьому, як і для реверсивних двигунів, рекомендується напівобмотки виконувати у нижній та верхній частинах паза, але зі зміщенням їх на кут  $\delta = k\alpha$  при  $k = 1; 2$ . Для двигунів потужністю до 10 – 12 кВт приймають  $k = 2$  та  $\delta = 40^\circ$ , для двигунів більшої потужності  $k = 1$  і  $\delta = 20^\circ$  (рис. 2.2.3. б; 2.2.4 б; 2.2.5. б, в).



### 2.3 Технологічні вказівки щодо виготовлення модернізованих обмоток

У всіх схемах обмоток статора двигуна, модернізованих для використання внутрішньої ємнісної компенсації, зберігаються переріз, діаметр і марка провода; кількість провідників у пазу, елементарних провідників у одному ефективному, паралельних віток базової обмотки. Виготовлення секцій обмоток здійснюється на типовому обладнанні за загальноприйнятими технологіями. Розміри секцій приймаються залежно від габаритів машини, схеми обмотки та величини її кроку (див. табл. 1).

Проте обов'язковою особливістю модернізованої обмотки є її розподіл на дві однакові напівобмотки, що в окремих випадках передбачає певні відхилення від схем базових обмоток. У такому разі одношарова обмотка може бути пошарово поділена на дві напівобмотки, одна з яких розташовується у нижній частині пазів, інша – у верхній (наприклад, при  $q =$  непарне число) з просторовим збіганням або зміщенням напівобмоток одна відносно іншої на кут  $\delta$ . Секція такої напівобмотки має в два рази менше витків, ніж секція базової одношарової обмотки. При  $q =$  парне число фазна зона обмотки поділяється на дві частини з просторовим зміщенням напівобмоток на половину кута фазної зони. Секції такої обмотки мають ту ж кількість витків, що і у базовій обмотці.

При виконанні обмотки з двох або трьох паралельних віток паралельні вітки створюються у напівобмотках, з'єднаних послідовно між собою.

Пазова ізоляція обмотки статора виконується у такій же послідовності і тими ж самими ізоляційними матеріалами, що і при проведенні звичайного ремонту обмотки. Розподіл одношарової обмотки на два шари окремих напівобмоток вимагає застосування міжшарової ізоляції як і у двошарових обмотках. При цьому спочатку укладається напівобмотка нижнього шару, потім – верхнього.

									Лист
									49
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	MP.5.8.141.041.ПЗ				

Після укладання секцій (котушок) паяють схему обмотки. Виконання схеми обмотки передбачає з'єднання окремих котушок у напівобмотці, з'єднання паралельних віток у напівобмотці, послідовне з'єднання між собою напівобмоток у фазу. На клемний щиток виводяться початки фаз  $C_1, C_2, C_3$ , через які здійснюється живлення електродвигуна від мережі, та середні точки  $C'_1, C'_2, C'_3$  для підключення конденсаторів. Кінці  $C_4, C_5, C_6$  з'єднуються у загальний вузол нульової точки.

Вивід середніх точок та під'єднання конденсаторів здійснюється проводом, розрахованим на величину реактивного струму двигуна  $I_p = I_n \sin \varphi_n$ , що при  $\cos \varphi_n = 0,7 \div 0,9$  відповідає  $\sin \varphi_n = 0,7 \div 0,45$ . Тому переріз цього провода повинен становити 0,7 від перерізу провода обмотки у малих двигунах і не менше 0,45 у двигунів середньої потужності, стосовно діаметру провода дані співвідношення відповідають величинам 0,85 – 0,7.

## 2.4 Післяремонтні випробовування

Відремонтовані модернізовані електродвигуни підлягають контрольним випробовуванням і перевіркам згідно з програмою приймально-здавальних випробовувань.

При контрольних випробовуваннях модернізованих двигунів конденсатори внутрішньої ємнісної компенсації мають бути відключеними, тому вимоги і норми випробовувань, їх обсяг і послідовність, види перевірок мають бути такими самими як і для базових серійних двигунів. Проводяться наступні види контрольних випробовувань і перевірок:

- зовнішній огляд, перевірка якості збирання і комплектності;
- вимірювання опору ізоляції обмоток відносно корпусу та між обмотками;
- вимірювання опору обмоток на постійному струмі у майже холодному стані;

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						50
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

- випробовування ізоляції обмоток відносно корпуса та між обмотками на електричну міцність;
- випробовування міжвиткової ізоляції обмоток на електричну міцність;
- визначення струму холостого ходу;
- визначення струму короткого замикання;
- перевірку маркування вивідних кінців обмоток для підключення до мережі живлення і середніх точок обмоток для під'єднання конденсаторів;
- перевірку комплектності конденсаторів, їх встановлення, відповідність конденсаторів величині розрахункової ємності та напруги.

Допустиме значення струмів холостого ходу та пускових струмів електродвигунів мають відповідати їх величинам у базових двигунах без конденсаторів. При вмиканні конденсаторів струм холостого ходу має бути меншим ніж у базового двигуна на 30 – 40%, пусковий струм має зменшуватися на 10 – 12%.

## 2.5 Вибір і встановлення конденсаторів

Величина ємності конденсаторів на фазу має відповідати вказаним у табл. 2.1 значенням. Конденсатори підключаються за схемою  $\Delta$  до середніх точок обмотки, виведених на клемний щиток. Номінальна напруга конденсаторів має бути:  $U_{нк} \geq \frac{\sqrt{2}U_{л}}{2}$ . Так, при лінійній напрузі мережі живлення  $U_{л} = 380$  В конденсатори мають бути вибрані на напругу  $U_{нк} = 400$  В.

Батарея конденсаторів комплектується з банок стандартних паперово-масляних конденсаторів типу МБМ, МБГП, МБТ та ін. Конденсатори встановлюються у металічний або пластмасовий корпус з ущільненнями, які відповідають ступеню захисту електродвигунів, для яких вони призначені. Комплект конденсаторів кріпиться на корпусі двигуна біля

клемного щитка (рис. 2.5) або встановлюється біля двигуна на ізоляційній підставці. Конденсатори не повинні мати відкритих струмоведучих з'єднань. У процесі експлуатації металічний корпус конденсаторів має бути приєднаний до того ж заземлювача, що і корпус двигуна.

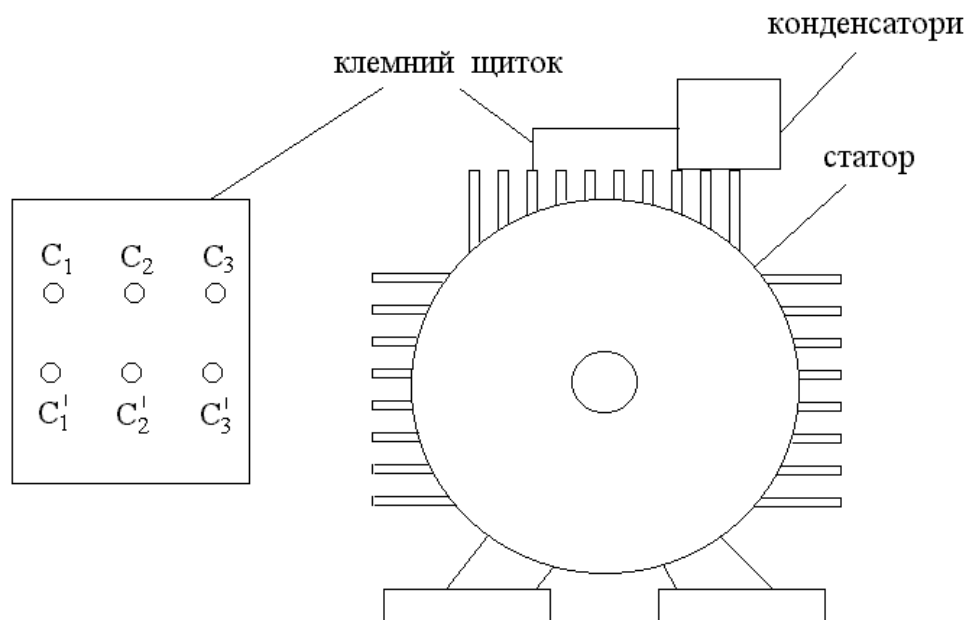


Рис.2.5. Схема розташування конденсаторів на асинхронному двигуні

# МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОРОТКОЗАМКНЕНИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

## 2.6. Метод вібраційної діагностики

Системи вібраційного моніторингу і діагностики механічних коливань можна розділити на чотири групи по ступеню складності, апаратурному оснащенню і програмному забезпеченню.

Проста система моніторингу механічних коливань може бути реалізована у вигляді комбінації нескладного малогабаритного віброметра і стробоскопа. Віброметр повинен забезпечувати вимірювання загальних параметрів вібрації (віброзсуви, віброшвидкості і віброприскорення) в стандартних частотних діапазонах, а також мати можливість вимірювати параметри вібрації в інших частотних діапазонах (мати смугові фільтри нижніх і верхніх частот, що настроюються). Стробоскоп використовується для визначення частоти обертання валу машини і відносного переміщення їх деталей, а також для виявлення нестационарної частоти обертання ротора. Бажано, щоб віброметр мав роз'єми для підключення навушників (для прослуховування механічних коливань машинного устаткування) і реєструючої апаратури (осцилографа, аналізатора). Для кожної машини може бути проведене порівняння загальних рівнів вібрації зі встановленими в стандартах нормами або з базовими значеннями вібраційних характеристик, визначуваних користувачем індивідуально для кожної моделі машини в конкретних точках контролю. Основна перевага цієї системи полягає в тому, що не потрібно витратити багато часу на підготовку персоналу по віброконтролю машин. Недолік – виявлення відхилень від нормального функціонування машини тільки за наявності істотних дефектів, які важко ідентифікувати за наслідками віброконтролю. Для визначення причин збільшення вібрації машини можна використовувати аналіз зміни декількох параметрів вібрації (віброзсуви, віброшвидкості і

					МР.5.8.141.041.ПЗ	Лист
						53
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

віброприскорення), результати вимірювання їх в різних частотних діапазонах і в різних точках контролю, але цьому необхідно навчитися .

Оперативна система моніторингу механічних коливань може бути реалізована за допомогою переносних портативних аналізаторів. Вона дозволяє проведення аналізу спектрів вібрації і її тимчасових реалізацій на місці експлуатації об'єкту контролю, проводити відразу оцінку технічного стану підшипників і визначати їх дефекти. Аналізатор повинен мати можливість переглядати і аналізувати спектри вібрації за допомогою основних і бічних курсорів, порівнювати спектри вібрації між собою і виявляти їх відмінності. Несправності машин визначаються користувачем по діагностичних словниках. Для вирішення завдань діагностики необхідний контроль фази коливань, тому аналізатор повинен мати датчик оборотів валу. Два каналний аналізатор дозволяє для діагностики використовувати кореляційний аналіз коливань, взаємні спектри і функцію когерентності. Діагностика здійснюється по діагностичних словниках. Система вимагає підготовки кваліфікованого персоналу і часу на визначення причин підвищеної вібрації.

Напівстаціонарна система моніторингу і діагностики реалізується на базі персональної ЕОМ з розділенням функцій збору даних на місці і обробки їх в лабораторії. Сучасний моніторинг стану машин заснований на зборі величезних об'ємів даних, з яких шляхом скрупульозного аналізу, можна зробити вивід про технічний стан машини. Тільки професійний експерт здатний «заочно» розібратися в наборах даних, коректно зібраних іншими особами. Але експертів мало, причому у них різна кваліфікація і об'єм знань. Враховуючи цей факт, багато фірм для моніторингу використовують вимірювальні магнітофони або аналізатори-складальники даних, причому останні в даний час переважають. Вимірювальний магнітофон має перевагу перед складальником даних, оскільки він реєструє тимчасову реалізацію, яку можна неодноразово обробляти з метою пошуку нових істотних діагностичних ознак. Він дозволяє транспонувати тимчасову реалізацію (тобто провести запис сигналу на одній швидкості і

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						54
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

відтворити на іншій), що дає можливість провести аналіз низькочастотних і високочастотних коливань звичайним аналізатором. Тому вимірювальний магнітофон необхідний при проведенні обстежень нових типів машин і вивченні причин нетрадиційних відмов, при дослідженні нестационарної вібраційного процесу. На підприємствах досить мати тільки складальники даних - портативний аналізатор. Він повинен мати пам'ять запам'ятовує спектрів і даних для його ідентифікації (місце експлуатації машини, її модель, технологічний номер, номер і дата обстеження, точка контролю вібрації, параметр вібрації, характеристики вузькосмугового спектру), проводити аналіз нестационарної вібраційного процесу і модальний аналіз складових частин об'єкту контролю, балансування частин, що обертаються, у власних підшипниках і ін. Його доцільно доповнити мультиплексором, для проведення синхронного (в реальному часі) або синхронізованого аналізу відразу в декількох точках контролю. Він необхідний і для зниження трудомісткості при проведенні балансування деталей об'єктів, що обертаються. Один недолік системи – періодичний контроль технічного стану. Як правило, відмови складових частин машин при стаціонарному їх режимі роботи рідко мають раптовий характер. Від початку виникнення якої-небудь несправності і досягненні її розвиненої стадії (граничного стану машини) проходить декілька тижнів і навіть місяців. Рекомендується проводити аналіз зміни спектрів вібрації машин через 800-1200 годин її роботи. Періодичність віброобстеження машин слід уточнювати по напрацюванню на відмову найбільш слабкого вузла машини. Таким чином, напівстаціонарна система з щодобовим віброконтролем машин і системою безперервного контролю основних показників роботи машини (температури, тиск і ін.) дозволяє своєчасно виявляти несправності об'єктів контролю і виводити їх в ремонт. За наявності мультиплексора напівстаціонарну систему тимчасово можна використовувати як стаціонарну систему вибормониторинга і діагности.

					<i>МР.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						55
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Системи безперервної моніторизації і діагности (стаціонарні) застосовують для найбільш відповідальних машин, відмова яких може привести до значного зниження випуску продукції, до дорогих ремонтів, підвищення небезпеки для життя і здоров'я тих, що працюють і населення. Із-за високої вартості одного каналу вібрації (800-1200 дол. США) кількість крапок на об'єкті контролю часто обмежують і, отже, дуже складно реалізувати повну його діагностику. Тому цю систему зазвичай доповнюють напівстаціонарною системою.

Для виявлення несправностей по спектрах вібрації в системі використовується набір порогових рівнів у вигляді «масок» для кожного об'єкту. При використанні набору «масок», які охоплюють весь частотний діапазон, істотні зміни складових спектру вібрації в контрольних точках будуть виявлені і система дає повідомлення про можливу несправність, але зміна частоти обертання також не враховується. Для оцінки несправності система має файли «частот несправностей», які необхідно враховувати для конкретного об'єкту. Протокол повідомлення користувача зазвичай включає наступні дані: частота, порядок кратності, ширина піку, рівень, пороговий рівень і перевищення. Система обробляє кожен спектр окремо.

Сучасні засоби контролю і діагностики, що базуються на вимірюванні параметрів вібрації, дають можливість контролювати стан як механічною, так і електромагнітною систем електродвигуна. Аналіз частотних складових вібрації дозволяє розпізнавати основні несправності електричних ланцюгів і електромагнітної системи електродвигуна на ранній стадії розвитку дефектів:

- Несиметрія електричних ланцюгів ротора
- Несиметрія електричних ланцюгів статора
- Магнітна несиметрія

Недоліки:

- неможливість дистанційної роботи;

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						56
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		



- складність необхідних вимірювань.
- реалізується тільки з безпосереднім доступом до електродвигуна, тобто не забезпечує дистанційного діагностування;
- невисока точність;
- складність необхідних вимірювань.

Серед фахівців, що займаються вібраційною діагностикою машин, найбільш поширені прилади другої групи, забезпечуючи вимірювання і аналіз сигналів вібрації до частот 25-40 кГц, і програми, що забезпечують постановку діагнозу і прогнозу стану машин як по високочастотній (ультразвуковий), так і по низькочастотній вібрації. Саме до таких приладів слід віднести віброаналізатор СД-12М з пакетом програм DREAM виробництва Асоціації ВАСТ (рис. 2.6, а).



Рисунок. 2.6 Віброаналізатор СД-12М з пакетом програм DREAM виробництва Асоціації ВАСТ

- а) Портативний комплекс вібродіагностики на базі СД-12М;
- б) Комплекс апаратури на базі СД-12М для вимірювань в перехідних режимах

Автономні системи аварійного захисту, а частіше за сигналізацію, використовуються ширше, але ще в недостатніх кількостях, в першу чергу із-за фінансових труднощів на підприємствах. В той же час об'єднання в таких системах двох функцій – захисту від помилок персоналу і діагностики окремих

вузлів, особливо підшипників, може різко збільшити зацікавленість замовників. Саме над цим при одночасному зниженні вартості автономних систем аварійної сигналізації в даний час і працює ряд фірм Росії. Зокрема Асоціацією ВАСТ розроблена, сертифікована і з 2004 року серійно випускається система КВК з такими функціями (рис. 2.7).



Рисунок. 2.7 Комплекс апаратура віброконтролю КВК-21

Система є набором паралельно працюючих каналів вимірювання вібрації відповідно до стандартів по вібраційному контролю машин, а також каналів нестандартного вимірювання вібрації для оцінки стану підшипникового вузла. Кожен з цих каналів може використовуватися автономно.

Спектр-струмовий аналіз, тобто спосіб діагностики електродвигуна змінного струму і пов'язаних з ним механічних пристроїв, при якому протягом заданого інтервалу часу проводять запис значень струмів, споживаних електродвигуном, виділяють аналізовані характерні частоти, перетворюють отриманий сигнал з аналогової в цифрову форму, а потім здійснюють спектральний аналіз отриманого сигналу і порівняння значень амплітуд на характерних частотах з рівнем сигналу на частоті живлячої мережі. При цьому моніторинг струму електродвигуна може бути виконаний як безпосередньо на двигуні, так і в

					<i>МР.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						58
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

електроциті живлення (управління); вимірювання можуть проводитися на працюючому устаткуванні [1–4 і ін.].

Недолік:

– складність оцінки результатів, оскільки будь-яка амплітудна модульована частота  $f$  враховується в спектрі двічі, по обидві сторони живлячої напруги  $f_b$ , тобто у вигляді  $|f_1 - f|$  і у вигляді  $|f_1 + f|$ . Такий подвійний облік модульованої частоти обумовлює недостатню точність діагностування (вірогідність накладення частот від різних пошкоджень зростає в 2 рази і не є необхідною) і відсутність можливості збільшення числа аналізованих гармонік частоти  $f$ .

Слід зазначити, що в порівнянні з іншими способами метод спектр-токового аналізу володіє поряд переваг і найбільшою мірою відповідає критеріям точності, ефективності і простоти інструменту діагностики стану електродвигуні

## **2.7. Метод спектрального аналізу струму обмотки статора**

### **2.7.1 Метод аналізу спектрів модулів векторів парку струмів і напруг**

Спектр-струмовий аналіз – це процедура моніторингу (записи) сигналів струму і напруги на клеммах електродвигуна, їх подальший спектральний аналіз з метою визначення наявності електричних і механічних несправностей (пошкоджень) електродвигунів.

У основу аналізу спектрів модулів векторів Парку струму (далі PI) і напруги (далі PU) як засоби діагностики стану електродвигунів закладені наступні принципи:

Наявність електричних і механічних несправностей приводить до змін магнітного потоку (амплітудній модуляції) в повітряному зазорі електричної машини, що дає можливість виявити гармоніки струму, характерні для несправностей устаткування. Живляча напруга не є ідеально синусоїдальною, тому в отримуваних спектрах PI і PU присутні гармоніки, обумовлені якістю

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						59
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

живлячої напруги, але несправності електродвигуна і механічного навантаження викликають відповідні гармоніки тільки в спектрі струму.

На відміну від простого спектрального аналізу сигналів струму, при формуванні спектрів модуля вектора Парка будь-яка модульована амплітудною модуляцією характерна частота  $f$  враховується в спектрі вектора Парка тільки один раз. Гармоніки в спектрі  $PI$ , відповідні різним видам несправностей, відрізняються один від одного. Таким чином, виявлення в спектрі  $PI$  характерних гармонік достовірно і однозначно свідчить про наявність електричних і механічних несправностей в електродвигуні і що приводиться їм в дію пристрої.

При діагностуванні кожен агрегат розглядається як єдина конструкція, що складається з приводу (електродвигун), редуктора, передачі і механічного пристрою (насоса, вентилятора і тому подібне) . Діагностика стану електродвигунів на основі аналізу спектрів  $PI$  і  $PU$  проводиться по наступному алгоритму. За допомогою датчиків струму і напруги здійснюється запис в трьох фазах залежностей напруги і струму, споживаних електродвигуном, від часу. Записані сигнали пропускаються через фільтр низьких частот з частотою зрізу вище за найбільшу корисну частоту сигналу, що необхідне для недопущення появи помилкових спектрів. Це обумовлено тим, що отримувані результати вимірювання є не безперервною функцією, а вибіркою значень, отриманих з певним кроком аргументу за часом, –  $D$  Величину, зворотну  $D$ , називають частотою дискретизації. Половину частоти дискретизації називають частотою Найквіста:  $f_N = 1 / (2 \cdot D)$ . З аналогової форми записані сигнали перетворюються в цифрову форму. За допомогою обчислювальних засобів формуються спектри  $PI$  і  $PU$  по наступних виразах:

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						60
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

$$I_d(t) = I_a(t) - (1/2) \cdot I_b(t) - (1/2) \cdot I_c(t),$$

$$I_q(t) = \sqrt{3}/2 \cdot I_b(t) - \sqrt{3}/2 \cdot I_c(t),$$

$$|PI| = \sqrt{I_d(t)^2 + I_q(t)^2},$$

$$U_d(t) = U_a(t) - (1/2) \cdot U_b(t) - (1/2) \cdot U_c(t),$$

$$U_q(t) = \sqrt{3}/2 \cdot U_b(t) - \sqrt{3}/2 \cdot U_c(t),$$

$$|PU| = \sqrt{U_d(t)^2 + U_q(t)^2},$$

де a, b, c – позначення фаз; I – струм; U – напруга.

Отримані спектри PI і PU піддаються спектральному аналізу. При збігу всіх ліній в спектрах PI і PU робиться вивід про відповідність спектру струму живлячій напрузі в електричному ланцюзі електродвигуна. При виявленні ліній, присутніх в спектрі PI і відсутніх в спектрі PU, можна зробити вивід про невідповідність спектру струму живлячій напрузі в електричному ланцюзі електродвигуна, яке може бути обумовлене несправністю. Для виявлення несправностей електродвигуна виділяються характерні частоти електродвигуна і пов'язаних з ним механічних пристроїв. Характер і ступінь розвитку несправності виявляються шляхом порівняння значень амплітуд PI на характерних частотах із значенням PI на частоті 0 Гц.

Спектральний аналіз отриманого сигналу і порівняння амплітуд PI проводять переважно в частотній області від мінус 100 дБ до 0 дБ шляхом виявлення ознак несправностей (пошкоджень) у вигляді піків (амплітуди PI) на характерних частотах. На рис. 2.3 – рис. 2.10 представлені частотні характеристики PI для справного електродвигуна і електродвигуна з різними видами пошкоджень (амплітуди сигналів відкладаються по вертикальній осі, частоти – по горизонтальній осі). Стрілкою позначені характерні частоти, відповідні несправності, що діагностується. На рис. 2.10 представлений приклад реальної живлячої напруги (вісь часу розташована по горизонталі).

Рисунок 2.3 Частотна характеристика при несоосності валів

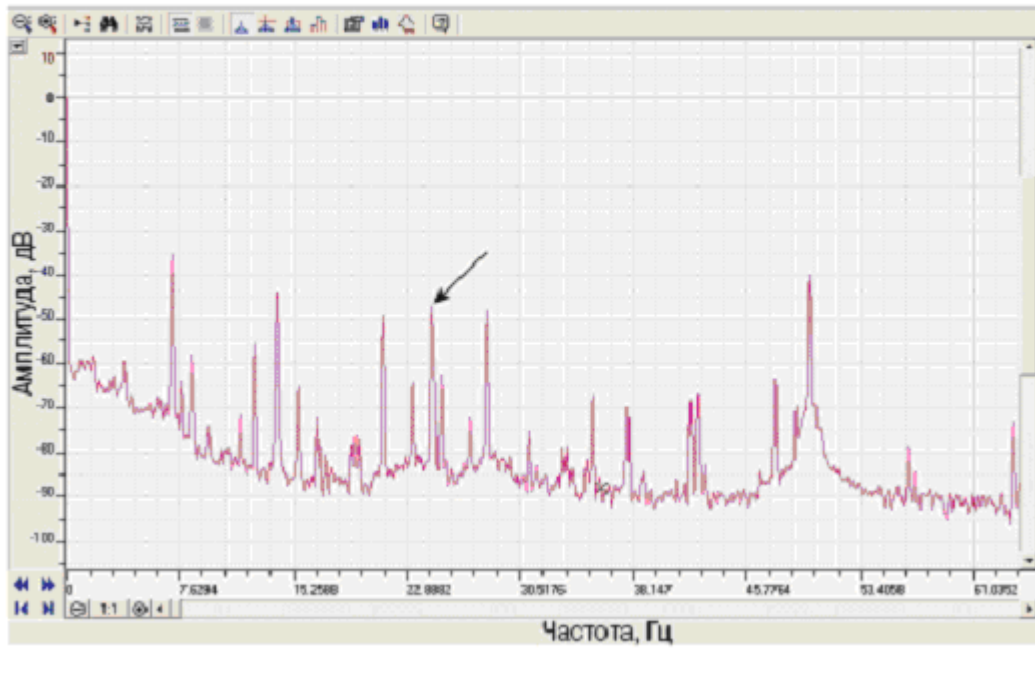
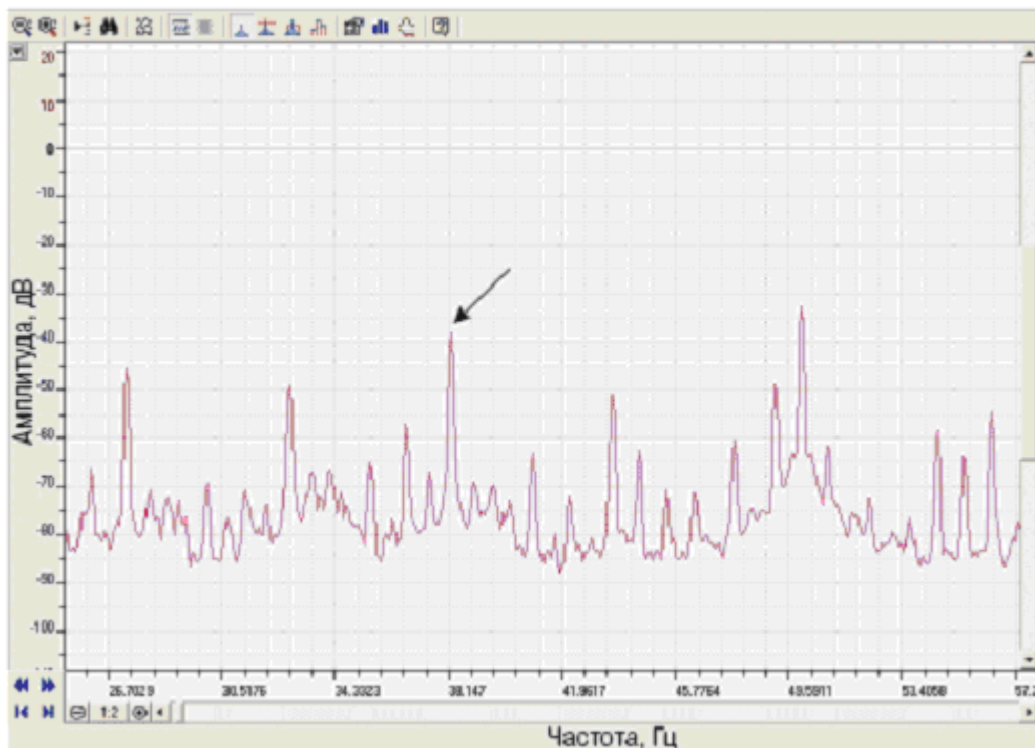


Рисунок 2.4 Частотна характеристика при пошкодженні сеператора підшибника



Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

MP.5.8.141.041.ПЗ

Лист

62

Рисунок 2.5 Частотна характеристика при пошкодженні стержнів ротора

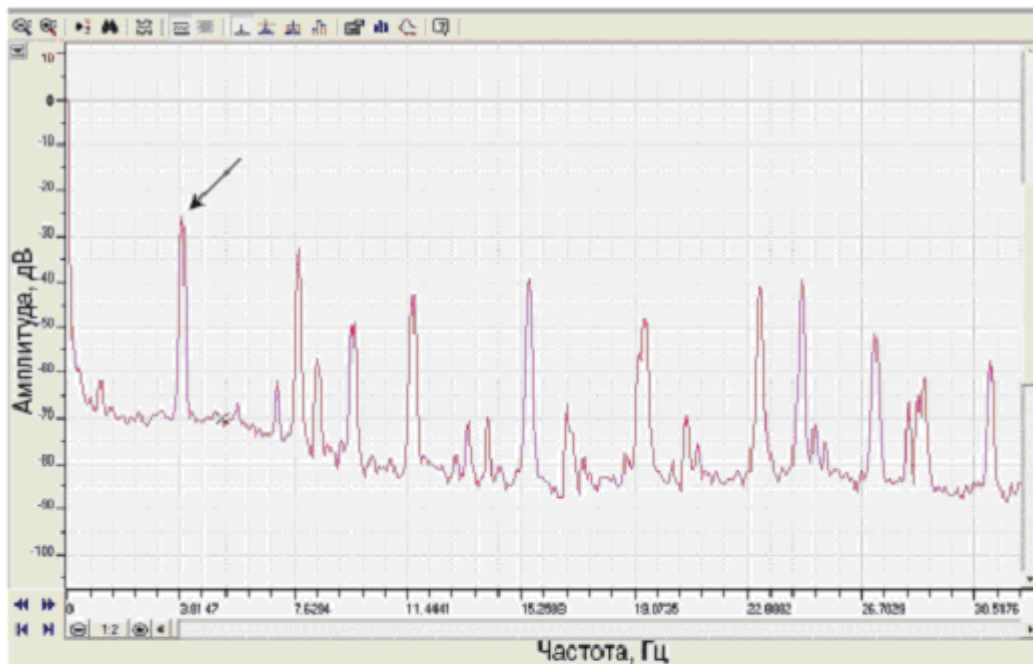
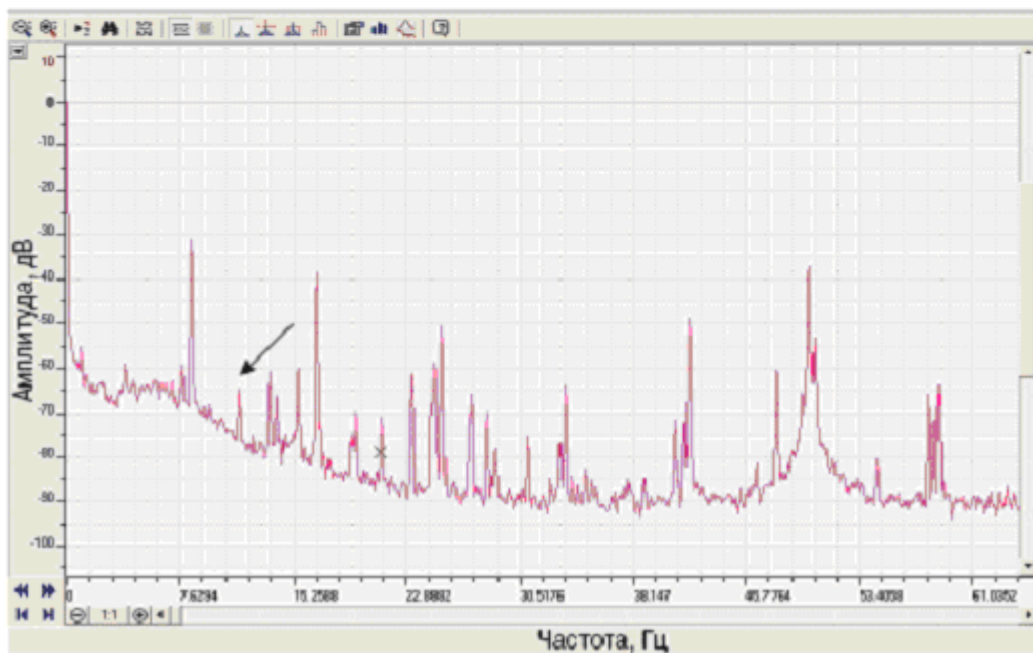


Рисунок 2.6 Частотна характеристика при задіванні ротора об статор



Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

МР.5.8.141.041.ПЗ

Лист

63

Рисунок 2.7 Частотна характеристика при несоосності валів

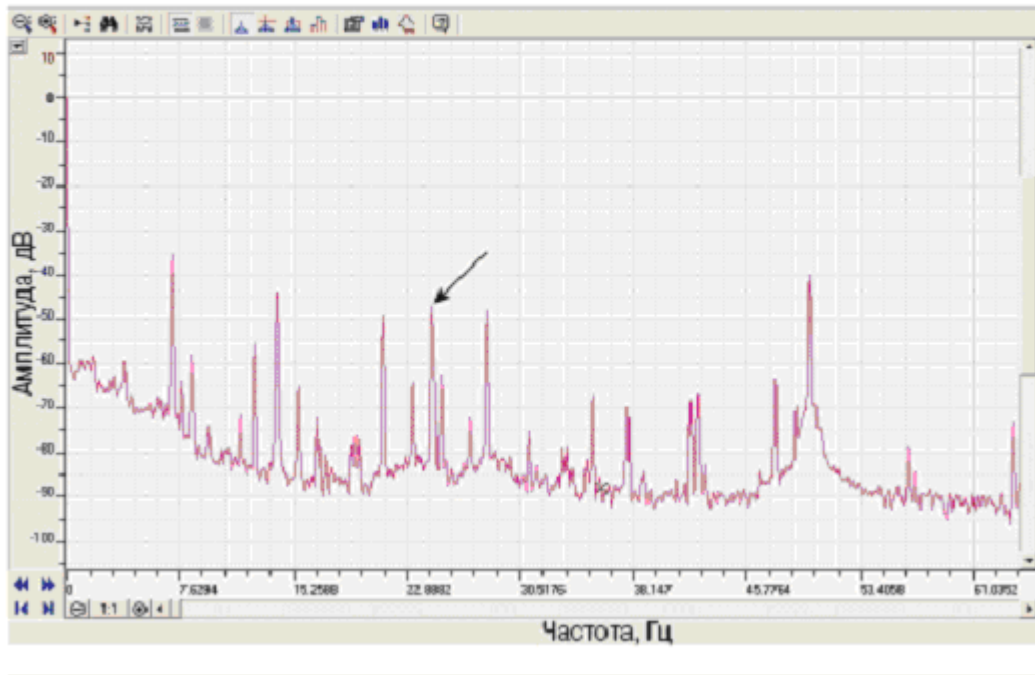
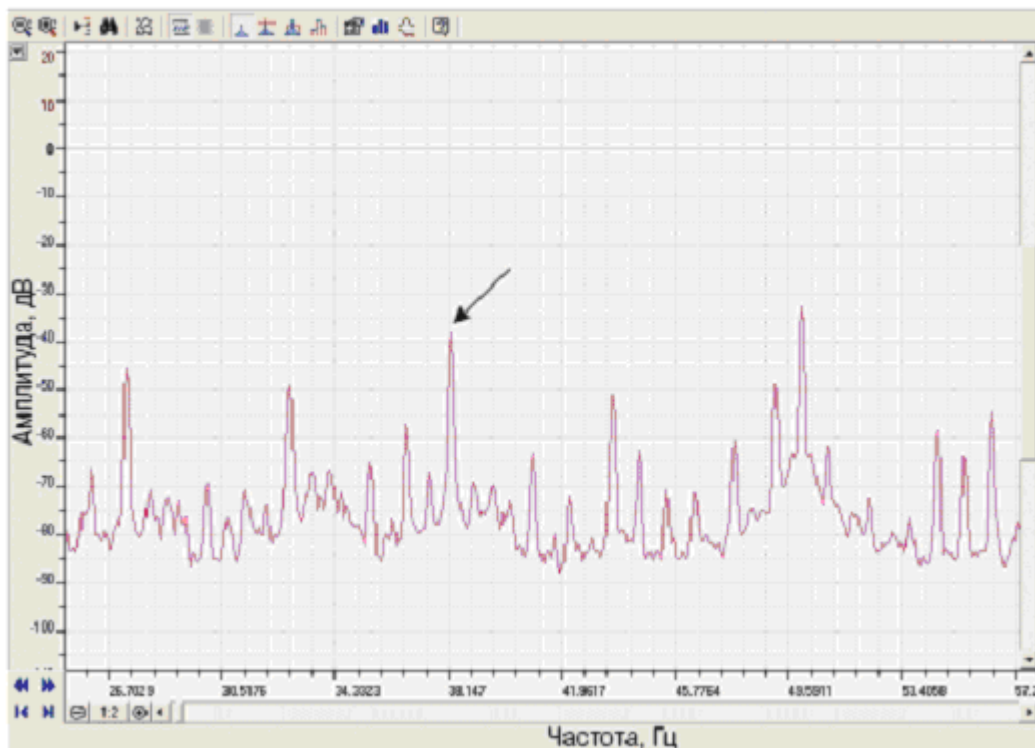


Рисунок 2.8 Частотна характеристика при пошкодженні сепаратора підшибника



Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

MP.5.8.141.041.ПЗ

Лист

64



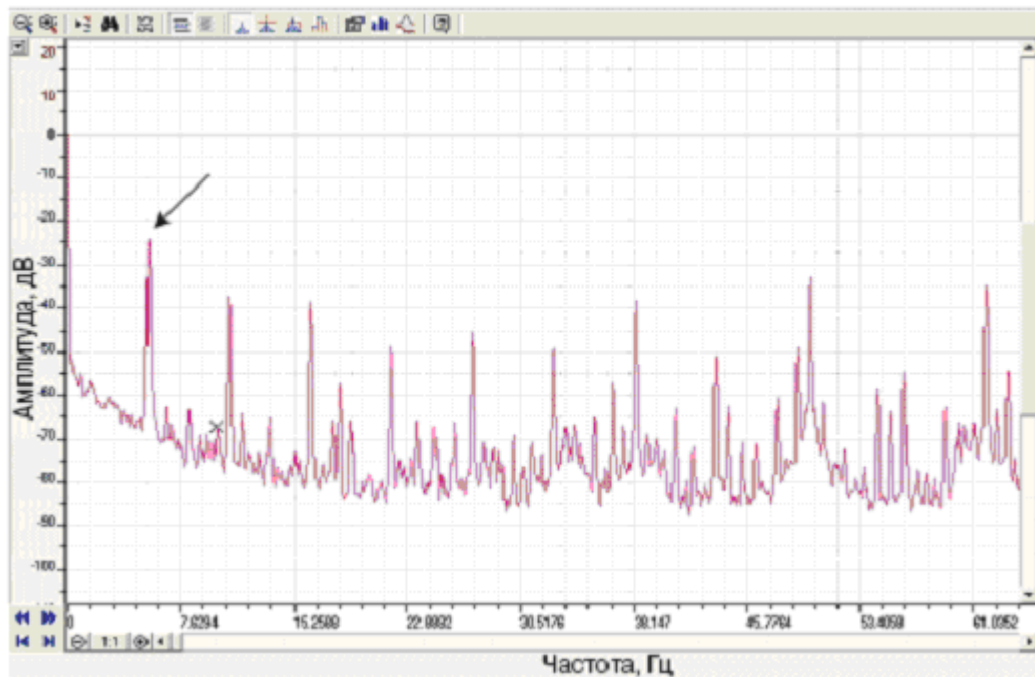


Рисунок 2.9. Частотна характеристика при зносі передаточного механізму.

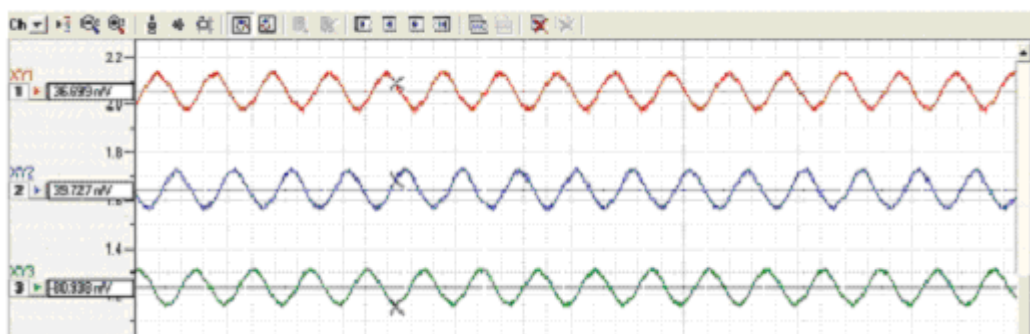


Рисунок 2.10. Приклад реальної напруги живлення

Діагностування основних несправностей електродвигуна здійснюється на наступних характерних частотах:

- наявність міжвиткових замикань в обмотках статора і пошкодження ротора – на частоті живлячої мережі;
- неспіввісність валів електродвигуна і пов'язаних з електродвигуном механічних пристроїв – на частотах, кратних частоті обертання електродвигуна;
- пошкодження підшипника – на частотах, кратних частоті обертання ротора;

Вивід про наявність несправності електродвигуна можна зробити на основі порівняння значень амплітуд РІ на частотах, характерних для пошкоджень, з рівнем сигналу при частоті, рівній нулю. Якщо амплітуди РІ на характерних частотах нижче за амплітуду модуля РІ на частоті 0 Гц на задану величину, робиться вивід про хороший технічний стан електродвигуна і пов'язаних з ним механічних пристроїв. У випадку якщо вказана різниця між амплітудами більше заданої величини, робиться висновок про наявність відповідного даній характерній частоті РІ пошкодження.

### 2.7.2 Діагностика стану електродвигунів на основі спектрального аналізу споживаного струму

Численні дослідження характеру пошкоджень двигунів змінного струму дозволили отримати наступні статистичні дані :

- Пошкодження елементів статора - 38%
- Пошкодження елементів ротора - 10%
- Пошкодження елементів підшипників - 40%
- Інші пошкодження - 12%

Основні положення розробленого методу діагностики електродвигунів

Блок - схема комплексу представлена на рис. 2.11.

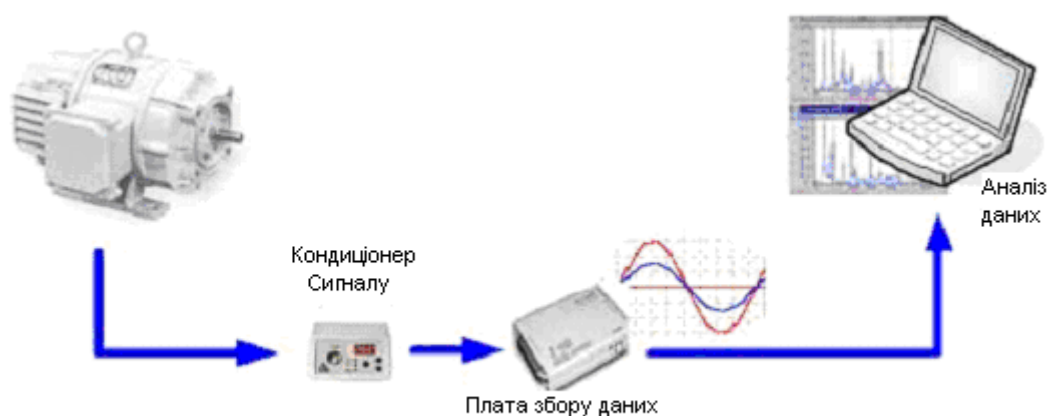


Рисунок. 2.11 Блок - схема діагностичного комплексу

До складу комплексу входять роз'ємний струмовий датчик з лінійною частотною характеристикою, кондиціонер сигналу (фільтр низьких частот, що перешкоджає появі помилкових частот сигналів (aliasing) при їх дискретизації /9/, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), персональний комп'ютер (ПК) з необхідним програмним забезпеченням для збору і обробки інформації. Запис сигналів струму здійснюється протягом часу, необхідного для виконання спектрального аналізу з дозволом по частоті не менше 0.01-0.02 Гц. Оцифровані АЦП дані передаються в ПК, де виконується обробка отриманих даних, визначається частота обертання двигуна і число стрижнів його ротора, потім виконується спеціальний спектральний аналіз сигналу струму.

Фізичний принцип, покладений в основу роботи діагностичного комплексу, полягає в тому, що будь-які обурення в роботі електричної і/або механічної частини електродвигуна і пов'язаного з ним пристрою приводять до змін магнітного потоку в зазорі електричної машини і, отже, до слабкої модуляції споживаного електродвигуном струму. Таким чином, наявність в спектрі струму двигуна характерних (і не співпадаючих) частот певної величини свідчить про наявність пошкоджень електричної і/або механічної частини електродвигуна і пов'язаного з ним механічного пристрою.

Як приклад нижче приведені результати спектрального аналізу струмів двох однотипних установок вентиляторів: що знаходиться в експлуатації 1 тиждень (рис.2.12) і що пропрацювала 5 років (рис 2.13).

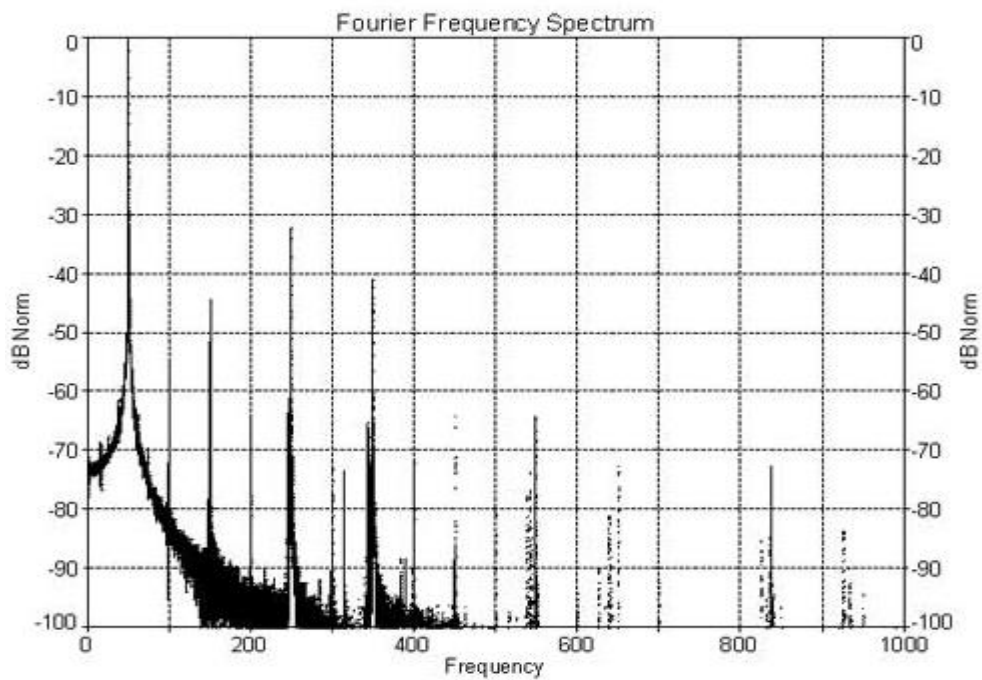


Рисунок 2.12 Спектральний склад струму нового електродвигуна

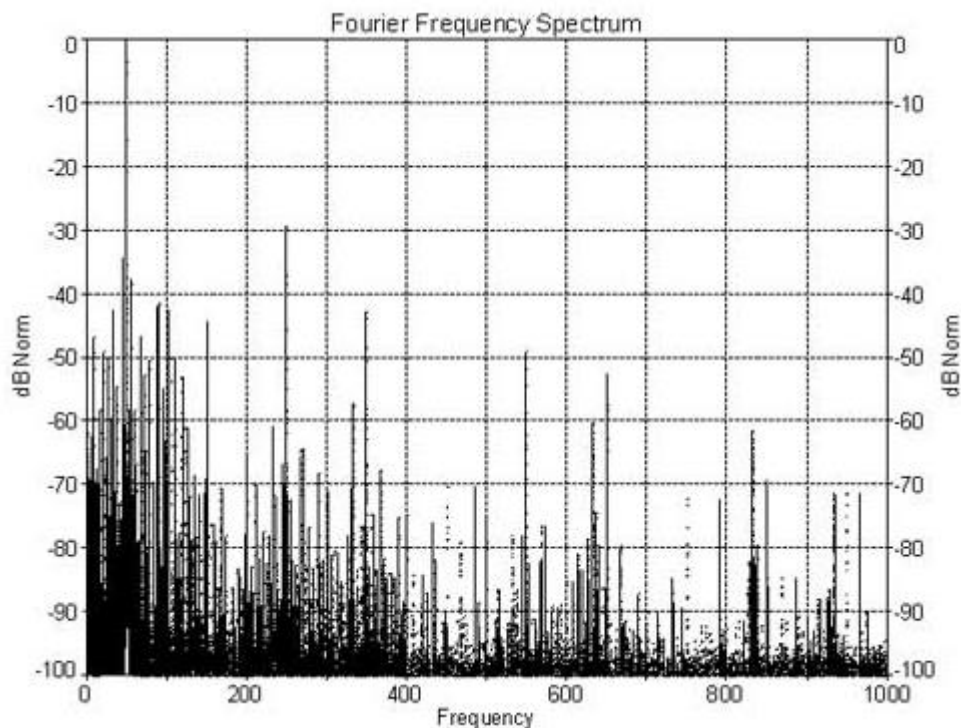


Рисунок 2.13. Спектральний склад струму електродвигуна, що знаходиться в експлуатації а потязі 5 років

На вищенаведених малюнках ясно видно як збільшення кількості частотних смуг, відповідних різним видам пошкоджень, так і зростання їх

величини (при значущому рівні сигналів в частотній області від -80 дБ) для електродвигуна, що тривало знаходиться в роботі.

Можливості розробленого методу діагностики з погляду виявлення різних видів пошкоджень. Пошкодження ротора двигуна (обрив стрижнів, ослаблення кріплення стрижнів до контактних кілець, приховані дефекту литва). Цей вид несправності виявляється по наявності 2-х симетричних щодо частоти живлячої мережі піків в спектрі струму (див. рис. 2.14).

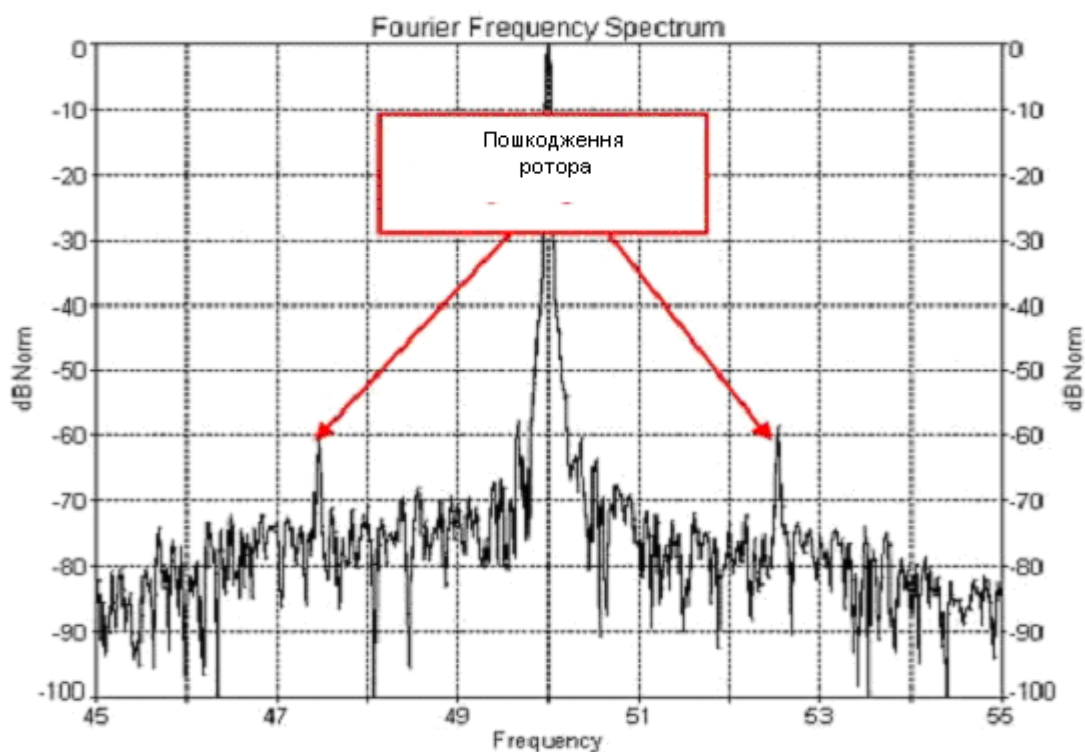


Рисунок 2.14. Частоти, характерні для пошкоджень ротора

Неспіввісність валів двигуна і механічного навантаження. Цей вид несправності визначається по частотах, кратних частоті обертання ротора (рис. 2.15)

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

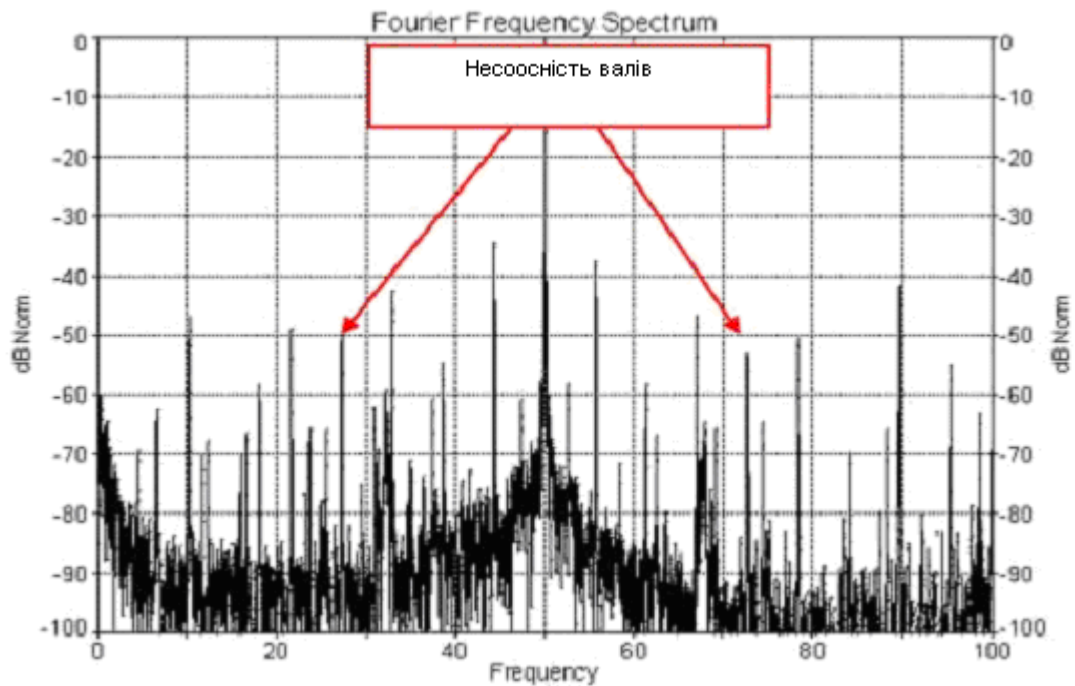


Рисунок 2.15. Характерні частоти за наявності неспіввісності валів двигуна і механічного навантаження

Дефекти ремінної передачі вентилятора. Цей вид несправності визначається по частотах, кратних частоті биття ремня, визначуваною довжиною останнього і діаметрами шківів (див. рис. 2.16)

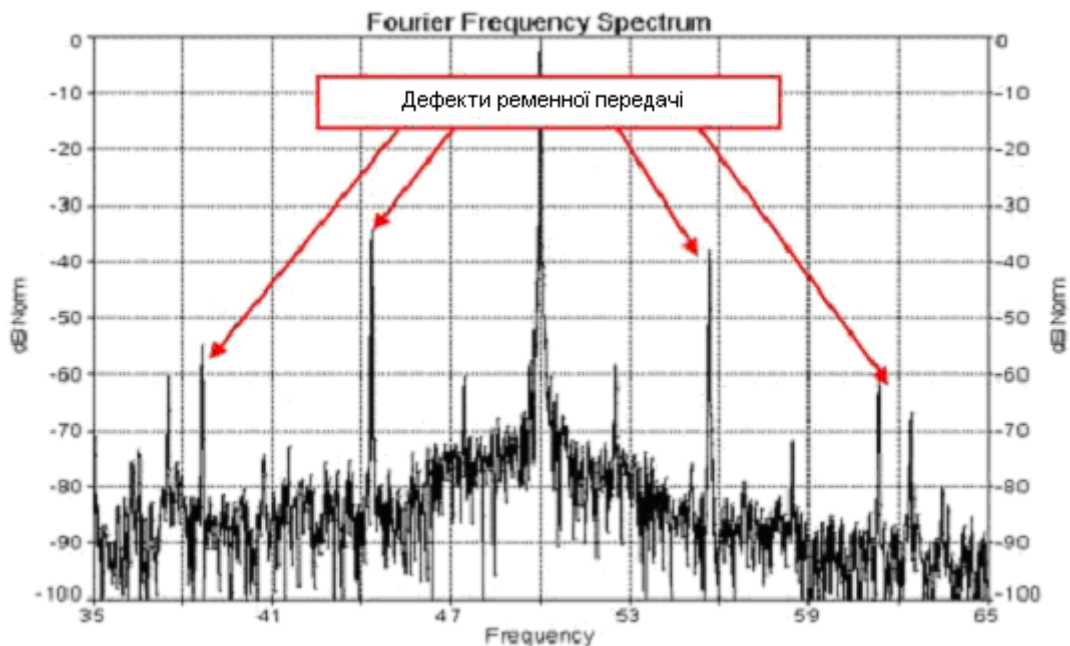


Рисунок 2.16. Характерні частоти за наявності дефектів ремінної передачі

Аналогічним чином визначається і наявність таких дефектів, як:

- міжвиткові замикання обмоток статора;
- пошкодження підшипників (необхідні дані про підшипники електродвигуна і механічного пристрою);
- підвищений ексцентриситет ротора (статичний і/або динамічний);
- ослаблення елементів кріплення електродвигуна;
- дефекти механічної частини пов'язаних з електродвигуном пристроїв.

Вимірювання можуть бути виконані як безпосередньо на клемою коробки електродвигуна (без якого-небудь порушення режиму його роботи), так і в електроциті живлення і/або управління.

## 2.8 Метод діагностики на основі штучних нейронних мереж

Найбільш вдалим методом є використання програмно-апаратного комплексу, який зображений на рисунок. 2.17, що складається з комп'ютера і цифрового пристрою-посередника, що проводить необхідні вимірювання і передавання їх в комп'ютер. Як вимірювані електричні величини можуть бути оперативний струм, споживана потужність і так далі Програма, що виконується на комп'ютері, винна, у свою чергу, певним чином обробити вхідну інформацію і визначити найбільш вірогідний вид пошкодження працюючого електродвигуна або зробити висновок про його справність. Цей метод найбільш ефективний, оскільки дозволяє зберігати на комп'ютері великі бази даних з інформацією про відстежувану динаміку пошкоджень електродвигуна з подальшим прогнозуванням виходу його з ладу.

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						71
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

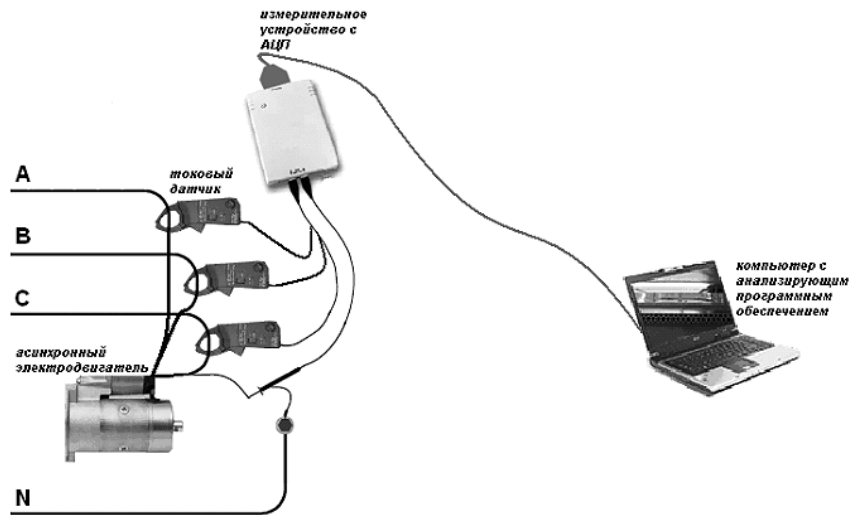


Рисунок 2.17. Діагностичний програмно-апаратний комплекс

Окрім цього, комп'ютер є могутнішим засобом обробки інформації, чим мікроконтролер, що, зокрема, дозволяє використовувати сучасні технології, у тому числі і технології штучного інтелекту, такі як використання штучних нейронних мереж, нечіткої логіки і експертних систем. В даний час широкого поширення набуло використання штучних нейронних мереж для побудови математичних моделей складних нелінійних процесів, розпізнавання образів і прогнозування сигналів.

Нейронна мережа - це набір нейронів, кожен з яких є моделлю біологічного нейрона, зображеного на рис. 2.18 Кожен нейрон має так звані дендрити, синапси і аксони. Дендрити йдуть від тіла нервової клітини до інших нейронів, де вони приймають сигнали в точках з'єднання, званих синапсами. Прийняті синапсом вхідні сигнали підводяться до тіла нейрона. Тут вони підсумовуються, причому одні входи прагнуть порушити нейрон, інші - перешкодити його збудженню. Коли сумарне збудження в тілі нейрона перевищує деякий поріг, нейрон збуджується, посылаючи по аксону сигнал іншим нейронам. У цієї основної функціональної схеми багато ускладнень і виключень, проте, більшість штучних нейронних мереж моделюють лише ці прості властивості.



В даний час широко використовуються математичні моделі нейронних мереж. Графічно такі моделі зображаються у вигляді графа, показаного на рис. 2.19 На даному малюнку зображена проста багат шарова нейронна мережа прямого розповсюдження, яку також називають персептроном. Існують також і інші моделі нейронних мереж, серед яких найчастіше використовуються рекурентні мережі Хопфілда і мережі Кохонена, що самоорганізуються. Прямокутниками є тіла нейронів, витікаючі стрілки, що входять, - дендрити, а крапки, в яких стрілки заходять і крапки, з яких стрілки виходять, - це відповідно синапси і аксони. Круги на малюнку - умовні входи нейронів, які просто розподіляють вхідні значення по всіх нейронах мережі. У математичній моделі нейрона всі вхідні стрілки мають ваги, а на виході зазвичай обчислюється нелінійна функція від середньої суми цих вагів з деякими додатковими арифметичними діями /12/.

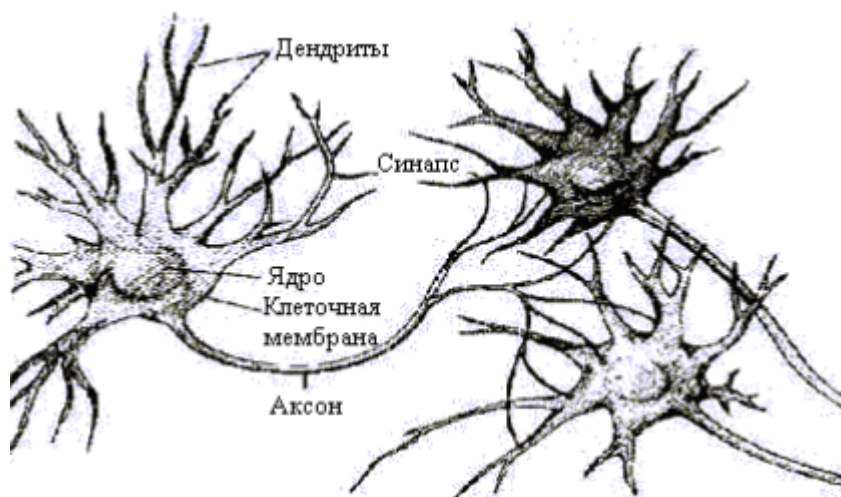


Рисунок 2.18 Біологічний нейрон

Були розроблені також і інші моделі нейронів і нейронних мереж, наприклад, електричні. Проте із-за своєї непрактичності вони не набули великого поширення. Для використання нейронної мережі прямого розповсюдження при рішенні конкретної задачі, її необхідно спочатку "навчити". Для цього на вхід нейронної мережі подаються які-небудь значення, а на виході знімаються результуючі значення, які порівнюються з тими значеннями, які повинні там бути.

Якщо вихідні значення нейронної мережі відрізняються від необхідних значень, то відбувається оптимізація вагів нейронної мережі яким-небудь з математичних алгоритмів до тих пір, поки ці значення їм не відповідатимуть із заданою точністю. Після цього нейронну мережу можна вважати навченою.

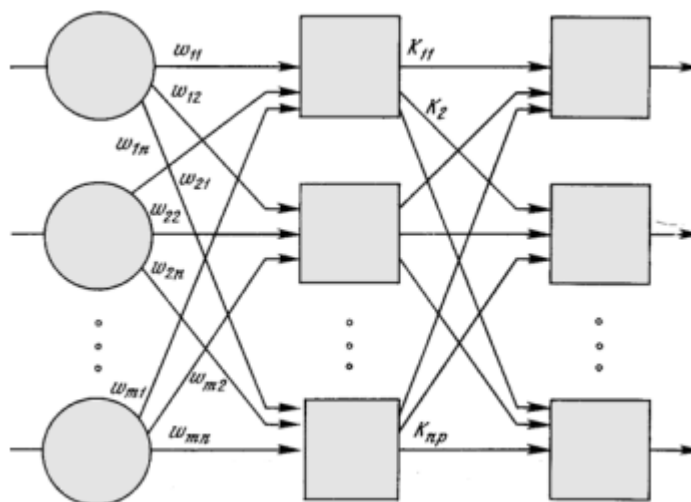


Рисунок 2.19 Графічне представлення математичної моделі нейронної мережі прямого розповсюдження

Нейронні мережі дають можливість ефективно визначати причину і види пошкодження асинхронних електродвигунів, працювати із зашумленими даними, позбавляючи від необхідності застосування проміжних електронних фільтрів від перешкод або фільтрації математичними методами, а також адаптуватися до конкретного типу електродвигуна. Окрім цього, штучні нейронні мережі широко використовуються в завданнях прогнозування. Крім вибору алгоритмів обробки сигналу і визначення способу діагностики асинхронних електродвигунів необхідно розробити апаратну частину програмно-апаратного діагностичного комплексу. При цьому дуже важливо вибрати недорогу компонентну базу для його реалізації, що визначає собівартість комплексу в розмірі не більше ніж 10% від вартості самого електродвигуна. Таким же чином відбувається отримання графіка одного періоду повної споживаної потужності асинхронного електродвигуна.

Чим вище швидкість обертання ротора електродвигуна, тим більше періодів аналізується, до того, як буде проведена спроба визначення несправності в електродвигуні. Природно така обробка сигналу знижує загальну швидкодію діагностичного комплексу. Можна навіть не виконувати ідентифікацію отриманого періоду, а звести це завдання до завдання розпізнавання образу замкнутої фігури, зображеної на рис. 2.20, і за формою даної фігури судити про присутність якої-небудь несправності в електродвигуні. В цьому випадку спосіб діагностики виходить наочнішим, але і складнішим в реалізації.

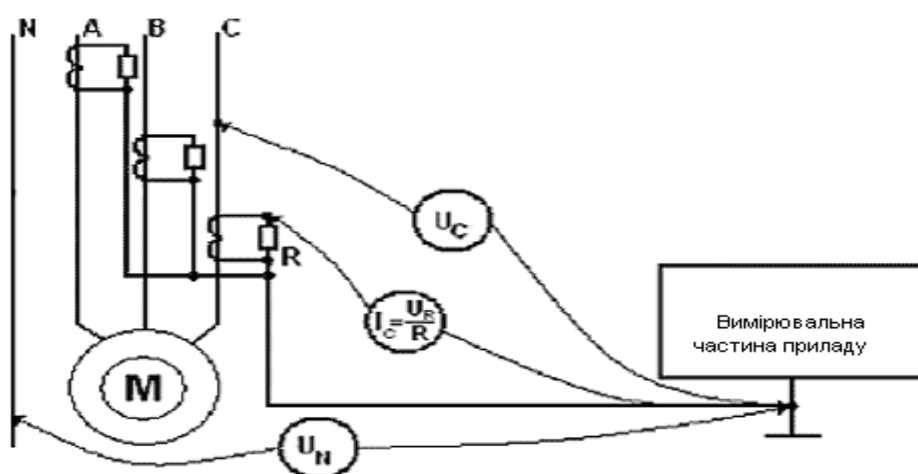


Рисунок 2.20. Схема підключення вимірювальної частини комплексу до ланцюга електродвигуна

Даний програмно-апаратний комплекс дозволить значно збільшити економічну ефективність використання промислових установок з асинхронними електродвигунами, і при цьому збільшити термін служби електродвигунів у виробництві шляхом проведення своєчасного їх ремонту за даними прогнозування, отриманим в результаті діагностики. Використовувати нейронні мережі для визначення всіх видів несправностей і ненормальних режимів роботи електродвигуна недоцільно, а в деяких випадках неможливо! Наприклад, неможливо визначити наявність рівномірного перевантаження електродвигуна лише за формою сигналу повної потужності електродвигуна,

оскільки тут необхідно порівнювати амплітуду потужності електродвигуна з його номінальною потужністю. Проте це легко реалізувати в програмі. Якщо програмно-апаратний комплекс використовуватиметься не тільки для діагностики, але і для захисту електродвигуна, то реалізація в нім традиційних методів релейного захисту підвищить надійність його роботи

## 2.9. Метод тепловізорної діагностики.

Даний вид контролю можна розглядати як окрему гілку теплового контролю, але все таки є новим методом діагностики.

Теплобачення — це метод дефектоскопії, при якому зображення об'єктів отримують за допомогою теплових променів, що відбитих від об'єкту або випускаються їм. Таким чином можна візуально спостерігати і аналізувати теплові поля і розподіл температур на поверхні досліджуваного об'єкту.

Результатом дослідження може бути виявлення локального нагріву (наприклад, контактної групи або клемної шпильки), витоки тепла через стінку, що потоншала, або невидиму оком тріщину на печі, сушиле або іншому технологічному об'єкті, порушення теплоізоляції, нагрів підшипникових опор, муфтових і ремінних передач, частин приводного електроустаткування. За допомогою теплобачення можна також контролювати різні технологічні процеси. Приклади термограм зображено на рис. 2.21.

Застосування тепловізорної діагностики засноване на тому, що наявність практично всіх видів дефектів устаткування викликає зміну температури дефектних елементів і, як наслідок, зміна інтенсивності інфрачервоного (ГИК) випромінювання, яке може бути зареєстроване тепловізорними приладами.

					MP.5.8.141.041.ПЗ	Лист
						76
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

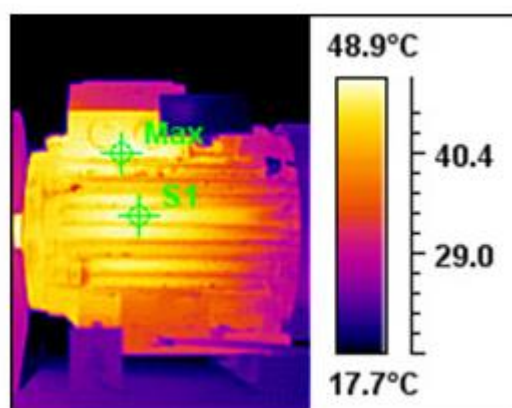
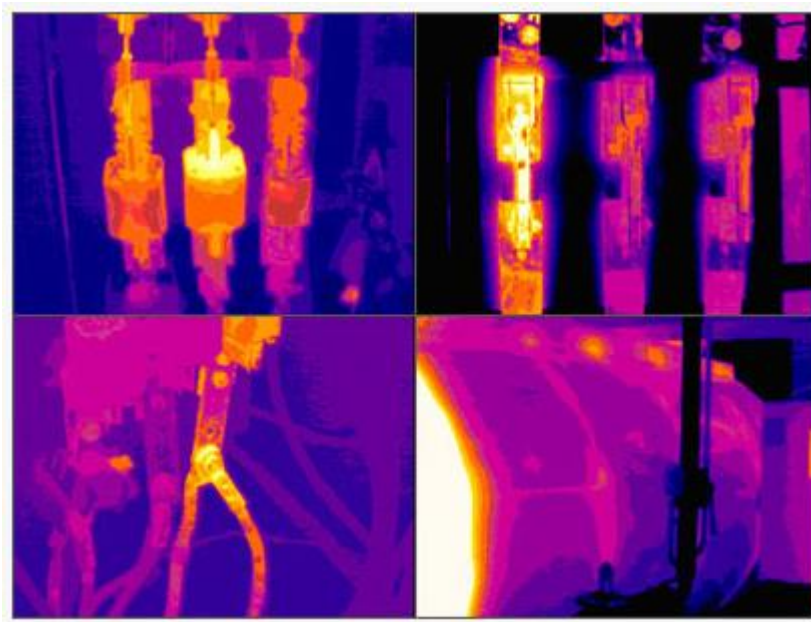


Рисунок 2.21 Приклади термограм

Тепловізорна діагностика дозволяє отримати достовірну і об'єктивну інформацію про тепловий стан об'єкту. На основі цієї інформації приймаються ефективні заходи, що забезпечують безпечну експлуатацію об'єкту; заздалегідь плануються ремонтно-відновні роботи. Тепловий контроль, основним засобом проведення якого є тепловізор, на сьогоднішній день є найефективнішим методом дослідження енергонапружених об'єктів.

Тепловізорна діагностика володіє величезним потенціалом для оцінки стану устаткування підприємства. Вона виявляє дефекти на найпершій стадії їх розвитку, що дозволяє планувати об'єми і терміни ремонту устаткування по

його фактичному стану. Присутність дефекту виявляється порівнянням температури аналогічних ділянок поверхні апаратів, що працюють в однакових умовах нагріву і охолодження.

Результатом дослідження може бути виявлення локального нагріву (наприклад, контактної групи або клемної шпильки), витоки тепла через стінку, що потоншала, або невидиму оком тріщину на печі, сушиллі або іншому технологічному об'єкті, порушення теплоізоляції, нагрів підшипникових опор, муфтових і ремінних передач, частин приводного електроустаткування.

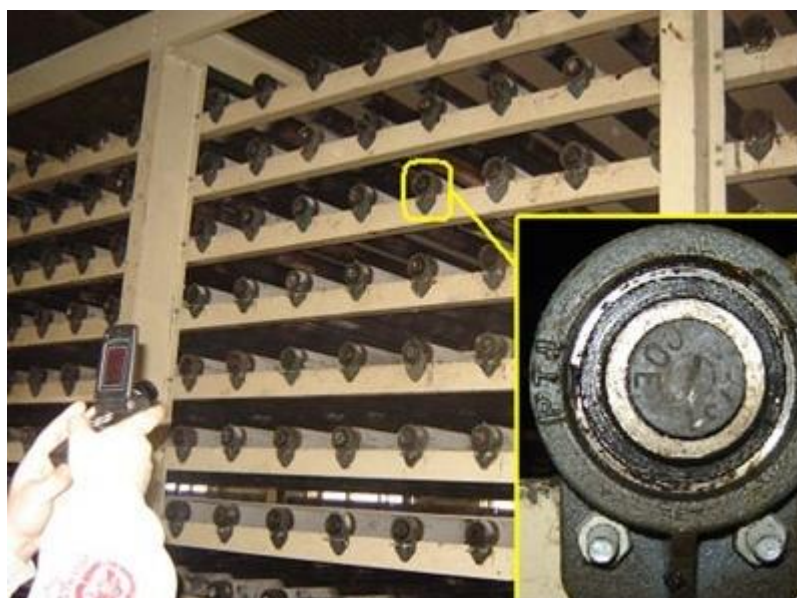


Рисунок 2.22 Виявлення підклинюючих підшипників (загальна кількість вузлів — 1200 шт).

Тепловізорний моніторинг є ефективним способом виявлення дефектів на ранній стадії, скорочення витрат на технічне обстеження і виявлення дефекту. Тепловізорний моніторинг дозволяє за мінімальний час виявити агрегати (вузли) з підвищеною температурою серед великого числа однотипного устаткування (однотипних вузлів), визначити температуру точки максимального нагріву і ухвалити рішення про детальнішу діагностику вузла і/або усуненні дефекту

Тепловізор — коштовний прилад: вартість його від \$25 до \$80 тис. Але, за зарубіжними даними, він окупає себе всього за 3 місяці, оскільки близько 10 % всіх димарів виявляються пошкодженими (а чим це небезпечно, напевно, не варто пояснювати), один несправний паровий кран може заподіяти збиток до \$1,5 тис. в рік. Своєчасне виявлення і ліквідація цих пошкоджень убереже підприємство від величезних збитків.

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		79

### 3. ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МАЙСТЕРНІ

#### 3.1 Вибір силового трансформатора

Розрахунок електричних навантажень проводимо за методом упорядкованих діаграм (ефективної кількості електроприймачів). Ефективна кількість електроприймачів - це кількість приймачів рівновеликих за потужністю і однорідних за режимом роботи, яка обумовлює те ж значення розрахункового максимуму, що і група споживачів різних за потужністю і режимом роботи.

Для електричних мереж розрахунковими навантаженнями вважаються можливі навантаження тривалістю не менше 30 хв. Ефективну кількість струмоприймачів електроенергії  $n_e$  визначається згідно [15] в залежності від співвідношення:

$$n_e = \frac{n_i}{n}, \quad (3.1)$$

$$p = \frac{\sum P_{yi} \cdot n_i}{\sum P_{yi}}; \quad (3.2)$$

де  $n_i$  – кількість електроприймачів, потужність яких більше половини встановленої потужності самого потужного приміщення;

$n$  – загальна кількість встановлених струмоприймачів;

$\sum P_{yi}$  - сума встановленої потужності електроприймачів, потужність яких більше половини потужності найпотужнішого приймача;

$\sum P_y$  - загальна сума встановлених потужностей електроприймачів.

Визначаємо потужність на ввіді в ремонтну майстерню. Розрахункова потужність визначається за формулою:

$$P_{роз} = K_{\max} \cdot P_{ср.см}$$

					МР.5.8.141.041.ПЗ	Лист
						80
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		



де  $K_{max}$  - коефіцієнт максимуму;

$P_{ср.см.}$  - середнє навантаження на максимально завантажену схему:

$$P_{ср.см.} = K_{в} \cdot P_{уст} \quad (3.4)$$

де  $K_{в}$  - коефіцієнт використання потужності;

$P_{уст}$  - встановлена потужність, кВт.

Значення коефіцієнта  $K_{в}$  і  $\cos \phi$  знаходимо з таблиці. Споживачі розбиваємо на групи і окремі ділянки мережі. Результати електричних навантажень в майстерні наведені в табл. 4.1.

(3.5)

$$S_{роз} = 269,658 / 0,68 = 409,38, \text{ кВА.}$$

Розрахунок електричного навантаження на вводі в майстерню проводиться в табличній формі (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Розрахунок електричного навантаження на вводі в майстерню

Ввід	$P_{уст}, \text{ кВт}$	$P_{н. \max}, \text{ кВт}$	$P_{см}, \text{ кВт}$	$K_m$	$K_{\max}$	$P_{роз}, \text{ кВт}$	$S_{роз}$
	207,3	50	83,65	0,41	1,32	69,6	409,38

$$P_{ср.см.} = 0,41 \cdot 207,3 = 83,65 \text{ кВт.}$$

Живлення майстерні здійснюється від ТП №1. Ввід вважаємо як окремий споживач. Приймаємо закрити трансформаторну підстанцію типу ЗТП-400-10/0,4.

Паспортні дані трансформатора наведені в табл. 3.3. Силовий трансформатор встановлюємо в закритій трансформаторній підстанції.

Таблиця 3.3 – Паспортні дані трансформатора

Тип трансформатора	Номінальна потужність, кВА	Напруга, кВ		Втрати, кВт		Напруга к. з., %	Струм хх від ном., %
		ВН	НН	Х.Х.	К.З.		
ТМФ 400	400	10	0,4	1,45	5,5	4,5	2,1

### 3.2 Розрахунок повітряних ліній електропередач

При розрахунку ліній 10 кВ живильної мережі ТП №1 користуємося матеріалами обстеження господарства і результатами попередніх розрахунків.

Розрахункове навантаження - 409,38 кВА;

- довжина лінії 4 км;

- відхилення напруги на шинах 10 кВ РТП,  $U=(\pm 5 \%)$ ;

- потужність трифазного к. з. на лінії 10 кВ РТП,  $S_{к.з.}^{(3)}=51$  кВА.

Розрахунок лінії 10 кВ полягає у визначенні допустимої втрати напруги в лінії і виборі перерізу проводів. Допустимі втрати напруги в лінії при максимальному навантаженні не більше 4 %. Визначаємо переріз проводів лінії 10 кВ за економічними інтервалами густини струму. Економічний переріз

Визначається фактична втрата напруги:

$$\Delta U_{\text{факт}} = P \cdot r (U_N + Q \cdot x) \cdot U_N, \quad (3.6)$$

де  $P$ ,  $Q$  – активна і реактивна потужність, кВт, кВАр;

$r, x$  – активний і реактивний опір, Ом.

Реактивна потужність знаходиться за формулою:

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

MP.5.8.141.041.ПЗ

Лист

82

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{кВАр} \quad (3.7)$$

Активний і реактивний опір лінії визначають за формулою:

$$r = r_0 \cdot l ; x = x_0 \cdot l, \quad (3.8)$$

де  $r_0, x_0$  – питомий активний і реактивний опір 1 км лінії, Ом/км.

$$\Delta U_{\phi} = 204,245 \cdot 0,0134 / 0,38 + 125,18 \cdot 0,00184 / 0,38 = 4,19 \text{В};$$

$$Q = 204,245 \cdot \operatorname{tg} 65^{\circ} = 123,15 \text{кВАр}.$$

Таблиця 3.4 - Допустима втрата напруги в лінії 0,38 кВ

Елемент мережі	Режим роботи	
	100%	25%
Шини РТП 10 кВ	+5,0	+5,0
Лінія 10 кВ	-2,0	-0,5
Трансформатор 10/0,4 кВ:		
- постійна надбавка	+5,0	+5,0
- регульована надбавка	+2,5	-2,5
- втрати	-4,0	-2,0
Лінія 0,38 кВ	-9	0
Споживач	-2,5	+5,0
Допустима втрати у споживача	-5,0	+5,0

$$Z_{нов} = \sqrt{(0,33 + 0,082)^2 + (1,17 + 0,046)^2} = 1,24 \text{Ом.}$$

Підставивши одержані результати у вихідну формулу одержимо:

$$K_{фак} = \frac{100 \cdot 6}{100 \cdot 4,5 \cdot 6 \cdot \frac{17 \cdot 24}{10}} \cdot \frac{1,22}{1,24} = 5,6.$$

Знайдемо втрати напруги в трансформаторі:

$$\Delta U_{mp} \% = \frac{100}{8889} \cdot \sqrt{5,8 \cdot 17,24 \cdot 0,027 + 442,46 \cdot 0,5 + 5,8 \cdot 17,27 \cdot 0,96 + 442,46 \cdot 0,76} = 6,11 \% .$$

Втрати напруги в лінії знаходимо за формулою:

$$\Delta U_{л} \% = \Delta U_{л1} + \Delta U_{л2}; \quad (3.9)$$

де  $\Delta U_{л1} \%$  - втрати напруги до пуску;

$\Delta U_{л2} \%$  - втрати напруги після пуску електродвигуна;

$\Delta U_{л1} \% = 5 \dots 6 \%$ ;

$$\Delta U_{л2} = \frac{Z_n}{Z_n + Z_{де}} \cdot 100\% \quad (3.10)$$

$$\Delta U_{л2} = \frac{0,082}{0,082 + 1,22} \cdot 100\% = 6,3\% .$$

Тоді:  $\Delta U_{л} = 6,3 + 6 = 12,3\%$ .

Підставивши знайдені значення у вихідну формулу, визначаємо фактичне значення напруги:

$$\Delta U_{фак} = 6,11 + 12,3 - 5 + 0 = 13,31\% .$$

$$28,3\% \geq 13,31\% .$$

Таким чином, умова пуску електродвигуна виконується і пуск електродвигуна можливий.

### 3.3 Перевірка умов спрацювання пускозахисної апаратури в аварійних режимах

В мережах напругою 0,38 кВ з глухозаземленою нейтраллю можуть виникати струми одно-, дво- і трифазного короткого замикання. Захисні апарати перевіряються за найбільшим і найменшим значеннями струмів к.з.

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						84
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

При захисту електричних схем автоматики вимикачами необхідно, щоб в петлі „фаза-нуль” протікав струм к.з., що дорівнює:

$$I_{к.з} \geq K_3 \cdot K_p \cdot I_{відс}, \quad (3.11)$$

де  $K_3$  - коефіцієнт запасу;

$K_p$  - коефіцієнт розкиду точок к.з.;

$K_p = 1,4$  для автоматичних вимикачів з  $I_n \geq 100$  А.

Проводиться перевірка чутливості захисту автоматичного вимикача для найбільш віддаленого струмоприймача при струмі однофазного к.з., для електродвигуна АИР160М6УЗ пристрою для обкатки молотарок комбайнів. Електродвигун захищається від к.з. автоматичним вимикачем ВА51-29, параметри якого: номінальний струм  $I_n = 63$  А,  $I_{нр} = 31,5$  А;  $I_{відс} = 10 \cdot I_{нр}$ ;  $I_{пер.від} = 8$ кА.

Згідно ПУЕ струм однофазного к.з. визначається:

$$I_{к.з}^{(1)} = \frac{U_\phi}{Z_T + Z_n}, \quad (3.12)$$

де  $Z_T$  - повний опір трансформатора, Ом;

$Z_n$  - опір петлі „фаза-нуль”, Ом.

Повний опір трансформатора визначаємо:

$$Z_T = 26/I_n = 26/400 = 0,065 \text{ Ом.}$$

Струм однофазного к.з. визначаємо в найбільш віддаленій точці (рис.4.2).

Опір петлі „фаза-нуль” визначається:

$$Z_n = \sqrt{\left(\sum Z_{оф.і} \cdot l_1 + \sum Z_{он.і} \cdot l_1 + \sum Z_{ном}\right)^2 + \sum x_0 \cdot l_1^2}, \quad (3.13)$$

де  $Z_{оф.і}, Z_{он.і}$  - активний опір фазного і нульового проводів, Ом/км;

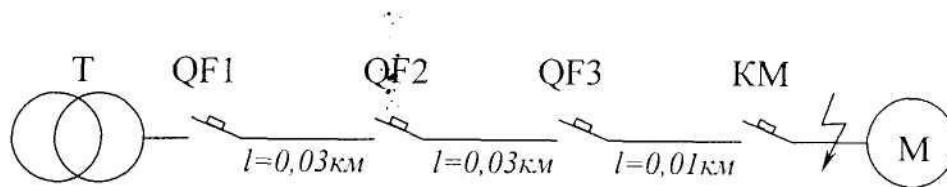


Рисунок 4.2 - Електрична схема розрахунку струму однофазного к.з.

$x_0$ - індуктивний опір ділянки, Ом/км;

$Z_{ном}$  - індуктивний опір перехідних контактів, Ом.

$$Z_n = \sqrt{(0,082 + 0,148 + 0,07)^2 + 0,0046^2} = 0,33 \text{ Ом.}$$

Визначається струм к.з:

$$I_{к.з.}^{(1)} = \frac{220}{0,065 + 0,3} 3 = 602,4 \text{ А.}$$

$$602,4 \text{ А} \geq 1,1 \cdot 1,4 \cdot 31,5 \cdot 10 = 487,1 \text{ А.}$$

При однофазному к.з. автоматичний вимикач за гранично-вимикаючою здатністю перевіряється, виходячи з умови:

$$I_{гр.в} \geq I_{к.з.}^{(3)}, \quad (3.14)$$

де  $I_{к.з.}^{(3)}$  - струм трифазного к.з., А.

Перевіряється автоматичний вимикач ВА51Г25-34-УХЛЗ за гранично-вимикаючою здатністю. Номінальний струм апарата 25А;

$$I_{н.ел.м.роз.} = 14I_{н.п.};$$

$$I_{гр.в} = 2 \text{ кА.}$$

Напругу в точці трифазного к.з. приймаємо рівною нулю. Тоді:

									Лист
									86
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	MP.5.8.141.041.ПЗ				

$$I_{\text{к.з.}}^{(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(\sum R_k)^2 + (\sum X_k)^2}}; \quad (3.15)$$

де  $U_{\text{л}}=400$  В – лінійна напруга;

$\sum R_k, \sum X_k$  - сума активних і реактивних опорів складових кола.

$$\sum R_k = R_T + R_{\text{cp}}; \sum X_k = X_T + X_{\text{cp}}; \quad (3.16)$$

де  $R_T, X_T$  – активна і реактивна складові повного опору трансформатора при трифазному к.з., Ом.

Опором перехідних контактів нехтуємо. Значення параметрів  $Z_{\text{TP}}, R_T, X_T$  визначаються за формулами:

$$Z_{\text{TP}} = \frac{U_{\text{k}} \% \cdot U_{\text{н}}^2}{100 \cdot S_{\text{н}}^2}, \text{ Ом} \quad (3.17)$$

$$R_T = \frac{\Delta P_{\text{к.з.}} \cdot U_{\text{л}}^2}{S_{\text{н}}^2}, \text{ Ом} \quad (3.18)$$

$$R_T = \frac{S_{\text{н}}^2}{\sqrt{X_T^2 - R_T^2}}, \text{ Ом} \quad (3.19)$$

де  $U_{\text{k}} \%$  - втрати в трансформаторі при к.з.

$$\Delta P_{\text{кз}} = 5,5 \text{ кВт};$$

$$Z_{\text{TP}} = \frac{4,5 \cdot 400^2}{100 \cdot 400000} = 0,018 \text{ Ом};$$

$$R_T = \frac{5500 \cdot 400^2}{400000^2} = 0,055 \text{ Ом};$$

$$R_T = \sqrt{0,18^2 - 0,055^2} = 0,00172 \text{ Ом}.$$

Визначається опір ділянки лінії до точки трифазного к.з.:

$$\sum R_{\phi} = 0,03 \cdot 0,447 + 0,03 \cdot 1,25 = 0,052 \text{ Ом};$$

$$\sum X_{\phi} = 0,03 \cdot 0,0612 + 0,03 \cdot 0,0662 = 0,0039 \text{ Ом}.$$

Опір кола трифазного к.з. дорівнює:

										Лист
										87
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата						

$$\sum R_{к.з} = 0,005 + 0,0055 = 0,06 \text{ Ом};$$

$$\sum X_{к.з} = 0,0172 + 0,004 = 0,0215 \text{ Ом.}$$

Підставляються одержані дані в формулу (4.35):

$$I_{к.з.}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,06^2 + 0,0218^2}} = 3927 \text{ А.}$$

Умова  $I_{гр..в} \geq I_{к.з.}^{(3)}$  не виконується, тому замість автоматичного вимикача ВА51Г25-34-УХЛЗ вибирається вимикач ВА51-29-УХЛ4 з  $I_{гр..від} = 4 \text{ кА}$ ;

$$4 \text{ кА} \geq 3,9 \text{ кА.}$$

Вибраний автоматичний вимикач забезпечує вимикання струмів трифазного к.з.

### 3.4 Визначення втрат електроенергії

Втрати електроенергії в мережі 0,38 кВ визначаються за формулою:

$$\Delta W_{л} = 3 \cdot I_{cp}^2 \cdot R \cdot T \cdot 10^{-3}, \quad (3.20)$$

де  $I_{cp}$  – середнє значення струму в мережі за розрахунковий період, А;

$R$  – активний опір проводу однієї фази, Ом;  $R = r_0 \cdot l$ ;

$T$  – кількість годин роботи мережі під навантаженням за розрахунковий період, год.

Тоді, втрати електроенергії в лінії №1:

$$R = r_0 \cdot l = 0,315 \cdot 0,031 = 0,0955 \text{ Ом};$$

$$I_{cp} = \frac{18,6}{\sqrt{3} \cdot 0,7 \cdot 0,4} = 100,3 \text{ А};$$

$$\Delta W_{л1} = 3 \cdot 100,3^2 \cdot 0,0955 \cdot 87,5 \cdot 10^2 \cdot 10^{-3} = 8467 \text{ кВт·год};$$

Втрати електроенергії в лінії №2:

$$I_{cp} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{203,8}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{203,8}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 401,9 \text{ А};$$

$$R = r_0 \cdot l = 0,0955 \text{ Ом};$$

$$\Delta W_{л2} = 3 \cdot 400,9^2 \cdot 0,0955 \cdot 87,6 \cdot 10^2 \cdot 10^{-3} = 39916 \text{ кВт·год};$$

									Лист
									88
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	MP.5.8.141.041.ПЗ				



Втрати електроенергії в лінії №3:

$$I_{cp} = \frac{65}{\sqrt{3} \cdot 0,7 \cdot 0,4} = 133,2 \text{ А};$$

$$R = r_0 \cdot l = 0,064 \text{ Ом};$$

$$\Delta W_{л3} = 3 \cdot 133,2^2 \cdot 0,064 \cdot 0,07 \cdot 10^{-3} \cdot 2880 = 6975 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Сума втрат в мережі 0,38 кВт в рік складає:

$$\Delta W_{л} = 8467 + 39916 + 6975 = 55358 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Річні втрати електроенергії в трансформаторі визначаються за формулою:

$$\Delta W_{mp} = \Delta P_{к.з.} \cdot \left( \frac{S_{max}}{S_n} \right)^2 \cdot r + \Delta P_{х.х.} \cdot t, \quad (3.21)$$

де  $S_n$  – номінальна потужність трансформатора, кВт·А; 83

$S_{max}$  – максимальне 3-х фазне навантаження, кВт·А;

$\Delta P_{к.з.}$  – втрати потужності при к.з. в трансформаторі, кВт;

$\Delta P_{х.х.}$  – втрати потужності при холостому ході в трансформаторі, кВт;

$r$  – річна кількість втрат,  $r = 1500$  годин;

$t$  – час роботи трансформатора,  $t = 8760$  год;

$$\Delta W_{mp} = 4,2 \cdot \left( \frac{368}{250} \right)^2 \cdot 1500 \cdot 0,78 \cdot 8760 = 20484,5 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Сумарна втрата електроенергії в лінії електропередач і трансформаторі складає:

$$\Delta W = \Delta W_{л} + \Delta W_{mp} = 55345 + 20484,5 = 75829,5 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Це складає від всієї спожитої електроенергії виробничими приміщеннями у відсотках:

$$W\% = \Delta W / W \cdot 100\% \quad (3.22)$$

$$W\% = 75829,5 / 448360 \cdot 100\% = 16,8\%.$$

Питома витрата енергії становить:

$$W_{пит} = 448360 / 140 = 3202,6 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{ум.рем.}$$

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		89

### 3.5 Визначення категорії за надійністю електропостачання та збитків від перерви у електропостачанні

У відношенні надійності електропостачання, ремонтна майстерня належить до II категорії споживачів. До цієї категорії висуваються наступні вимоги електропостачання:

- допускаються перерви в електропостачанні на час, необхідний для ремонту або заміни пошкодженого елементу електричної системи, але не більше однієї доби.

Знаючи питомі збитки і час відключення майстерні можна визначити збитки від перерви в електропостачанні за формулою:

$$Y = n \cdot y \cdot t, \text{ грн.} \quad (3.23)$$

де  $y$  – питомі збитки,  $y = 10,4$  грн;

$n$  – кількість працюючих,  $n=20$ ;

$t$  – час перерви в електропостачанні,  $t=3$  год;

$$Y = 20 \cdot 10,4 \cdot 3 = 624 \text{ грн.}$$

Для підвищення надійності електропостачання проводимо технічні заходи:

- приймаємо встановлення резервної дизельної електростанції;
- зменшуємо недовідпуск резервної дизельної електростанції.

### 3.6 Заходи по раціональному використанню та економії енергоресурсів

Раціональне використання електроенергії – це максимально корисне її використання в роботі при найменших витратах на шляху від джерела до споживача. Раціональне використання характеризується коефіцієнтом раціональності.

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						90
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

З метою збереження електроенергії робітники енергетичної служби повинні постійно звертати увагу на:

- стан обліку електроенергії;
- правильний вибір електродвигунів до робочих машин;
- заміну недовантажених двигунів на двигуни меншої потужності;
- вимикання електроприводів, зварювальних трансформаторів під час роботи на холостому ході;
- компенсацію реактивної потужності;
- високий рівень експлуатації електроустановок і електрообладнання;
- очищення ламп і світильників від пилу

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						91
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 4.ОХОРОНА ПРАЦІ

### Перелік основних нормативних документів

1. Закон України "Про охорону праці". Постанова Верховної Ради України від 14.11.92 №2595-ХІІ.
2. Закон України "Про пожежну безпеку" Постанова Верховної Ради України від 17.12.93 №3747-ХІІ.
3. Закон України "Про дорожній рух". Постанова Верховної Ради України від 28.01.93.
4. Закон України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення" Постанова Верховної Ради України від 24.02.94
5. ГОСТ 12.1.009-76 ССБТ "Электробезопасность. Термины и определения".
6. ССБП ДСТУ 2293-93. "Система стандартів безпеки праці. Терміни та визначення".
7. ДСТУ 2272-93 Пожежна безпека. Терміни та визначення.
8. ДБН А 3.1-3-94. Прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів.
9. Єдина державна система показників обліку умов і безпеки праці. Затверджена наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 31.03.94 №27.
- 10.НАПБ А.01.001.-95. Правила пожежної безпеки в Україні, затвержені наказом МВС України від 22.06.95 №400, зареєстровані в Мін'юсті України 14.07.95 за №219/95.
- 11.Типове положення про службу охорони праці: затв. наказом Держнаглядохоронпраці України від 03.08.93 № 73, зареєстроване в Мін'юсті України 30.09.93 за № 140.
- 12.ДНАОП 0.00-4.12-94. Типове положення про навчання, інструктажі перевірку знань працівників з питань охорони праці, затверджене наказом Держнаглядохоронпраці України від 04.04.94 №30, зареєстровано в Мін'юсті України 12.05.94 за №95/309.
- 13.Положення про медичний огляд працівників певних категорій: затв. наказом Міністерства охорони здоров'я України від 31.03.94 № 45, зареєстроване в

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		92

Мін'юсті України 21.06.94 за № 136/345.

14. Положення про розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприємствах, установах і організаціях: затв. постановою Кабінету Міністрів України від 10.08.93 №623.
15. ДНАОП 0.00-4.26-96. Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту. Зареєстровано в Мінюсті України 18.11.96 №667/1692. Введене в дію 29.11.96.
16. ДНАОП 0.03-3.30-96. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань. Зареєстровано в Мін'юсті України 29.08.96 №488/1513. Введене в дію 29.11.96.
17. Правила устройства электроустановок /Минэнерго СССР. - 6-е изд. перераб. и доп. с изменениями N1 и N2. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 640с.
18. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей /Минэнерго СССР. - 14-е изд. перераб. и доп. с изменениями №1 и №2. РД 34.20.501. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 288с.
19. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів /Держенергонагляд України.: - К.: Дисконт, 1995. - 260с.
20. Правила технічної експлуатації тепловикористовуючих установок і теплових мереж / Держенергонагляд України.: - К.: Дисконт. 1995. - 81с.
21. Правила безпечної експлуатації електроустановок. ДНАОП 1.1.10-.01-97. Держнагляд охорони праці України. - К.: Основа, 1997. - 265 с.
22. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. ДНАОП 0.00.1.21.-98. Держнагляд охорони праці України.: - К.: Основа. 1998. - 380с.
23. ГКД 34.03.103-96. Система управління охороною праці в Міненерго України. Положення затверджене Міненерго України 24.04.96.
24. ГКД 34.12.102-95. Навчання, інструктаж та перевірка знань працівників підприємств, установ і організацій Міненерго України з питань охорони праці та експлуатації обладнання. Положення.
25. Правила применения и испытания средств защиты, используемых в

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		93

электроустановках / ПО Союзтехэнерго. - 7-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат. 1983. - 64с.

26. Инструкция по оказанию первой помощи пострадавшим в связи с несчастными случаями при обслуживании энергетического оборудования / Упр. по техн. безопасности и пром. санитарии Минэнерго СССР. - М.: Энергоатомиздат. 1987. - 64с.

27. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. РД 34.21.122-87. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 56с.

28. Правила пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах і в організаціях енергетичної галузі України.

29. Правила безпечної роботи з інструментом та пристроями. ДНАОП 1.1.10-1.04.-01. Держенергонагляд України.: - К.: Форт, 2001. - 176 с.

#### **4.1 Аналіз стану безпеки праці на підприємстві**

Від рівня кваліфікації і ретельності виконання електромонтерами вимог електробезпеки під час монтажу та експлуатації електроустановок залежить безпека виробничого персоналу та сільськогосподарських тварин.

З безпекою праці тісно пов'язані пожежна безпека та блискавкозахист, оскільки пожежі, які виникають на виробництві, а також грозові розряди, загрожують не лише матеріальним цінностям, але і життю людей.

З урахуванням стану охорони праці в господарстві в проекті розроблені заходи щодо усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів, вибрані необхідні індивідуальні засоби захисту, виконаний розрахунок заземлюючого пристрою споживчої трансформаторної підстанції, блискавкозахисту ПТО І РЕО, вибрані засоби пожежегасіння.

В даний час в господарстві приділяється значна увага питанням охорони праці, створенню оптимальних умов праці, відпочинку.

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						94
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

На кожному виробничому об'єкті призначаються відповідальні з правил техніки безпеки.

Перед зарахуванням на роботу, а також періодично проводяться заняття, інструктажі з охорони праці в спеціально обладнаному класі. Інструктажі проводяться також безпосередньо на робочих місцях. Кожен рік електромонтери здають іспит з правил техніки безпеки, на основі чого їм присвоюється кваліфікаційна група з ПТЕ і ПБЕ.

Особи, що працюють з шкідливими речовинами, періодично проходять медичний огляд.

Робітники забезпечуються спецодягом та захисними засобами. Однак, порушення правил техніки безпеки все ще трапляються, що нерідко призводить до травматизму людей, зниження їх працездатності.

Тому, в господарстві необхідно більше уваги приділяти охороні праці, навчанню людей, підвищенню контролю відповідальних осіб за дотриманням правил техніки безпеки на виробництві.

Пункт технічного обслуговування та ремонту енергообладнання ( ПТО І РЕО ) має побутові та виробничі приміщення, що загалом забезпечують комфортні умови праці та відпочинку персоналу.

Характеристика виробничих приміщень пункту за вибухо- і пожежонебезпекою, вогнестійкістю та ймовірністю ураження електричним струмом наведена в таблиці 4.1.

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						95
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Таблиця 4.1 Категорії та класи виробничих приміщень майстерні

1	2	3	4	5	6
Бокс для спецавтомобіля	В	III	II	з під.неб.	П-1
Ділянка просочування та сушіння	А	III	II	-    -	В-1а
1	2	3	4	5	6
Ділянка фарбування	А	III	II	-    -	В-1а
Ремонтно-монтажна ділянка	В	III	II	-    -	П-Па
Ділянка заготівлі конструкцій	В	III	II	-    -	П-Па
Кабінет майстра	В	III	II	без підв. небезп.	Норм
Гардероб	В	III	II	-    -	норм
Тамбур	В	III	II	-    -	норм
Душова	В	III	II	з під.неб.	сире
Вентиляційна камера	В	III	II	-    -	вологе
Електрощитова	В	III	II	-    -	норм

За технологією виконуваних робіт персонал ПТО і РЕО має справу з такими агресивними речовинами як кислота, луг, сульфат свинцю (при



обслуговуванні та ремонті акумуляторних батарей) , а також розчинниками, лаками та емалями (при ремонті електродвигунів і пускозахисної апаратури).. Характеристика окремих виробничих приміщень щодо можливої дії шкідливих та небезпечних факторів на людину наведена у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Можлива дія шкідливих та небезпечних виробничих факторів на людину у виробничих приміщеннях ПТО і РЕО

Найменування приміщень	Небезпечні та шкідливі виробничі фактори						
	Рухомі машини та механізми	висока загазованість	Високий рівень шуму	Висока вологість повітря	хімічні та токсичні речовини	фізичні перевантаження персоналу	високий рівень напруги в електромережі
Дільниця просочування та сушіння	-	+	-	+	+	+	+
Дільниця фарбування	-	+	-	+	+	+	+
Ремонтно-монтажна дільниця	+	+	+	-	-	+	+
Витратний склад	-	-	-	-	-	-	-
Дільниця заготівлі конструкцій	+	+	+	-	-	+	+

## **4.2 Розробка комплексу заходів щодо усунення небезпечних шкідливих виробничих факторів**

### **4.2.1 Організаційні і технічні заходи щодо усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів**

Розроблені у проекті організаційні та технічні заходи щодо усунення небезпечних та шкідливих виробничих факторів мають за мету :

- захист від проникнення до обертових частин машин - передбачені огороження;
- запобігання вибуху у разі виникнення небезпечної концентрації пари на ділянцях просочування, сушіння та фарбування - передбачені встановлення вибухобезпечних світильників і монтаж електропроводки в сталених трубах;
- видалення з приміщень шкідливих газів та забезпечення припливу свіжого повітря - передбачена система вентиляції, яка складається з витяжних та припливних вентиляторів;
- захист від дотику до струмоведучих частин електрообладнання - передбачене захисне заземлення та занулення металевих частин і використання захисних засобів;
- захист споруди від прямих ударів блискавки - передбачений монтаж блискавкоприймальної сітки на даху споруди;
- забезпечення пожежобезпечності - передбачене встановлення пожежних кранів та вогнегасників;
- забезпечення робочих місць місцевим освітленням.

										Лист
										98
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	MP.5.8.141.041.ПЗ					

#### 4.2.2 Вибір індивідуальних засобів захисту

Безпечна робота експлуатаційного персоналу енергетичної служби господарства досягається не тільки організаційними та технічними заходами, але і наявністю високоефективних індивідуальних засобів захисту.

Необхідну кількість захисних засобів, спецодягу, взуття та інших індивідуальних засобів захисту визначаємо, виходячи з чисельності обслуговуючого персоналу, кількості виробничих ділянок і характеру виконуваних робіт [20].

$$Z_{cp} = k_1 \cdot A_{zag} + (k_2 + k_3 \cdot N_{ed}) / d, \quad (4.1)$$

де  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  - постійні коефіцієнти, які залежать від форми обслуговування електрообладнання та виду захисних засобів;

$A_{zag}$  - обсяг робіт з обслуговування електрообладнання в умовних одиницях;

$N_{ed}$  - кількість установлених електродвигунів;

$d$  - коефіцієнт надійності апарату захисного вимикання (при відсутності даних  $d=0.9$ );

Результати проведених розрахунків представлені в таблиці 4.3.

									Лист
									99
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата					

Таблиця 4.3 Розрахунок необхідної кількості захисних засобів на один рік для ремонтної майстерні

Назва захисних засобів	Марка, тип	ГОСТ,ОСТ або ТУ	Кількість
Показчик напруги	КОНТАК Т-55Є	ТУ У 194634.35.006-95	5
Універсальний пробник-вказівник напруги	УПВН	дослідний зразок	2
Ізолюючі кліщі	К-1000	ТУ 34-13-1632-75	3
Струмовимірювальні кліщі	Ц-4501	ТУ 25-04- 857-76	2
Килимки діелектричні	-	ГОСТ-4997-75	4
Переносні заземлення до 1000В	-	ТУ 34-3820-70	2
Діелектричні калоші	-	ГОСТ-28-10072-80	4
Комплект інструменту з ізольованими рукоятками	КСИ-2	ТУ -28-10072-80	4
Попереджувальні плакати та знаки безпеки для електроустановок	-	ГОСТ 12-4026-76	4

### 4.3 Розрахунок заземлювального пристрою споживчої трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ

#### Розрахунок заземлення

Для захисту людей від ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції, повинен бути застосований хоча б один з наступних захисних заходів: заземлення, занурення, захисне виконання, мала напруга вирівнювання потенціалів.

В даному проекті ми застосовуємо захисне заземлення. Опір заземлюючого пристрою, до якого приєднані нейтралі генераторів чи трансформаторів чи виводи джерела однофазного струму в будь-яку пору року повинен бути не більше 4 Ом.

При виконанні заземлення застосовуємо спеціальний прут діаметром 12мм, вертикальні заземлювачі мають довжину 2,5м, розташовуються вони на відстані двох довжин один від одного, тобто 5м. З'єднання вертикальних заземлювачів між собою виконуються таким же прутом діаметром 12мм.

Вертикальні заземлювачі занурюють в ґрунт в канаві глибиною 0,5м. З'єднання вертикальних і горизонтальних заземлювачів виконується за допомогою електрозварювання. Для проведення подальших обчислень визначаємо питомий опір ґрунту в районі Бортнянського підприємства «РАЙАГРОПРОМСЕРВІС».

$$\rho = 1.9 \times 10^4 \text{ Ом/см}$$

Обчислюємо величину опору одного вертикального заземлювача за формулою.

$$R_{o.z} = \frac{0,366}{\ell} \times \rho \left( \ell g \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \ell g \frac{4t + \ell}{4t - \ell} \right), \text{ Ом}$$

де,  $\rho$  – питомий опір ґрунту,

L – довжина стержня - 250м

									Лист
									101
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата					

d – діаметр стержня - 1,2 см

t – глибина закладки середини стержня від поверхні ґрунту – 175см.

$$R_{o.з} = \frac{0,366}{250} \times 1,9 \times 10^4 \left( \ell g \frac{2 \times 250}{1,2} + \frac{1}{2} \ell g \frac{4 \times 175 + 250}{4 \times 175 - 250} \right) = 79,19 \text{ Ом}$$

Визначаємо орієнтовано кількість вертикальних заземлювачів.

$$n = \frac{R_{o.з}}{4} = \frac{79,19}{4} = 19,6 \text{ шт}$$

З міркування симетрії формули контуру приймаю n = 20 шт. виходячи з цього обчислюємо довжину горизонтального заземлювача.

$$L = 2\ell(n - 2) = 2 \times 2,5 \times 18 = 90 \text{ м}$$

Обчислюємо загальний опір всіх вертикальних заземлювачів

$$R_{в.з} = \frac{R_{o.з}}{n \times \eta} ; \text{ де } \eta - \text{ коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів,}$$

$$\eta = 0,75$$

$$R_{в.з} = \frac{79,219}{20 \times 0,75} = 5,28 \text{ Ом}$$

Обчислюємо опір горизонтальних заземлювачів

$$R_{г.з} = \frac{0,366}{L} \rho \ell g \frac{L^2}{dt} = \frac{0,366}{9000} 1,9 \times 10^4 \ell g \frac{9000^2}{1,2 \times 50} = 4,7 \text{ Ом}$$
 де, t – глибина канави,

$$t = 50 \text{ см.}$$

Обчислюємо опір горизонтального заземлювача з урахування коефіцієнта використання  $\eta_g = 0,75$

$$R_{г.з} = \frac{R'_{г.з}}{\eta_g} = \frac{4,7}{0,75} = 6,4 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір всього контуру заземлення

$$R_k = \frac{R_{в.з} \times R_{г.з}}{R_{в.з} + R_{г.з}} = \frac{5,3 \times 6,4}{5,3 + 6,4} = 2,9 \text{ Ом}$$

Отже так як з економічних міркувань опір малий, я зменшую кількість вертикальних заземлювачів на чотири штуки n = 16шт

$$L = 2\ell(n - 2) = 2 \times 2,5 \times 14 = 70 \text{ м}$$

$$R_{в.з} = \frac{R_{o.з}}{n \times \eta} = \frac{79,2}{16 \times 0,75} = 6,59 \text{ Ом}$$

					MP.5.8.141.041.ПЗ	Лист
						102
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

$$R_{z,3} = \frac{0.366}{7000} 1.9 \times 10^4 \lg \frac{49000000}{60} = 5.6 \text{ Ом}$$

$$R_{z,3} = \frac{R'_{z,3}}{\eta_z} = \frac{5.6}{0.75} = 7.77 \text{ Ом}$$

$$R_k = \frac{6.6 \times 7.77}{6.6 + 7.77} = 3.44 \text{ Ом}$$

Отже опір контуру заземлення задовольняє вимоги.

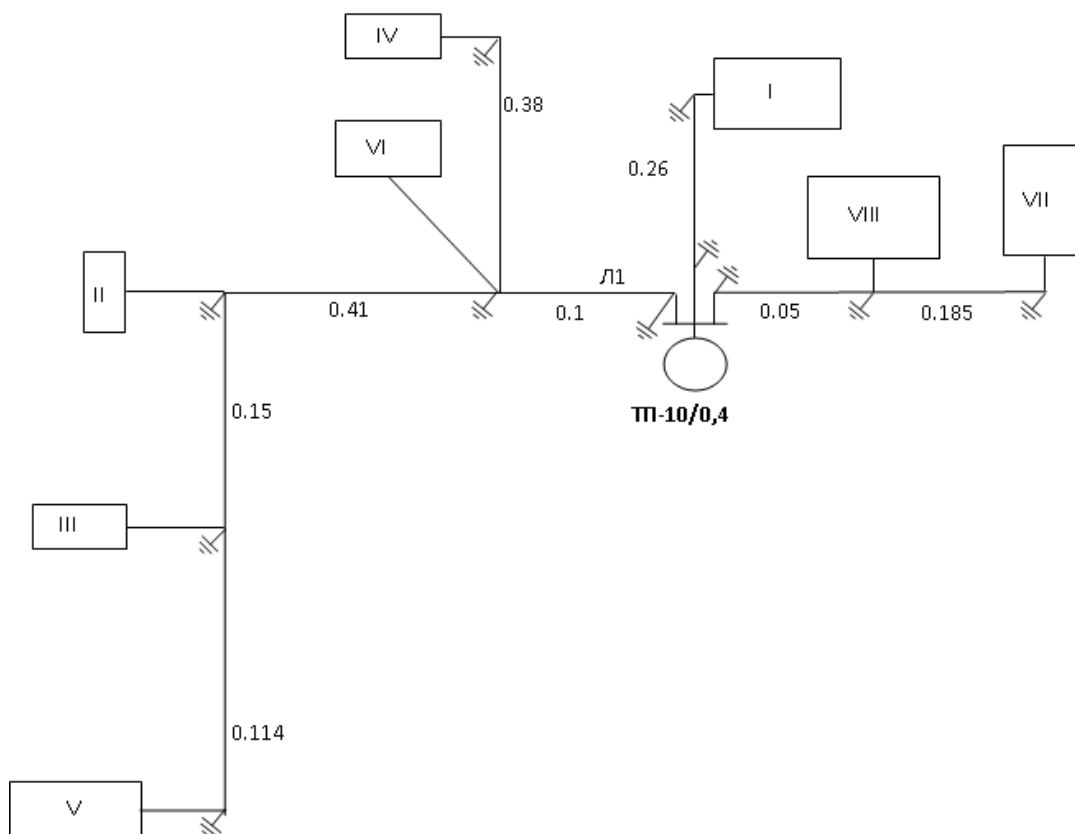


Рис. 4.2 Розрахункова схема мережі напругою 0,38 кВ

Розташовуємо повторні заземлювачі:

- 1) на кінцях повітряних ліній або відгалужень;
- 2) на вводах у виробничі приміщення;
- 3) за умовами захисту від перенапруг:

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

MP.5.8.141.041.ПЗ

Лист

103

#### 4.4 Блискавкозахист ремонтної майстерні

Приміщення ремонтної майстерні за класифікацією [1] відносяться до класу П-Па та згідно з чинними нормативними матеріалами<sup>1</sup> підлягають блискавкозахисту за III-ю категорією. Як будівля, ПТО і РЕО відноситься до II-го ступеню вогнестійкості.

Захист від прямих ударів блискавки виконується блискавкоприймальною сіткою, розміщеною на даху будівлі. Такий тип блискавкозахисту застосовується для будівель з плоским дахом, довжина яких не перевищує 25м. Конструктивне виконання блискавкозахисту (рис 4.4) передбачає площу чарунок сітки не більше 150 м<sup>2</sup>. Блискавкоприймальна сітка виконана із сталюого дроту діаметром 6 мм. Сітка сполучується струмовідводами із заземлювачами, виконаними з круглої сталі діаметром 10 мм та з'єднаними сталююю штабою розмірами 4х40мм

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						104
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



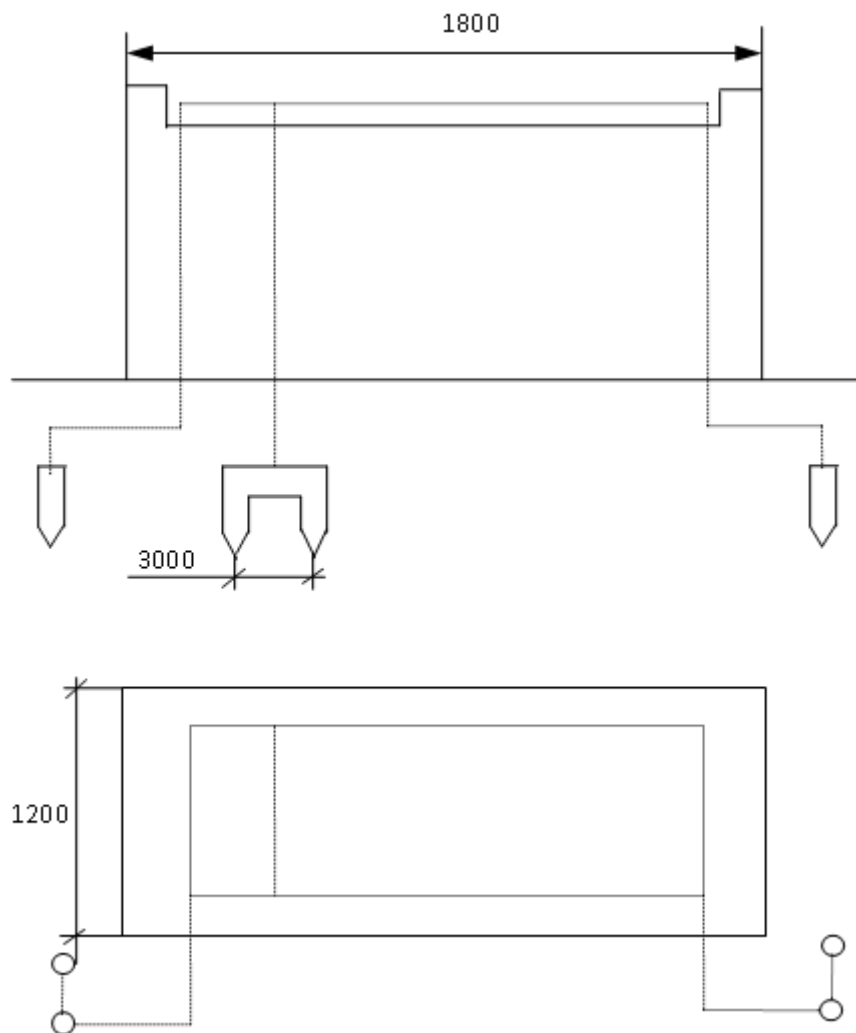


Рис. 4.4 Конструктивне виконання блискавкозахисту

#### 4.5 Пожежна безпека

Виробничі приміщення ремонтної майстерні за вибухо- та пожежонебезпекою відносяться до класу П-Па (за винятком двох діляниць класу П-Іа), проводимо його аналіз з точки зору пожежобезпеки. Причиною спалаху може стати поява відкритого вогню в приміщеннях при збільшенні концентрації лакофарбних парів, парів бензину та розчинників. Заходи по забезпеченню пожежної безпеки передбачають на ділянках фарбування, просочування та сушіння 4 пожежних крана та пожежну сигналізацію. Необхідна витрата води для потреб внутрішнього пожежегасіння - 5 л/с.

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						105
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

Розрахункова втрата води на внутрішнє пожежегасіння виконується від водопровідної мережі.

Пожежна сигналізація забезпечена приладом "Сигнал-31" (СТУ 25.15.555-73) з повідомлювачами типу ДТЛ чи ЛПС-038.

Таблиця 4.5 Кількість пожежного інвентарю

Найменування пристроїв та засобів захисту	Тип	Місце становлення	Кількість
Вогнегасник	ОХП-10 ОУ-5	Ділянки фарбування, просочування та сушіння	2
Ящик з піском		Ділянка заготівлі конструкцій	1
Пожежний щит:			1
відро			2
лопата			1
сокира			1
багор			1
вогнегасник	ОХП-10	Біля контрольного входу	1

## 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВЄКРП АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ РЕМОНТНОЇ МАЙСТЕРНІ

Економічний ефект від використання асинхронних електродвигунів з внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності в електроприводі робочих машин досягається за рахунок підвищення енергетичних показників двигунів, чим зумовлюється зменшення втрат активної електроенергії як у самому двигуні так і у мережі, а також зниження плати за перетоки реактивної електроенергії.

Споживачі електроенергії вносять плату за спожиту активну електроенергію і втрати у споживчій мережі до точки обліку згідно з діючими тарифами. При використанні внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності асинхронних двигунів втрати активної електроенергії в обмотці статора двигуна зменшуються на 8-10%, а у мережі живлення - на 20-25%, відповідно зменшується плата за спожиту активну електроенергію.

Як визначено діючою методикою розрахунків плати за перетоки реактивної електроенергії між електропостачальною організацією та її споживачами користувачі електричної енергії мають вносити плату за споживання і генерацію реактивної електроенергії. Величина плати визначається трьома складовими:

$$П = П1 + П2 - П3,$$

де  $П1$  - основна плата за споживання і генерацію реактивної електроенергії;

$П2$  - надбавка за недостатнє оснащення електричної мережі споживача засобами компенсації реактивної потужності (КРП);

$П3$  - знижка плати за споживання і генерацію реактивної електроенергії у разі участі споживача в оптимальному добовому регулюванні режимів мережі

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист 107
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

енергопостачальної організації в розрахунковий період.

Основна плата за спожиту і генеровану реактивну електроенергію для споживачів визначається формулою:

$$П1 = \sum^n (wQ_{cn} + K \cdot wQ_2) \cdot D \cdot T, \text{ грн.},$$

де  $n$  - число точок розрахункового обліку реактивної енергії;

$wQ_{cn}$  - споживання реактивної енергії в точці обліку за розрахунковий період, квар·год;

$wQ_2$  - генерація реактивної енергії в мережу енергопостачальної організації в точці обліку за розрахунковий період, квар·год;

$K = 3$  - нормативний коефіцієнт урахування збитків енергопостачальної організації від генерації реактивної електроенергії з мережі споживача;

$D$  - економічний еквівалент реактивної потужності (ЕЕРП), що характеризує частку впливу реактивного перетоку в точці обліку на техніко-економічні показники в розрахунковому режимі, кВт/квар;

$T$  - середня вартість активної електроенергії за розрахунковий період, грн/кВт·год.

Значення ЕЕРП, базового коефіцієнта стимулювання капітальних вкладень в засоби КРП і коефіцієнта збитків від генерації реактивної потужності із мережі споживача обумовлюються Договором на поставку електроенергії (ДПЕ).

Надбавка за недостатнє оснащення електричної мережі споживача засобами компенсації реактивної потужності визначається формулою:

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						108
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

$$П2 = П1 \cdot C_{баз} (K_{\varphi} - 1), \text{ грн.}, \quad (5.1)$$

де  $П1$  - сумарна основна плата;

$C_{баз}$  - нормативне базове значення коефіцієнта стимулювання капітальних вкладень в засоби КРП в електричних мережах споживача;

$K_{\varphi}$  - коефіцієнт, що вибирається з Методики розрахунку плати за споживання і перетоки реактивної потужності залежно від фактичного коефіцієнта реактивної потужності споживача  $tg\varphi$  в середньому за розрахунковий період.

У таблицях цієї Методики введено зони нечутливості надбавки до споживання реактивної потужності, які обмежені значеннями коефіцієнтів потужності:

- для промислових та приватних до них споживачів, залізничного і міського електротранспорту -  $\cos\varphi_2 = 0,97$  ( $tg\varphi_2 = 0,25$ );
- для непромислових, у тому числі сільськогосподарських, споживачів -  $\cos\varphi_2 = 0,8$  ( $tg\varphi_2 = 0,75$ ).

Надбавка починає діяти, якщо фактичний коефіцієнт потужності менший наведених значень  $\cos\varphi_2$ .

Фактичний коефіцієнт потужності споживача в середньому за розрахунковий період визначається формулою:

$$tg\varphi = \frac{wQ_{cn}}{wP},$$

де  $wP$  - споживання активної електроенергії за розрахунковий період, кВт·год;

$wQ_{cn}$  - споживання реактивної електроенергії за той же період, квар·год.

Знижка плати за споживання та генерацію реактивної електроенергії можлива за умов достатнього оснащення електричної мережі споживача засобами КРП, наявності зонного обліку спожитої і генерованої електроенергії, виконання споживачем обумовленого енергопостачальною організацією добового графіка споживання і генерації електроенергії та наявності його оперативного

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		109

контролю. Графіки споживання і генерації та розміри знижки обумовлюються в ДПЕ.

Застосування внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності асинхронних двигунів забезпечує зменшення споживаної асинхронним двигуном реактивної електроенергії та зниження плати за її перетоки.

Вихідні дані для визначення економічної ефективності використання ВСКРП асинхронних двигунів ремонтної майстерні наведені у табл. 6.1. Приймаємо точку обліку енергії на шинах нижчої напруги споживчої трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ.

Потужність споживана окремим двигуном становить:

$$\text{активна } P_{li} = \frac{P_{ni}}{\eta_{ni}} \cdot k_{zi}, \text{ кВт; реактивна } Q_{li} = Q_{xxi} + \left[ \frac{P_{ni}}{\eta_{ni}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ni} - Q_{xxi} \right] \cdot k_{zi}^2, \text{ квар,}$$

де  $P_{ni}$  - номінальна потужність і-го двигуна, кВт;

$\eta_{ni}$  - номінальний коефіцієнт корисної дії і-го двигуна;

$k_{zi}$  - коефіцієнт завантаження і-го двигуна;

$$Q_{xxi} = \frac{P_{ni}}{\eta_{ni}} \cdot \left[ \operatorname{tg} \varphi_{ni} - \frac{1}{1,25 \cdot k_{zi} - \operatorname{tg} \varphi_{ni}} \right] - \text{реактивна потужність холостого ходу і-го}$$

двигуна, квар;

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для визначення ефективності ВСКРП асинхронних двигунів ремонтної майстерні

№ п/п	Тип	$P_n$ , кВт	$I_n$ , А	$\cos \varphi_n$	$\eta_n$ , %
1	2	3	4	5	6
1	АИР80В2У3	2,2	4,7	0,87	83
2	АИР71В6У3	0,55	1,74	0,71	67,5
3	АИР132S4У3	7,5	15,1	0,86	87,5

4	АИР132S4У3	7,5	15,1	0,86	87,5
5	АИР71А4У3	1,1	1,7	0,7	70,5
6	4АК250М6У3	0,37	1,1	0,87	90,5
7	АИР63В6У3	0,37	1,2	0,69	68
8	АИР56В2У3	0,25	0,74	0,77	68
9	АИР71В6У3	0,55	1,74	0,71	67,5
10	АИР90L2У3	2,2	5	0,8	83
11	АИР100S4У3	3	6,7	0,85	82
12	АИР132S4У3	7,5	15,1	0,86	87,5
13	АИР132S4У3	7,5	15,1	0,86	87,5
14	АИР132М6У3	7,5	16,5	0,81	85,5
15	АИР71В2У3	1,1	2,5	0,85	77,5
16	АИР100L4У3	4	8,6	0,84	84
17	АИР56В2У3	0,18	0,66	0,64	64
18	АИР112М4У3	5,5	11,5	0,85	85
19	АИР112М4У3	5,5	11,5	0,85	85
20	АИР71В6У2	0,55	1,74	0,71	67,5
21	АИР80В2У2	1,1	3,05	0,74	74
22	АИР100L4У3	2,2	5,65	0,76	81
23	АИР100L4У3	2,2	5,65	0,81	83
24	АИР80А4У3	1,1	2,75	0,75	81
25	АИР56А4У3	0,12	0,44	0,66	63
26	АИР100L4У3	2,2	5,65	0,81	83
27	АИР63А4У3	0,25	0,85	0,63	68

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

MP.5.8.141.041.ПЗ

Лист

111

28	АИР71А4У3	0,55	1,69	0,7	70,5
29	АИР71А4У3	0,55	1,69	0,7	70,5
30	АИР80А6У3	0,75	2,26	0,72	70
31	АИР71А4У3	0,55	1,69	0,7	70,5
32	АИР71В4У3	0,75	2,14	0,73	73
33	АИР71В6У3	0,55	1,74	0,7	68
34	АИР71А6У3	0,37	1,31	0,65	65
35	АИР56В2У3	0,37	1,26	0,86	64
36	АИР80А6У3	0,55	2,26	0,72	80
37	АИР63А4У3	0,25	0,83	0,67	68
38	АИР71В4У3	0,75	2,17	0,73	72
39	АИР80А4У3	1,1	2,75	0,81	75
40	АИР71А4У3	0,75	2,17	0,73	72
41	АИР71А4У3	0,55	1,69	0,7	70,5

Потужність, споживана усіма двигунами ремонтної майстерні, дорівнює:

$$\text{активна } P_1 = \sum_{i=1}^{21} P_{i1}, \text{ кВт}; \quad \text{реактивна } Q_1 = \sum_{i=1}^{21} Q_{i1}, \text{ квар.}$$

Сумарні втрати активної потужності у провідниках живлення двигунів обчислюються за формулою:

$$\Delta P_{np} = 3 \sum_{i=1}^{21} \left( \frac{P_{ni} \cdot \frac{k_{ni}}{\eta_{ni}}}{\sqrt{3} U_n} \right)^2 \cdot R_{npi}, \text{ кВт.}$$

Потужність на ввіді у ремонтну майстерню дорівнює:

$$\text{активна } P_g = P_1 + \Delta P_{np}, \text{ кВт}; \quad \text{реактивна } Q_g = Q_1, \text{ квар.}$$



повна  $S_{\epsilon} = \sqrt{P_{\epsilon}^2 + Q_{\epsilon}^2}$ , кВА.

Струм на вводі у ремонтну майстерню складає:  $I_{\epsilon} = \frac{S_{\epsilon}}{\sqrt{3}U_n} \cdot 10^3$ , А.

Втрати у провідниках вводу (від опори до розподільчого щита майстерні) становлять:

$$\Delta P_{\epsilon} = 3 \cdot I_{\epsilon}^2 \cdot R_{\epsilon} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт},$$

де  $R_{\epsilon}$  - опір провідників вводу, Ом.

Втрати у лінії (від підстанції до майстерні) складають:

$$\Delta P_l = 3 \cdot I_{\epsilon}^2 \cdot R_l \cdot 10^{-3}, \text{ кВт},$$

де  $R_l$  - опір лінії, Ом.

Отже, сумарна споживана асинхронними двигунами майстерні потужність становить:

$$P_{\text{сум}} = P_1 + P_{\epsilon} + P_l, \text{ кВт}.$$

Середній час роботи асинхронних двигунів ремонтної майстерні за добу буде становити 5,2 год., а за рік –  $5,2 \cdot 365 = 1861$  год.

Таким чином, річне споживання електроенергії асинхронними двигунами ремонтної майстерні становитиме:

активної  $wP = P_{\text{сум}} \cdot 1861$ , кВт·год; реактивної  $wQ = Q_1 \cdot 1861$ , квар·год.

Коефіцієнт потужності майстерні визначається за формулою:

$$\cos \varphi = \frac{wP}{\sqrt{wP^2 + wQ^2}}.$$

Плата за спожиту асинхронними двигунами майстерні активну електроенергію становить:

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						113
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

$$P_a = wP \cdot T, \text{ грн.},$$

де  $T = 0,33$  - середня вартість активної електроенергії за розрахунковий період, грн/(кВт·год).

Розраховуючи плату за перетоки реактивної електроенергії приймаємо  $Q_2 = 0$ , оскільки генерація реактивної електроенергії у мережу електропостачальної організації в точці обліку за розрахунковий період відсутня. У відповідності із Методикою для низьковольтної розподільчої мережі економічний еквівалент реактивної потужності буде рівним  $D = 0,125$  кВт/квар.

Результати розрахунку ефективності застосування внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності асинхронних двигунів зведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Результати розрахунку ефективності внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності асинхронних двигунів ремонтної майстерні

Показник	Без ВСКРП (1-й варіант)	З ВСКРП (2-й варіант)
Споживана асинхронними двигунами активна потужність, кВт	489,3	482,2
Споживана асинхронними двигунами реактивна потужність, квар	320,7	158,5
Втрати активної потужності у провідниках живлення двигунів, кВт	0,945	0,688
Загальний струм споживаний асинхронними двигунами, А	90,19	79,04
Коефіцієнт потужності рем. майстерні		
Втрати активної потужності у		

провідниках ввода, кВт	0,66	0,95
Втрати активної потужності у мережі живлення (до ТП), кВт	0,775	0,587
Загальне споживання активної електроенергії за розрахунковий період, тис. кВт·год	2,73	1,84
Загальне споживання реактивної електроенергії, тис. квар·год	99,37	95,62
Плата за спожиту активну електроенергію, грн.	59,67	29,5
Основна плата за споживання і генерацію реактивної електроенергії, грн.	17621	16811
Надбавка за недостатнє оснащення електричної мережі споживача засобами КРП, грн.	2523	654
Плата за споживання і генерацію реактивної електроенергії, грн.	488	0
Загальна плата за спожиту електроенергію, грн.	3010	653
	20632	17451

При проведенні розрахунку не враховувалось зменшення втрат активної електроенергії у трансформаторній підстанції та мережі від точки обліку до джерела живлення.

Величину загального економічного ефекту від впровадження внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності асинхронних двигунів майстерні у точних цифрах визначити досить складно, проте можна твердити про

економічну доцільність її застосування. Якщо при річному обсязі ремонту 20% парку електродвигунів у сільськогосподарському виробництві проводити їх модернізацію із використанням внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності, то вже через декілька років можна підвищити енергетичні показники та знизити рівень реактивної потужності значної частини двигунів при мінімальному збільшенні собівартості ремонту. Крім того за рахунок зменшення реактивного струму асинхронного двигуна, як основного споживача реактивної потужності у сільськогосподарському виробництві, значно знизиться потреба у встановленні нових компенсуючих пристроїв у електричних мережах споживачів електроенергії.

Модернізацію асинхронних електродвигунів доцільно проводити при капітальному ремонті оскільки технологія ремонту із застосуванням внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності максимально наближена до існуючої. Додаткові витрати, які необхідні для придбання і встановлення конденсаторів, будуть виправдані зменшенням плати за спожиту електроенергію за рахунок підвищення енергетичних показників асинхронних електродвигунів.

Розрахунки (табл. 7.2) показують, що при використанні ВЄКРП асинхронних електродвигунів ремонтної майстерні річне споживання активної електроенергії зменшується на 3760 кВт·год (на 3,7%) і становитиме 95600 кВт·год, також суттєво знизиться споживання реактивної електроенергії з 59660 квар·год до 29490 квар·год (на 50,5%).

Транспортні втрати активної потужності у мережі живлення (від двигунів до шин нижчої напруги трансформаторної підстанції) зменшуються на 33% і становитимуть 1,8 кВт.

Основна плата за споживання і генерацію реактивної електроенергії асинхронними двигунами майстерні зменшиться з 2522 грн. до 653 грн., тобто на 1869 грн. (на 74%).

Оскільки у разі відсутності ВЄКРП асинхронних двигунів коефіцієнт потужності майстерні становить 0,67, тобто менше гранично допустимого

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						116
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$\cos \varphi_2 = 0,8$ , то буде встановлюватись надбавка за недостатнє оснащення електричної мережі споживача засобами КРП у сумі 489 грн. Із використанням внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності асинхронних двигунів коефіцієнт потужності ремонтної майстерні зросте до 0,91, перевищуючи поріг зони нечутливості надбавки до плати за споживання реактивної потужності, відповідно додаткова плата за споживання і генерацію реактивної електроенергії зникне.

Розрахунками встановлено, що за рахунок використання ВЄКРП асинхронних двигунів ремонтної майстерні загальна річна плата за спожиту електроенергію зменшиться на 3178 грн. (15,4%).

При реалізації внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності асинхронних двигунів питома величина компенсуючої ємності у одній фазі становить  $C_1=8-10\text{мкФ}$  на 1 кВт номінальної потужності двигуна, а для трьох фаз  $C_3=3C_1=24\text{мкФ/кВт}$ .

За сумарної потужності асинхронних двигунів ремонтної майстерні  $\sum P_{ni}=67,92$  кВт загальна величина компенсуючих ємностей становить  $\sum C=C_3 \cdot \sum P_{ni}=1630$  мкФ.

За цінами 2019-го року питома вартість паперових конденсаторів для змінного струму номінальної напругою 400 В становить 0,6 грн/мкФ, тому сумарна вартість  $B$  компенсуючих ємностей для двигунів майстерні становить:

$$B=0,6\sum C=0,6 \cdot 1630=978 \text{ грн.}$$

Із розрахункових даних табл. 7.2 видно, що за рахунок використання внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності асинхронних двигунів питома споживана реактивна потужність, що припадає на 1 кВт номінальної потужності зменшується на:

$$Q_{II} = \frac{\sum \Delta Q}{\sum P_{ni}} = \frac{15.85}{67.92} = 0.24 \text{ квар/кВт.}$$

При використанні асинхронних двигунів з внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності для приводу робочих машин ремонтної

										Лист
										117
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>					

майстерні річна плата за спожиту електроенергію зменшується на 3178 грн., що у перерахунку на 1 кВт номінальної потужності двигунів становить 46,8 грн.

Отримані результати підтверджують економічну доцільність використання внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності асинхронних двигунів для підвищення їх енергетичних показників та зменшення плати за споживання активної та реактивної електроенергії.

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
						118
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ВИСНОВОК

У даній магістерській роботі проведено розрахунок і комплектацію новим електрообладнанням ремонтної майстерні.

Також детально було розглянуто питання розробки технології модернізації асинхронних двигунів з використанням внутрішньої ємнісної компенсації реактивної потужності.

Застосування асинхронних електродвигунів із внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності у ремонтній майстерні дозволяє:

- зменшити плату за спожиту електричну енергію, що використовується на виробничі потреби у ремонтній майстерні.
- зменшити плату за перетоки реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та ремонтною майстернею.

					<i>MP.5.8.141.041.ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		119

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Електричні мережі та системи. Підручник.Сегеда М.С. / Третє видання,доповнене та перероблене. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 540 с. ISBN 978-617-607-831-9
- 2 Електричні системи та мережі : конспект лекцій / укладачі: І. Л. Лебединський, В. І. Романовський, Т. М. Загородня. – Суми: Сумський державний університет, 2018.– 214 с.
- 3 3202 Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему „Розрахунок замкнутої електричної мережі” з курсу „Електричні системи та мережі” / укладачі: І. Л. Лебединський, С. М. Лебедка, В. І. Романовський, В. В. Волохін. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 40 с
- 4 Правила улаштування електроустановок - 5-те вид., переробл. й доповн. – Харьков, Форт, 2014. – 782 с.
- 5 Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. / С.С. Ананичева, А.Л. Мызин, С.Н. Шелюг. ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005. - 52  
<http://www.energyland.info/files/library/487586c140e2946c28be316bcbd800a3.pdf>
- 6.Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні. Навчальний посіб-ник. Лук’яненко Ю.В., Остапчук Ж.І., Кулик В.В. / Вінниця: ВДТУ, 2002.–116 с.
- 7.<http://kulykvv.vk.vntu.edu.ua/file/posibn/cf207246a5ffede8257f5b865a7b69>
- 8.СОУ-Н ЕЕ 40.1-37471933-54:2011. Визначення технологічних витрателектричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання. Київ. Міністерства енергетики та вугільної промисловості України № 399 від 21.06.2013.
9. <http://www.belenergo.by/transformers/nami35.htm>
- 10.[http://ptd.siemens.ua/ru/products/relay\\_defence/currentProtection/7SJ600](http://ptd.siemens.ua/ru/products/relay_defence/currentProtection/7SJ600).

										Лист
										120
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата						

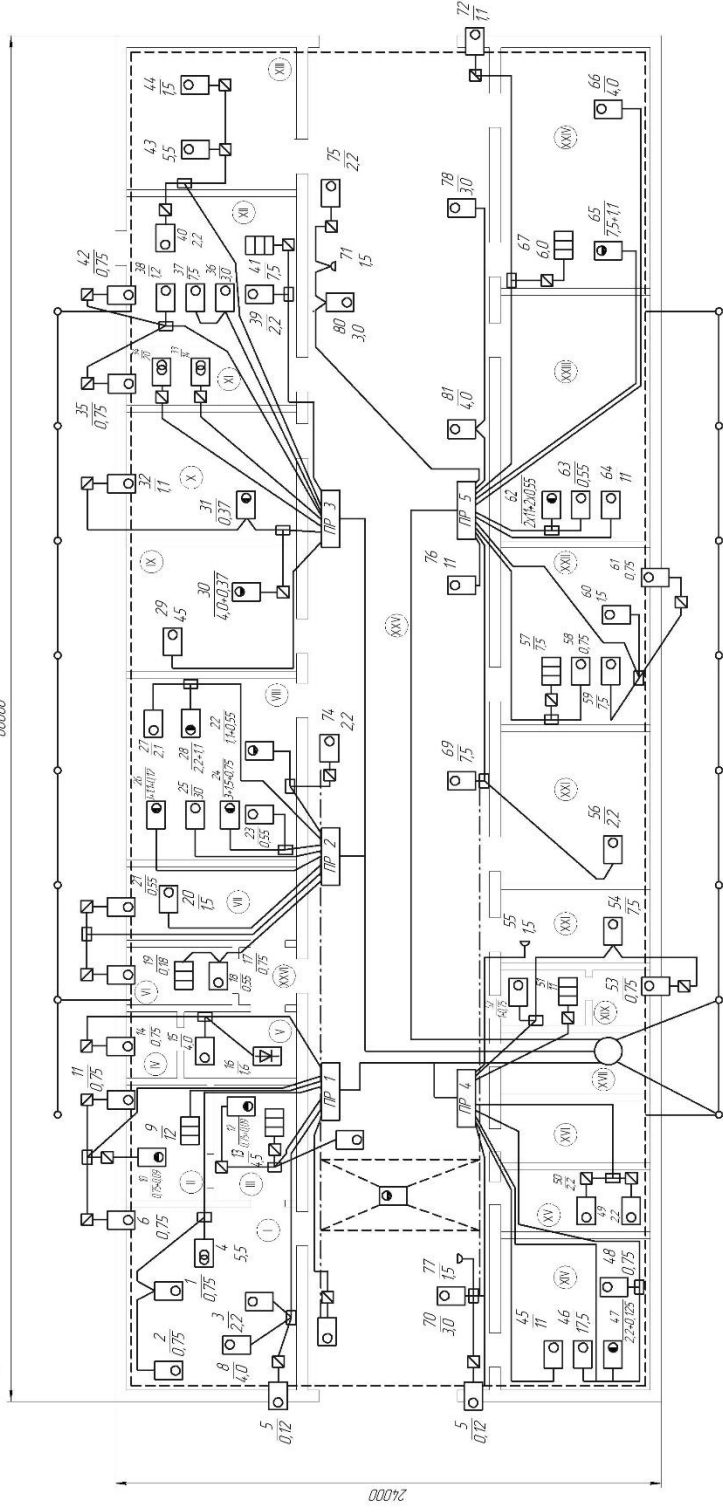
MP.5.8.141.041.ПЗ



11. Чернобровов Н.В. Релейная защита: Учебное пособие для учащихся энергетических и энергостроительных техникумов. – М.: Энергия, 1971.-615с.
12. Голота А.Д., Хлистов В.М. Методичні вказівки, для виконання лабораторних робіт з релейного захисту та автоматики енергосистем. – К.: НТУУ «КПІ».-1996.
13. Копьев В., Релейная защита. Вопросы проектирования // Ученик ЭЛТИ. – Томск.- 2005.- 107с.
14. Правила устройства электроустановок. Издание 6,7. – К.,2007.- 760с.
15. Долин П.А. Основы техники безопасности в электрических установках. - М.: Энергоатомиздат, 1984. -484 с.
16. Методичні вказівки до лабораторної роботи ОПЕ-3 «Випробування ізоляції електроустановок» (для студентів електротехнічних спеціальностей)  
Укладач Р.В. Сабарно. – К.: НТУУ «КПІ», 2005. -26с.
17. Электродвигатели асинхронные. АИР71 – АИР100; АИС80 – АИС112.  
техническое описание и инструкция по эксплуатации. М.: Внешторгиздат, 1990. – 62с.
18. Зимин Е.Н. Защита асенхронных двигателей до 500 В.- М.: Энергия, 1973

МР.5.8.14.104.1ГЧ

60000



24000

Электроснабжение

Электроснабжение

Позиция	Наименование	Кол-во	Примечание
1	Емкостной конденсатор	1	
2	Индуктивный конденсатор	1	
3	Индуктивный конденсатор	1	
4	Индуктивный конденсатор	1	
5-6	Индуктивный конденсатор	2	
7	Индуктивный конденсатор	1	
8	Индуктивный конденсатор	1	
9	Индуктивный конденсатор	1	
10	Индуктивный конденсатор	1	
11	Индуктивный конденсатор	1	
12	Индуктивный конденсатор	1	
13	Индуктивный конденсатор	1	
14	Индуктивный конденсатор	1	
15	Индуктивный конденсатор	1	
16	Индуктивный конденсатор	1	
17	Индуктивный конденсатор	1	
18	Индуктивный конденсатор	1	
19	Индуктивный конденсатор	1	
20	Индуктивный конденсатор	1	
21	Индуктивный конденсатор	1	
22	Индуктивный конденсатор	1	
23	Индуктивный конденсатор	1	
24	Индуктивный конденсатор	1	
25	Индуктивный конденсатор	1	
26	Индуктивный конденсатор	1	
27	Индуктивный конденсатор	1	
28	Индуктивный конденсатор	1	

IX	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
X	Степень выпрямления регулируемого блока	1	
XI	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XII	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XIII	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XIV	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XV	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XVI	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XVII	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XVIII	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XIX	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XX	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XXI	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XXII	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XXIII	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XXIV	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XXV	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XXVI	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XXVII	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XXVIII	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XXIX	Частота выпрямления регулируемого блока	1	
XXX	Частота выпрямления регулируемого блока	1	

XXII	Индуктивный конденсатор	1	
XXIII	Индуктивный конденсатор	1	
XXIV	Индуктивный конденсатор	1	
XXV	Индуктивный конденсатор	1	
XXVI	Индуктивный конденсатор	1	
XXVII	Индуктивный конденсатор	1	
XXVIII	Индуктивный конденсатор	1	
XXIX	Индуктивный конденсатор	1	
XXX	Индуктивный конденсатор	1	
XXXI	Индуктивный конденсатор	1	
XXXII	Индуктивный конденсатор	1	
XXXIII	Индуктивный конденсатор	1	
XXXIV	Индуктивный конденсатор	1	
XXXV	Индуктивный конденсатор	1	
XXXVI	Индуктивный конденсатор	1	
XXXVII	Индуктивный конденсатор	1	
XXXVIII	Индуктивный конденсатор	1	
XXXIX	Индуктивный конденсатор	1	
XXXX	Индуктивный конденсатор	1	
XXXXI	Индуктивный конденсатор	1	
XXXXII	Индуктивный конденсатор	1	
XXXXIII	Индуктивный конденсатор	1	
XXXXIV	Индуктивный конденсатор	1	
XXXXV	Индуктивный конденсатор	1	
XXXXVI	Индуктивный конденсатор	1	
XXXXVII	Индуктивный конденсатор	1	
XXXXVIII	Индуктивный конденсатор	1	
XXXXIX	Индуктивный конденсатор	1	
XXXXX	Индуктивный конденсатор	1	

Примечание: марки, перерез, количество проводов  
силы: 100В, 220В, 380В, 660В, 1100В  
по ремонту техники  
графичной части

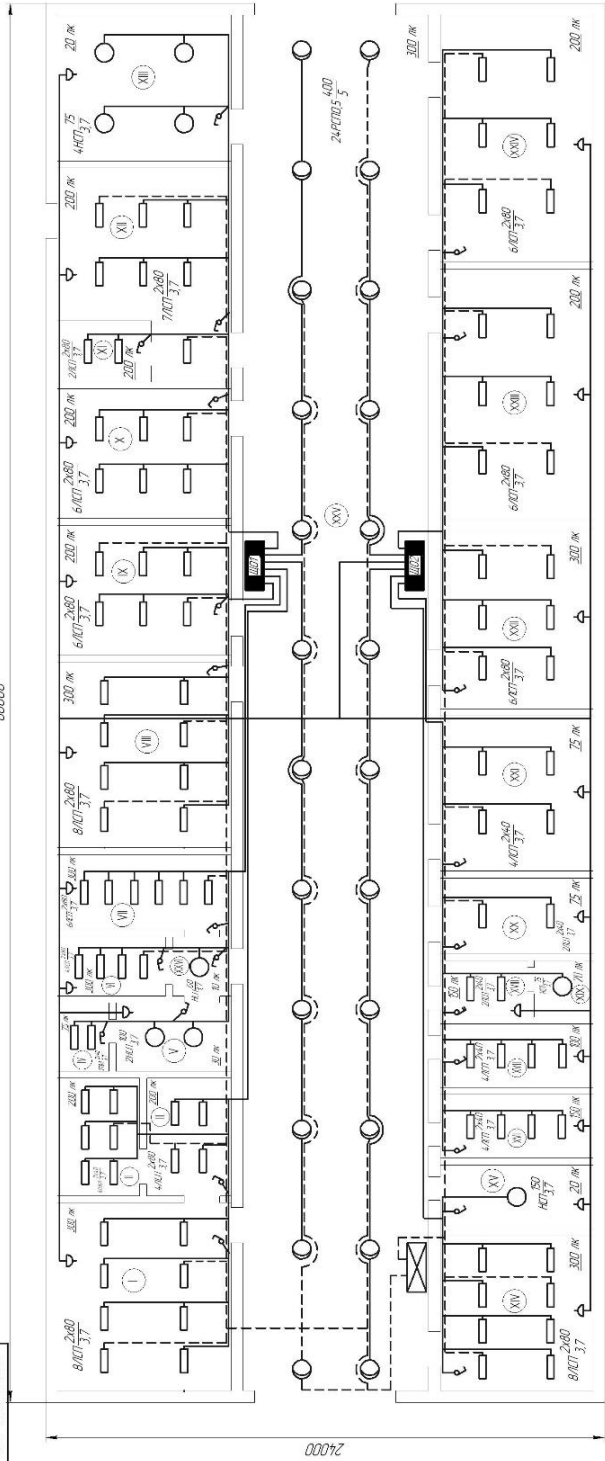
МР.5.8.14.104.1ГЧ

№ п/п	№ документа	Дата	Исполнитель	Проверенный	Содержание
1					1000
2					1000
3					1000
4					1000
5					1000
6					1000
7					1000
8					1000
9					1000
10					1000
11					1000
12					1000
13					1000
14					1000
15					1000
16					1000
17					1000
18					1000
19					1000
20					1000
21					1000
22					1000
23					1000
24					1000
25					1000
26					1000
27					1000
28					1000

Электроснабжение

МР 58.14.104.1.ГЧ

60000

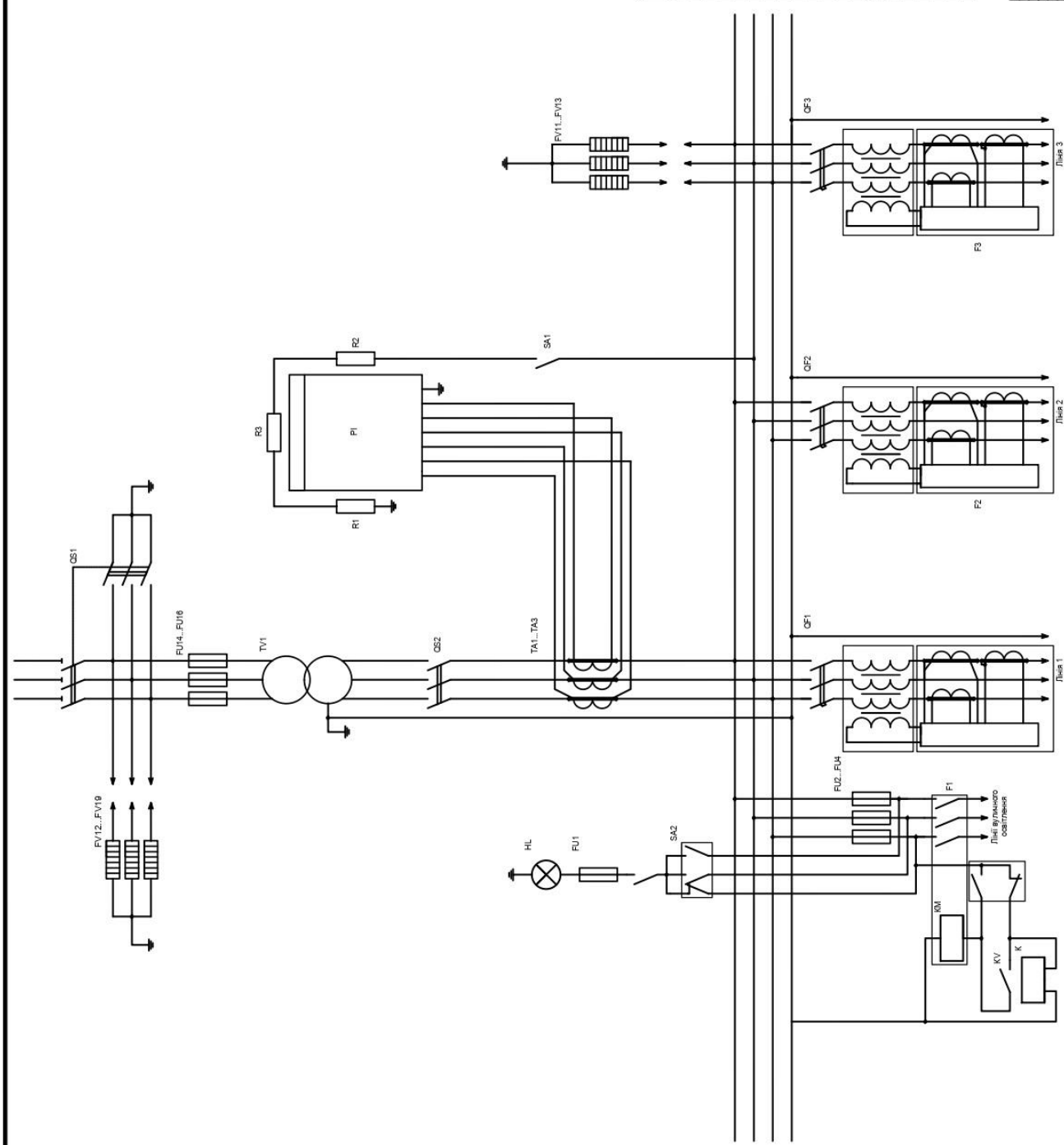


№ п/п	Наименование помещения
I	Электроцех
II	Участок прокатки и проковки
III	Участок сушки
IV	Кислород
V	Участок зарядки и заряжения аккумуляторов
VI	Вулканизационный цех
VII	Участок ремонта гидравлических аппаратов
VIII	Участок металлопечи и ремонта двигателей
IX	Участок регулирования и доработки двигателей
X	Металло-жестяной участок
XI	Зарядный участок
XII	Кузнца
XIII	Вентиляционная камера
XIV	Сварочно-металлический цех
XV	Вентиляционная камера
XVI	Кингтоп мастера
XVII	Трансформаторная
XVIII	Линия дробления
XIX	Дробилка
XX	Компрессорная
XXI	Склад
XXII	Инструментальный участок
XXIII	Участок ТО и диагностики
XXIV	Раздаточно-кислотный участок
XXV	Ремонтно-металлический цех
XXVI	Тандем

Адресат	Марка переадресации	Линия жилая	Раздаточный щит	№ п/п	Марка переадресации	Сечение жилы	Длина, м	Тип	Питание	Сетевые	Наименование помещения
A37165	4-А	АВ-3103-11029	Щит № 8	1	АВТ-2025	56	80	ЛПТН	80	ЛПТН	Электроцех
				2	АВТ-2025	69	40	ЛПТН	40	ЛПТН	Участок прокатки и проковки
				3	АВТ-2025	41	40	ЛПТН	40	ЛПТН	Участок сушки
				4	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Участок зарядки и заряжения аккумуляторов
				5	АВТ-2025	34	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Вулканизационный цех
				6	АВТ-2025	26	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Участок ремонта гидравлических аппаратов
				7	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Участок металлопечи и ремонта двигателей
				8	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Участок регулирования и доработки двигателей
				9	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Металло-жестяной участок
				10	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Зарядный участок
				11	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Кузнца
				12	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Вентиляционная камера
				13	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Сварочно-металлический цех
				14	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Вентиляционная камера
				15	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Кингтоп мастера
				16	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Трансформаторная
A37165	40	АВ-3103-11016	Щит № 13	1	АВТ-2025	56	80	ЛПТН	80	ЛПТН	Электроцех
				2	АВТ-2025	69	40	ЛПТН	40	ЛПТН	Участок прокатки и проковки
				3	АВТ-2025	41	40	ЛПТН	40	ЛПТН	Участок сушки
				4	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Участок зарядки и заряжения аккумуляторов
				5	АВТ-2025	34	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Вулканизационный цех
				6	АВТ-2025	26	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Участок ремонта гидравлических аппаратов
				7	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Участок металлопечи и ремонта двигателей
				8	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Участок регулирования и доработки двигателей
				9	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Металло-жестяной участок
				10	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Зарядный участок
				11	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Кузнца
				12	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Вентиляционная камера
				13	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Сварочно-металлический цех
				14	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Вентиляционная камера
				15	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Кингтоп мастера
				16	АВТ-2025	33	60	ЛПТН	60	ЛПТН	Трансформаторная

МР 58.14.104.1.ГЧ	Лист 1	Знак	Условий
1100			
СМ ДУ ЕТМД-01а			
Формат А1			

Листов: 1



Символ обозначения	Наименование	Кольч	Марка	Нормы данни
QF	Рубильник вводный	1	Р19	400А
QS1	Рубильник	1	РПН-10	400А
FU1	Забобинник	1	РПС-3	3А
FU2..FU4	Забобинник	3	РПС-25	25А
GF1..GF3	Автоматический выключатель	3	AE30	100А
FL1..FL3	Пробирки заземления	3	ЭТ-08/93	380/220В
FV11..FV13	Розетки	3	РН-0,5	380В
FV14..FV16	Забобинник	3	РКТ-10	10А
FV17..FV19	Забобинник	3	РКО-10	10А
TA1..TA3	Трансформатор тока	3	РТК-0,4	400В
TV1	Трансформатор напряжения	1	ТМ100	300,4-6
SA1	Выключатель	1	ТМ2А	220В
SA2	Переключатель	1	РКУ-3А	10А
K	Кнопка	1	КСК-6	100В
KM	Магнитный пускатель	1	ТМЕ-211	25А
PI	Лампочка	1	САУ-6/2	380В
R1..R2	Резистор	3	МТГ-10	1,0Ω
HL	Лампа	1	БСЗ-246	100Вт
KV	Реле напряжения	1	РН-10	100В
TV2	Трансформатор напряжения	1	НТС-0,5	до 500В

Лист		МЗС		МЗС/Д	
№	Итого	№	Итого	№	Итого
1	1	1	1	1	1

Принципиальная электрическая схема КТП-100/4-6

ИП: [ ] М: [ ] Д: [ ]

С.И.И. / В.И.И. / И.И.И.

МП 5.6.141.041.ГЧ