

**Войцицький А.П.  
Новосилецький Ю.Л.**

## **ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ**



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ  
КОЛЕДЖ**

**ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ТЕХНІЧНИЙ  
СЕРВІС ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ  
НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**

**ЖИТОМИР – 2023**

**УДК 621.38 (075.8)**

**ББК 31.2**

**В 51**

*Затверджено до друку методичною  
радою Житомирського агротехнічного  
фахового коледжу  
протокол № від 2023р.*

**Рецензенти:**

**Журавльов В.П.** – д.ф/м.н., професор кафедри вищої та прикладної математики Поліського національного університету;

**Ципоренко В.Г.** – к.т.н., доцент кафедри біомедичної інженерії та телекомунікації Державного університету «Житомирська політехніка»;

Діагностування та технічний сервіс електрообладнання навчальний посібник: / А. П. Войцицький, Ю.Л. Новосилецький – Житомир : ПНУ, 2023. – 175с.

Навчальний посібник «Діагностування та технічний сервіс електрообладнання» спрямований на здобуття умінь та знань для подальшого використанні у фаховій діяльності.

Навчальний посібник призначено для студентів які навчаються за освітньо-кваліфікаційним рівнем бакалавр спеціальності 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”.

© Войцицький А.П.  
© Новосилецький Ю.Л.  
© ПНУ, 2023

## **ЗМІСТ**

### **ВСТУП**

### **Частина 1 ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА**

### **ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ**

### **Розділ 1 ТЕХНІЧНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ**

#### **1.1 Загальні відомості**

#### **1.2 Діагностична термінологія**

#### **1.3 Основи технічного діагностування**

##### **1.3.1 Методи діагностування**

##### **1.3.2 Експлуатаційні показники електрообладнання**

#### **1.4 Методика дослідження показників діагностування електрообладнання**

##### **1.4.1 Ймовірність помилки діагностування**

##### **1.4.2 Ймовірність правильного діагностування й апостеріорна ймовірність помилки діагностування**

##### **1.4.3 Середня тривалість діагностування**

#### **1.5 Система управління технічним станом та місце контрольно-діагностичних робіт**

### **Розділ 2. НАДІЙНІСТЬ**

#### **2.1 Базове поняття надійності**

#### **2.2 Пошкодження та відмови. Класифікація відмов**

#### **2.3 Надійність технічних об'єктів**

##### **2.3.1 Показники надійності**

##### **2.3.2 Підвищення надійності**

##### **2.3.3 Основні фактори впливу на надійність**

##### **2.3.4 Інтенсивність відмов**

##### **2.3.5 Розрахунок надійності за експоненціальним розподілом**

### **Розділ 3 ЗАГАЛЬНІ АСПЕКТИ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ**

#### **3.1 Загальна інформація**

#### **3.2 Методи діагностування електрообладнання. Загальні відомості**

- 3.3 Технічне діагностування електрообладнання
- 3.4 Застосування методів прогнозування технічного стану електрообладнання. Загальні положення
- Розділ 4 ДІАГНОСТИКА ТРАНСФОРМАТОРНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ
- 4.1 Загальна інформація
- 4.2 Основні дефекти силових трансформаторів
- 4.3 Основні напрями діагностування силових трансформаторів
- 4.4 Діагностування трансформаторного масла
- 4.5 Оцінка зносу ізоляції силових трансформаторів

## Розділ 5 МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ЗМІННОГО ТА ПОСТІЙНОГО СТРУМІВ

- 5.1 Загальні відомості
- 5.2 Електроприводи з електромашинами змінного струму
- 5.3 Електроприводи з двигунами постійного струму
- 5.4 Електроприводи з синхронними двигунами
- 5.5 Характеристика експрес-методів діагностики асинхронних двигунів
  - 5.5.1 Діагностика асинхронного електроприводу за даними вимірів робочого режиму
  - 5.4.2 Метод контролю параметрів електричного двигуна на основі аналізу пускових струмів
  - 5.4.3 Аналіз параметричної несиметрії асинхронного двигуна в процесі експлуатації

## Розділ 6 ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ТА ЇХ ОБЛАДНАННЯ

- 6.1 Електричні мережі
- 6.2 Система моніторингу технічного стану розподільчих електричних мереж
- 6.3 Діагностика повітряних ліній
  - 6.3.1 Загальні відомості
  - 6.3.2 Діагностики стану опорно-стрижневих ізоляторів і

кераміки високовольтних вводів

6.3.3 Оцінки стану вентиляльних розрядників

6.3.4 Діагностика стану проводів

6.3.5 Дефектоскопія проводів і грозозахисних тросів повітряних ліній електропередачі

6.3.6 Тепловий метод діагностики повітряних ліній

6.3.7 Ультразвукова діагностика опор повітряних ліній

## Розділ 7 СУЧАСНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ

7.1 Розробка блок-схем алгоритмів діагностування

7.1.1 Графічне представлення алгоритмів діагностування

7.1.2 Вибір етапів діагностування електроустаткування

7.2 Моделювання компонентів електроустаткування

7.3 Мехатронні системи діагностування

7.4. Підготовка алгоритму пошуку несправностей і діагностики

7.5 Бінарні системи діагностики

## Частина 2 ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

### Розділ 1 ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС ПОСЛУГ

1.2 Основні завдання системи сервісу

1.3. Основні поняття та визначення теорії технічної експлуатації. Нормативна, технічна та експлуатаційна документація

1.3.1 Основні поняття та визначення теорії технічної експлуатації

1.3.2 Технічна та експлуатаційна документація

1.4 Організація технічного сервісу

### Розділ 2 ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ

2.1 Загальні питання технічного обслуговування

2.2 Організація технічного обслуговування

2.3. Єдина система технологічної документації

2.4 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

### Розділ 3 ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ТРАНСФОРМАТОРІВ

3.1 Загальні відомості

3.2 Випробування трансформаторів

- 3.3 Обслуговуванні масляного трансформатора
- 3.4 Обслуговування сухого трансформатора
- 3.5 Порядок проведення технічного обслуговування силового трансформатора

## Розділ 4 СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

- 4.1 Загальна інформація
- 4.2 Технічне обслуговування електричних мереж
- 4.3 Повітряні лінії електропередачі напругою 0,4-20 кВ, трансформаторні підстанції 6-20/0,4 кВ і розподільні пункти 6-20 кВ
  - 4.3.1 Загальні положення
  - 4.3.2 Експлуатаційне обслуговування електричних мереж напругою 0,4-20 кВ
  - 4.3.3 Капітальний ремонт ПЛ 0,4-20 кВ
  - 4.3.4 Капітальний ремонт ТП напругою 6-20/0,4 кВ та розподільних пунктів напругою 6-20 кВ

## Розділ 5 ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

- 5.1 Загальні відомості
- 5.2 Обсяг робіт по технічному обслуговуванню й ремонту електромашин
- 5.3 Обсяг робіт по технічному обслуговуванню й ремонту електромашин широкого застосування

## Розділ 6 ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ АПАРАТІВ КЕРУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ

- 6.1 Загальна інформація
- 6.2 Перевірка електромагнітних автоматичних вимикачів
- 6.3 Перевірка теплових розчіплювачів автоматичних вимикачів
- 6.4 Технічне обслуговування апаратів керування і захисту
  - 6.4.1 Технічне обслуговування плавких запобіжників
  - 6.4.2 Технічне обслуговування автоматичних вимикачів

- 6.4.3 Технічне обслуговування магнітних пускачів
- 6.4.4 Технічне обслуговування електротеплових реле
- 6.5 Поточний ремонт апаратів керування та захисту

## Розділ 7 ПОВІРКА ТА РЕМОНТ ЛІЧИЛЬНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

- 7.1 Загальні відомості
- 7.2 Періодична повірка
- 7.3 Позапланова повірка
- 7.4 Повірка лічильників електроенергії для юридичних осіб
- 7.5 Ремонт лічильників

## ГЛОСАРІЙ

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| ОПРАЦЬОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА |  |
| ДОДАТКИ                          |  |
|                                  |  |
|                                  |  |
|                                  |  |
|                                  |  |

## ВСТУП

*Згідно з теорією інформації, один з найбільш об'єктивних показників, що дозволяють чисельно оцінити корисність (інформативність) отриманої ознаки – діагностична цінність.*

Одним з головних завдань господарств які пов'язані з електропостачанням та активним його використання є підтримка електрообладнання обладнання в працездатному стані в умовах наростання темпів і обсягів його старіння.

Так, значна більшість потребує його модернізації, бо значна частина експлуатованого устаткування вже вичерпала свій ресурс і потребує поетапної реконструкції, оновлення або заміни. Тому підтримка працездатності, підвищення ефективності використання наявного електрообладнання обладнання та застосовування нових методів діагностування його технічного стану є одним з актуальних завдань.

Стан електроустаткування, що виконує функцію електропостачання, багато в чому визначає ефективність основного виробництва.

Вихід з ладу (відмова) устаткування системи електропостачання може спричинити небезпеку для життя людей, розлад складного технологічного процесу, масовий недовідпуск продукції і інший матеріальний збиток.

Тому основною метою експлуатації електроустаткування є забезпечення необхідного рівня його надійності впродовж терміну служби, а для цього необхідно своєчасно проводити діагностування та сервісні послуги.

Метою діагностування є забезпечення раціональної експлуатації електрообладнання при заданих показниках надійності й скорочення витрат на його технічне обслуговування та ремонт.

Ця мета досягається шляхом управління технічним станом електрообладнання в процесі експлуатації, що дозволяє виконувати технічне обслуговування та ремонт відповідно до даних діагностування.

*Основне завдання технічного діагностування* – отримання достовірної інформації про технічний стан електрообладнання в процесі експлуатації.

Воно вирішується на основі вимірювання, контролю, аналізу й обробки кількісних і якісних показників значень параметрів електрообладнання, а також шляхом управління обладнанням відповідно до алгоритму діагностування.

Безпечна та ефективна робота електрообладнання у першу чергу залежить від стратегії організації профілактичних та ремонтних робіт.

Технічний рівень електроремонтних підприємств, як правило, нижче відповідного показника, характерного для електромашинобудівних заводів, з кількох причин: в системі підприємств електромеханічної промисловості електроремонтні підприємства не є основними, тобто базовими, і їм уваги приділяється менше; в структурі інших галузей промисловості немає реальних можливостей створити умови, хоча б частково відповідають умовам електромашинобудівних заводів.

Все це змушує удосконалити або реорганізувати структуру управління підрозділами, або відповідними підприємствами технічного сервісу, на зразок провідних країн світу.

Тому основна ціль сервісних послуг – забезпечити максимальну ефективність експлуатації електрообладнання і звести до мінімуму витрати на відновлення працездатності техніки.

Зазначена ціль досягається за рахунок своєчасної кваліфікованого діагностування технічного стану складових електрообладнання – на підставі яких приймаються рішення щодо профілактики, ремонту, експлуатації без ремонту, заміни складових частин тощо.

І як наслідок технічний сервіс – один із найбільш прогресивних видів комплексних послуг споживачу.

У підсумку можна зауважити, що за обсягом і змістом матеріалу навчальний посібник орієнтований більшою мірою на широке коло фахівців, які будуть пов'язані з діагностуванням та сервісом електрообладнання.

Автори висловлюють подяку рецензентам за слушні зауваження та поради, спрямовані на вдосконалення навчального посібника.

## **ЗМІСТ**

### **ВСТУП**

### **Частина 1 ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА**

### **ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ**

### **Розділ 1 ТЕХНІЧНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ**

#### **1.1 Загальні відомості**

#### **1.2 Діагностична термінологія**

#### **1.3 Основи технічного діагностування**

##### **1.3.1 Методи діагностування**

##### **1.3.2 Експлуатаційні показники електрообладнання**

#### **1.4 Методика дослідження показників діагностування електрообладнання**

##### **1.4.1 Ймовірність помилки діагностування**

##### **1.4.2 Ймовірність правильного діагностування й апостеріорна ймовірність помилки діагностування**

##### **1.4.3 Середня тривалість діагностування**

#### **1.5 Система управління технічним станом та місце контрольньо-діагностичних робіт**

### **Розділ 2. НАДІЙНІСТЬ**

#### **2.1 Базове поняття надійності**

#### **2.2 Пошкодження та відмови. Класифікація відмов**

#### **2.3 Надійність технічних об'єктів**

##### **2.3.1 Показники надійності**

##### **2.3.2 Підвищення надійності**

##### **2.3.3 Основні фактори впливу на надійність**

##### **2.3.4 Інтенсивність відмов**

##### **2.3.5 Розрахунок надійності за експоненціальним розподілом**

### **Розділ 3 ЗАГАЛЬНІ АСПЕКТИ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ**

- 3.1 Загальна інформація
- 3.2 Методи діагностування електрообладнання. Загальні відомості
- 3.3 Технічне діагностування електрообладнання
- 3.4 Застосування методів прогнозування технічного стану електрообладнання. Загальні положення

## Розділ 4 ДІАГНОСТИКА ТРАНСФОРМАТОРНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

- 4.1 Загальна інформація
- 4.2 Основні дефекти силових трансформаторів
- 4.3 Основні напрями діагностування силових трансформаторів
- 4.4 Діагностування трансформаторного масла
- 4.5 Оцінка зносу ізоляції силових трансформаторів

## Розділ 5 МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ЗМІННОГО ТА ПОСТІЙНОГО СТРУМІВ

- 5.1 Загальні відомості
- 5.2 Електроприводи з електромашинами змінного струму
- 5.3 Електроприводи з двигунами постійного струму
- 5.4 Електроприводи з синхронними двигунами
- 5.5 Характеристика експрес-методів діагностики асинхронних двигунів
  - 5.5.1 Діагностика асинхронного електроприводу за даними вимірів робочого режиму
  - 5.4.2 Метод контролю параметрів електричного двигуна на основі аналізу пускових струмів
  - 5.4.3 Аналіз параметричної несиметрії асинхронного двигуна в процесі експлуатації

## Розділ 6 ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ТА ЇХ ОБЛАДНАННЯ

- 6.1 Електричні мережі
- 6.2 Система моніторингу технічного стану розподільчих електричних мереж
- 6.3 Діагностика повітряних ліній
  - 6.3.1 Загальні відомості
  - 6.3.2 Діагностики стану опорно-стрижневих ізоляторів і кераміки високовольтних вводів
  - 6.3.3 Оцінки стану вентильних розрядників
  - 6.3.4 Діагностика стану проводів
  - 6.3.5 Дефектоскопія проводів і грозозахисних тросів повітряних ліній електропередачі
  - 6.3.6 Тепловий метод діагностики повітряних ліній
  - 6.3.7 Ультразвукова діагностика опор повітряних ліній

## Частина 2 ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

### Розділ 1 ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС ПОСЛУГ

- 1.2 Основні завдання системи сервісу
- 1.3. Основні поняття та визначення теорії технічної експлуатації. Нормативна, технічна та експлуатаційна документація
  - 1.3.1 Основні поняття та визначення теорії технічної експлуатації
  - 1.3.2 Технічна та експлуатаційна документація
- 1.4 Організація технічного сервісу

### Розділ 2 ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ

- 2.1 Загальні питання технічного обслуговування
- 2.2 Організація технічного обслуговування
- 2.3. Єдина система технологічної документації
- 2.4 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

## Розділ 3 ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ТРАНСФОРМАТОРІВ

### 3.1 Загальні відомості

### 3.2 Випробування трансформаторів

### 3.3 Обслуговуванні масляного трансформатора

### 3.4 Обслуговування сухого трансформатора

### 3.5 Порядок проведення технічного обслуговування силового трансформатора

## Розділ 4 СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

### 4.1 Загальна інформація

### 4.2 Технічне обслуговування електричних мереж

### 4.3 Повітряні лінії електропередачі напругою 0,4-20 кВ, трансформаторні підстанції 6-20/0,4 кВ і розподільні пункти 6- 20 кВ

#### 4.3.1 Загальні положення

#### 4.3.2 Експлуатаційне обслуговування електричних мереж напругою 0,4-20 кВ

#### 4.3.3 Капітальний ремонт ПЛ 0,4-20 кВ

#### 4.3.4 Капітальний ремонт ТП напругою 6-20/0,4 кВ та розподільних пунктів напругою 6-20 кВ

## Розділ 5 ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

### 5.1 Загальні відомості

### 5.2 Обсяг робіт по технічному обслуговуванню й ремонту електромашин

### 5.3 Обсяг робіт по технічному обслуговуванню й ремонту електромашин широкого застосування

## Розділ 6 ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ АПАРАТІВ КЕРУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ

### 6.1 Загальна інформація

### 6.2 Перевірка електромагнітних автоматичних вимикачів

- 6.3 Перевірка теплових розчіплювачів автоматичних вимикачів
- 6.4 Технічне обслуговування апаратів керування і захисту
  - 6.4.1 Технічне обслуговування плавких запобіжників
  - 6.4.2 Технічне обслуговування автоматичних вимикачів
  - 6.4.3 Технічне обслуговування магнітних пускачів
  - 6.4.4 Технічне обслуговування електротеплових реле
- 6.5 Поточний ремонт апаратів керування та захисту

## Розділ 7 ПОВІРКА ТА РЕМОНТ ЛІЧИЛЬНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

- 7.1 Загальні відомості
- 7.2 Періодична повірка
- 7.3 Позапланова повірка
- 7.4 Повірка лічильників електроенергії для юридичних осіб
- 7.5 Ремонт лічильників

## ГЛОСАРІЙ ОПРАЦЬОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА ДОДАТКИ

# **Частина І**

## **ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ**

---

---



**Розділ 1 ТЕХНІЧНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ. ЗАГАЛЬНА  
ІНФОРМАЦІЯ**

**Розділ 2 НАДІЙНІСТЬ**

**Розділ 3 ЗАГАЛЬНІ АСПЕКТИ ДІАГНОСТИКИ  
ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ**

**Розділ 4 ДІАГНОСТИКА ТРАНСФОРМАТОРНОГО  
ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ**

**Розділ 5 МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ  
ЗМІННОГО ТА ПОСТІЙНОГО СТРУМІВ**

**Розділ 6 ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ  
ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ТА ЇХ ОБЛАДНАННЯ**

## **Розділ I**

# **ТЕХНІЧНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ**

*Загальні відомості*

*Основні методи діагностування*

*Основи технічного діагностування*

*Методи діагностування*

*Експлуатаційні показники електрообладнання*

*Методика дослідження показників  
діагностування електрообладнання*

### **1.1 Загальні відомості**

Найбільш ефективним підходом до діагностування технічного стану технологічних систем є безперервний автоматичний контроль, тобто моніторинг стану обладнання. Цей підхід легко реалізувати за допомогою вбудованих засобів моніторингу та діагностування, які можуть бути реалізованими як на етапі проектування та створення, так і в результаті до оснащення вже діючого технологічного обладнання.

Обсяги впровадження та результуючий економічний ефект підтверджує перспективність таких систем. Аналіз причин виникнення та прояву дефектів різних типів електрообладнання свідчить про те, що технічний стан кожного з них характеризується як індивідуальними, так і спільними ознаками.

Для кожного типу обладнання характерні свої типові дефекти, які багаторазово трапляються в експлуатації. Об'єднавши всі дефекти й ознаки їх появи в окремі групи, отримаємо структуру діагностування електрообладнання, яка складається з трьох рівнів і підсистем:

1. Перевірки функціонування електрообладнання.
2. Виявлення дефектів при експлуатації.
3. Оцінки та прогнозування працездатності.

При цьому кожний наступний рівень використовує результати попередніх.

При розробці системи діагностування для забезпе-чення взаємодії об'єкта і засобу діагностування мають бути вирішені такі завдання:

- техніко-економічне обґрунтування вибору виду і призначення системи діагностування; аналіз фізичних процесів, що відбуваються в об'єкті діагностування, для виявлення механізмів виникнення та ознак прояву пошкоджень і дефектів;
- збирання і вивчення апіорних даних про характерні пошкодження і дефекти аналогічних виробів або їхніх складових частин;
- вибір методу діагностування; розробка моделі об'єкта діагностування;
- розробка алгоритму діагностування; розробка конструктивних вимог до об'єкта діагностування для забезпечення його діагностування і розробка відповідної технічної документації;
- вибір і розробка засобів діагностування;
- розробка пристроїв спряження об'єкта і засобів діагностування;
- розробка експлуатаційної і ремонтної документ-тації для діагностування;
- випробування системи діагностування.

## 1.2 Діагностична термінологія

*Діагностування* – контроль технічного стану складових частин машини за діагностичними параметрами, зовнішніми ознаками з потрібною точністю. При цьому машина не підлягає розбиранню. Знімання окремих деталей для приєднання приладів не є розбиранням.

*Діагноз* – висновок про технічний стан електрообладнання або її складової частини.

*Параметр* – якісна характеристика (міра), що пояснює властивості складових частин електрообладнання або процесу (явища).

Значення параметра характеризується кількісною мірою, воно може бути номінальним, нормальним, допустимим і граничним.

*Номінальне (розрахункове) значення параметра* — показник максимально ефективного використання складових

частин електрообладнання за техніко-економічними показниками.

Цей показник служить початком відліку відхилень, як правило, він має бути характерним для нових і капітально відремонтованих машин після їх обкатування.

*Нормальне значення параметра* – показник, що не виходить за межі допустимого значення параметра.

*Допустиме значення параметра* – показник, при якому забезпечується безвідказна нормальна робота машини при допустимих техніко-економічних показниках без виконання ремонтно-обслуговуючих операцій.

*Граничне значення параметра* - показник, при якому подальше використання електрообладнання в роботі недоцільне за техніко-економічними показниками.

При досягненні граничних значень, хоча б одного з параметрів, подальше використання машини недопустиме через інтенсивність зношування її складових частин.

*Ресурсний параметр* – параметр, що позначає фізичну величину, зміна якої вище граничного значення обумовлює втрату працездатності електрообладнання через вичерпання ресурсу.

*Прогнозування* – визначення залишкового ресурсу (терміну служби складальної одиниці) до моменту досягнення граничного стану основних, параметрів, зазначених у технічних вимогах.

### **1.3 Основи технічного діагностування**

*Технічне діагностування* є частиною технологічного процесу обслуговування і ремонту електрообладнання обладнання. Його проводять при введенні машин в експлуатацію, технічному обслуговуванні і ремонті.

За результатами діагностування приймають рішення про доцільність подальшої експлуатації обладнання, визначають терміни її роботи до чергового поточного чи капітального ремонту або необхідність постановки на ремонт; визначають вид ремонту.

При технічному обслуговуванні діагностуванням визначають якість роботи окремих складальних одиниць,

механізмів і систем. Результати діагностування служать для визначення переліку розбирально-складальних, регулювально-налагоджувальних і інших робіт, які необхідно виконати при технічному обслуговуванні.

Діагностуванням забезпечується контроль у процесі виконання ремонтно-обслуговуючих робіт, оцінюється якість технічного обслуговування і ремонту машин за їхнім дійсним технічним станом.

Своєчасне діагностування за дійсним технічним станом виключає передчасне виконання розбирально-складальних і регулювальних операцій, а також заміну деталей з недовикористаним ресурсом.

Несвоєчасне діагностування, проведене пізніше ніж того вимагає дійсний технічний стан машин, призводить до збільшення обсягу ремонтно-обслуговуючих робіт, витрат запасних частин, часу простою машин в обслуговуванні і ремонті за рахунок появи аварійного зношування деталей і передчасних відказів – знижується ефективність використання електрообладнання.

Основною метою впровадження технічного діагностування є збереження високої надійності електро-обладнання, як комплексної характеристики їх безвід-казності, довговічності та ремонтпридатності.

Основним завданням технічного діагностування є: перевірка роботоздатності електрообладнання вцілому або його складових частин, виявлення дефектів, збір вихідних, даних для прогнозування залишкового ресурсу.

Завдяки технічному діагнозу, встановленому при діагностуванні, приймають рішення про можливість подальшого використання електрообладнання, обсяг робіт з технічного обслуговування чи ремонту.

### **1.3.1 Методи діагностування**

Діагностування машин і їхніх складових частин здійснюється *суб'єктивними* (органолептичними) і *об'єктивними* (інструментальними) методами.

До *суб'єктивних методів* відносяться:

- зовнішній огляд;

- прослуховування;
- прощупування;
- випробування;
- простукування;
- послідовне виключення з роботи окремих елементів системи;

- перевірка на запах тощо.

За допомогою суб'єктивного діагностування перевіряють:

- зовнішнім оглядом – стан ущільнень, витік палива, мастила, охолодної і гальмівної рідини, електроліту, пошкодження зовнішніх деталей;

- прослуховуванням – удари, стукоти, шуми й інші звуки, що відрізняються від нормальних робочих;

- прощупуванням – місця нагрівання деталей і рухомих спряжень, температурні режими, які відрізняються від робочих;

- випробуванням – роботу елементів системи електроустаткування і гідравлічну систему.

Суб'єктивним діагностуванням в основному визначають якісне відхилення від норми в роботі електрообладнання.

Ці методи дозволяють виявляти з допустимою похибкою причини відказів і втрати працездатності машин.

Для визначення кількісних змін параметрів технічного стану електрообладнання, що змінюються в часі в зв'язку зі зношуванням деталей вдаються до *об'єктивного діагностування*, тобто діагностуванню за допомогою спеціального обладнання і приладів.

Технічні засоби можуть бути вмонтовані в електрообладнання і приєднуватись до неї. До вмонтованих відносяться датчики, щиткові покажчики, сигнальні світові індикатори, лічильник наробітку тощо. станції, ручні комплекти, окремі прилади і пристосування.

Об'єктивні (інструментальні) методи діагностування використовують для вимірювання параметрів технічного стану електрообладнання, користуючись при цьому діагностичними засобами.

Найбільш поширені механічні; та електричні засоби діагностування. У деяких випадках використовують віброакустичні та фотоелектричні.

Рентгенівські засоби діагностування застосовують в основному при проведенні науково-дослідних робіт.

Велика різноманітність методів та засобів діагностування обумовлюється значною трудомісткістю виконання діагностичних робіт та підготовчих операцій.

Об'єктивні методи діагностування дають можливість безпомилково установити значення параметрів технічного стану машин.

### **1.3.2 Експлуатаційні показники електрообладнання**

Для забезпечення стабільних, довготривалих якісних показників роботи, з метою підтримання працездатності електрообладнання в заданих регламентованою нормативнотехнічною документацією параметрах технічного стану передбачено здійснювати ряд організаційно технічних заходів – технічне обслуговування, діагностування та сервіс.

**Технічне обслуговування** – комплекс дій, що підтримують працездатність електрообладнання при їх використанні і зберіганні.

Технічне обслуговування включає обкатні, мийні, очисні, контрольно-діагностичні, регулювальні, мастильні, заправні, монтажні-демонтажні роботи та роботи консервування та розконсервування тощо.

**Діагностування** – процес визначення технічного стану вузлів або агрегатів електрообладнання за побічними діагностичними параметрами. Основна мета технічного діагностування – визначення з мінімальними затратами праці технічного стану і несправностей обладнання без їх розбирання.

**Працездатність** – це стан обладнання, при якому значення усіх параметрів, що характеризують здатність її виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної документації.

Причому працездатність електрообладнання характеризується не лише її здатність виконувати певну роботу, але і

робити це якісно і без негативного впливу як на саму машину, так і на її оператора.

**Непрацездатний стан** має місце, коли хоча б один із заданих параметрів, які характеризують здатність виконувати задані функції, не відповідає встановленим технічним вимогам. Справний стан означає, що машина відповідає всім вимогам, встановленим нормативною документацією (від техніко-економічних показників до якості фарбування). Несправний стан виникає, коли машина не відповідає хоча б одній з вимог нормативної документації. Таким чином, коли хоча б одна вимога технічної документації не виконана, але машина здатна якісно виконувати задану функцію, то вона може вважатися несправною, хоча і працездатною. Так, наприклад електромобіль зі спаленою лампочкою плафона освітлення кабіни згідно з наведеними визначеннями вважається несправним, хоч і працездатним.

**Відмова** – це подія, що полягає у втраті працездатності електрообладнання.

За характером виникнення відмови можуть бути поступовими та раптовими. Поступова відмова полягає у поступовій зміні одного чи кількох параметрів електрообладнання найчастіше в результаті спрацювання механічних деталей або електрокомпонентів.

У результаті відмови обладнання переходить із працездатного у непрацездатний стан, тобто не може виконувати свої функції із заданими параметрами якості, безпеки та економічної ефективності процесу.

Крім техніко-експлуатаційних показників, електрообладнання, що надходять у господарства, мають певні показники якості.

Ці показники характеризують швидкість тих змін, як правило негативних, що їх зазнає технічний стан у процесі експлуатації. До них належать: надійність, безвідмовність, довговічність.

**Надійність** – властивість електроагрегату зберігати протягом тривалого часу у встановлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати задані функції при заданих режимах та умовах використання,

технічного обслуговування, ремонту, зберігання, транспортування.

**Безвідмовність** – властивість машини безперервно зберігати свою працездатність протягом певного часу чи до певного наробітку.

Безвідмовність характеризується наробітком на відмову, що визначається відношенням наробітку до числа відмов.

**Довговічність** – властивість машини зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту.

**Ремонтпридатність** – властивість електрообладнання, що полягає в пристосованості її до попередження та виявлення причин виникнення відмов, пошкоджень і підтримання та відновлення працездатності шляхом проведення технічного обслуговування та ремонту.

**Збереженість** – властивість обладнання зберігати значення показників безвідмовності, довговічності та ремонтпридатності протягом терміну зберігання та після нього.

Виконання вимог забезпечення надійності – головна умова збереження високої працездатності електро-обладнання.

**Наробіток** – це тривалість або обсяг роботи (складальної одиниці), виміряні в годинах.

**Ресурс** – це наробіток електрообладнання від початку відліку основних показників номінальних параметрів нової чи капітально відремонтованого електрообладнання до настання граничних їх значень, указаних у технічних вимогах.

**Залишковий ресурс** – це наробіток обладнання (складальної одиниці) від останнього вимірювання основних параметрів до досягнення граничних їх значень, указаних у технічних вимогах.

**Строк служби** – календарна тривалість експлуатації обладнання від її початку до досягнення граничного стану.

**Середній строк служби** – один із показників довговічності обладнання відповідного типу – вимірюється в роках.

## 1.4 Методика дослідження показників діагностування електрообладнання

Стандартом встановлюються такі показники діагностування:

- ймовірність помилки діагностування  $P_{ij}$ ;
- апостеріорна ймовірність помилки діагностування  $P_{aij}$ ;
- ймовірність достовірного діагностування  $D$ ;
- середня оперативна тривалість діагностування;
- середня вартість діагностування;
- середні оперативні трудовитрати на діагностування  $DS$ .

### 1.4.1 Ймовірність помилки діагностування

У загальному випадку ймовірність помилки діагностування  $P_{ij}$  обчислюють за формулою:

$$P_{ij} = P_{oi} \cdot \sum_{l=1}^k P_{zl} P_{yjl} \quad (2.1)$$

де  $k$  – кількість технічних станів (далі – станів) пристрою діагностування;

$P_{oi}$  – апріорна ймовірність перебування об'єкта діагностування в стані  $i$ ;

$P_{zl}$  – апріорна ймовірність перебування засобу діагностування в стані  $l$ ;

$P_{yjl}$  – умовна ймовірність того, що в результаті діагностування об'єкт визнається таким, що перебуває в стані  $j$  за умови, що він перебуває в стані  $i$  та засіб діагностування перебуває в стані  $l$ .

### 1.4.2 Ймовірність правильного діагностування й апостеріорна ймовірність помилки діагностування

Ймовірність правильного діагностування часто називають достовірністю контролю і вважають основним показником діагностування.

Достовірність контролю – це показник міри об’єктивного відображення результатами контролю дійсного технічного стану електрообладнання. Достовірність контролю  $D$  обчислюють за формулою:

$$D = \sum_{i=1}^m P_{ij}, \quad (2.2)$$

де  $P_{ij}$  – ймовірність помилки діагностування виду  $(i, j)$ ;

$m$  – кількість можливих технічних станів об’єкта діагностування (що визначають працездатний і непрацездатний стани об’єкта в цілому  $m = 2$ ).

#### 1.4.3 Середня тривалість діагностування

Середню оперативну тривалість діагностування в загальному випадку визначають за формулою:

$$T_{\text{д}} = \sum_{i=1}^k T_i P_{oi}, \quad (2.3)$$

де  $T_i$  – середня оперативна тривалість діагностування об’єкта, що перебуває в стані  $i$ .

Величина  $T_i$  включає тривалість виконання як допоміжних операцій, так і власне діагностування;

$P_{oi}$  – апріорна ймовірність перебування об’єкта діагностування в стані  $i$ .

### 1.5 Система управління технічним станом та місце контрольно-діагностичних робіт

Система діагностування, яка складається із об’єкта діагностування та контрольно-діагностичних засобів, відноситься до систем контролю. Але специфіка технічної діагностики це – направленості її методів на виявлення стану конкретного автомобіля та відновлення втраченої робочої здатності.

При контролі зупиняються на дослідженні системи як цілого, а при діагностуванні досліджується не тільки система в цілому, а також окремі її елементи, бо стан системи є функцією поведінки її окремих елементів. Діагностування можна розглядати як елемент системи управління. Задача всякого управління – організація і реалізація цілеспрямованої дії на об'єкт управління, яка є процесом пошуку і реалізації заходів для переведення об'єкта до бажаного стану.

У даному разі під об'єктом управління будемо розуміти в цілому або його окрему систему (агрегат, вузол, з'єднання тощо). При цьому мають виконуватися дві умови: на об'єкт можна впливати і цей вплив може привести до бажаних результатів, тобто може змінити його стан в бажаному для нас напрямку. На рис. 1.1 наведена схема системи управління:

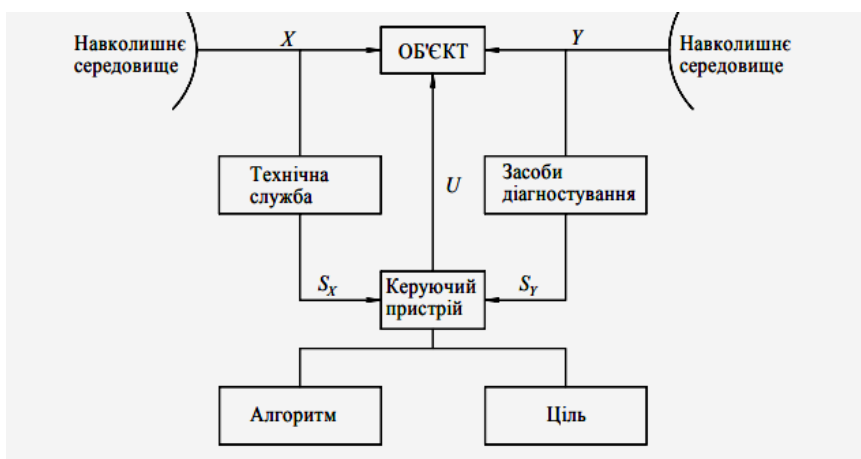


Рисунок 1.1 – Схема системи управління:

$Y$  – канал впливу навколишнього середовища на об'єкт;

$X$  – канал впливу об'єкта на середовище;

$U$  – канал впливу управління на об'єкт.

При цьому поняття «вплив» при розв'язанні задач управління суто інформаційне. Виділення об'єкта управління і

виявлення каналів впливу проводяться тільки з точки зору заданої цілі управління.

*Ціль управління* – сукупність умов, властивостей та вимог, яким повинен відповідати об’єкт. Вона начебто генерує об’єкт управління.

Наприклад, електричний двигун виступає в ролі перетворювача електричної енергії  $X$  в механічну  $Y$ .



### **Запитання для самоперевірки**

1. Діагностування – це ...
2. Технічне діагностування
3. Що являє собою основною метою впровадження технічного діагностування?
4. Методи діагностування – це ...
5. Що відноситься до експлуатаційних показників електрообладнання?
6. Ціль управління – сукупність...
7. Для яких цілей при діагностуванні електрообладнання використовуються перевірки справності, роботоздатності, правильності функціонування та пошук несправностей?

## **Розділ 2**

# **НАДІЙНІСТЬ**

*Базове поняття надійності*

*Пошкодження та відмови.*

*Класифікація відмов*

*Надійність технічних об'єктів*

*Надійність* – це властивість технічного об'єкту (ТО) виконувати всі задані функції в певних умовах експлуатації, при збереженні значень основних параметрів у заздалегідь встановлених межах.

### **2.1 Базове поняття надійності**

Деякі терміни будуть повторюватися з попереднього розділу.

Враховуючи значимість сучасних технічних об'єктів (ТО), у нашому випадку (електрообладнання) різного призначення в людській діяльності, вимоги до їх надійності постійно підвищуються. Це пов'язано з тим, що від правильної роботи ТО залежать хід виконання технологічних процесів, достовірність отримання результатів вимірювань і обробки даних тощо.

Питанням підвищення надійності до ТО та його елементної бази на всіх етапах їх проектування та виробництва приділяється найбільша увага.

Проблема забезпечення заданого рівня надійності ТО залежить не тільки від того наскільки глибоко розроблена теорія надійності та інженерні методи, але і від того, наскільки вдало вирішені питання організації робіт із забезпечення надійності.

Треба відмітити, що хоча надійність ТО можна вважати технічним параметром, подібно до коефіцієнта підсилення, ширини полоси пропускання, чутливості, проте кількісне визначення цього параметра зустрічає ряд труднощів. Це пояснюється тим, що на надійність впливає значно більше факторів, ніж на інші параметри ТО.

До таких факторів належать: число і якість елементів, з яких складається ТО, режими роботи елементів, умови

експлуатації, якість технічного обслуговування і багато інших, більшість з яких є випадковими.

В зв'язку з цим досить повно охарактеризувати надійність елементів і ТО електронних систем можна тільки деякими кількісними характеристиками.

Математичною основою теорії надійності є теорія ймовірності і математична статистика, тому всі критерії характеризують надійність певного класу елементів, а не конкретного зразка.

Надійність тісно пов'язана з різними сторонами експлуатації ТО. Найбільш просто і коротко надійність можна визначити як властивість ТО не виходити з ладу і виконувати свої функції в повному об'ємі.

Іншими словами, добре спроектований, якісно виготовлений, детально і всебічно випробуваний до початку експлуатації та при самій експлуатації згідно технічних умов (ТУ).

ТО на протязі всього часу повинен працювати без будь-яких зупинок, крім передбачених в плановому порядку, або викликаних організаційними факторами.

Надійність так само можна визначити як фізичну властивість технічних об'єктів, яка залежить від кількості і від якості що в нього входять, а так само від умов експлуатації. Надійність характеризується відмовою.

У теорії надійності розглядаються такі основні стани об'єктів: справний, несправний, працездатний, непрацездатний.

*Справний стан* – стан об'єкта, при якому він відповідає всім вимогам нормативно-технічної та /або/ конструкторської /проектної/ документації і здатний виконувати усі задані функції.

*Несправний стан* – стан об'єкта, у якому він не здатний виконувати хоч би одну зі своїх заданих функцій.

*Працездатний стан* – стан об'єкта, який характеризується його здатністю виконувати усі потрібні функції.

*Непрацездатний стан* – стан об'єкта, за яким він нездатний виконувати хоч би одну з потрібних функцій.

Поняття «справний об'єкт» є ширшим за поняття «працездатний». Працездатний об'єкт може бути справним та не справним. Несправний об'єкт завжди не справний.

## **2.2 Пошкодження та відмови. Класифікація відмов**

*Пошкодження* – це подія, що полягає в порушенні справності ТО або її складових частин із-за впливу зовнішніх умов, що перевищують рівні, встановлені НТД.

Пошкодження може бути істотним і з'явитися причиною відмови і неістотним, при якому працездатність ТО зберігається.

Характер відмови в багатьох випадках залежить від типу елемента і його конструктивних особливостей.

Наприклад, для контактних електромеханічних реле характерні як раптові відмови (перегорання обмотки реле, обрив проводів), так і поступові відмови, викликані зносом контактів (розрегулювання або обгорання контактів).

*Відмова* – подія, яка полягає у втраті ТО здатності виконувати потрібну функцію, тобто у порушенні працездатного стану об'єкта. Відмови можуть бути поступові і раптові.

*Поступова відмова* – це викликається в поступову зміну параметрів елементів схеми та конструкції.

*Раптова відмова* – проявляється у вигляді стрибкоподібного зміни параметрів елементної бази ТО.

Відмови бувають остаточними та перемезжувальними. В першому випадку має місце втрата надійності на час, не обхідний для усунення відмови в процесі ремонту.

*Перемезжувальна відмова* продовжується короткий час, після чого елемент самовідновлюється і стає надійним. Звичайно вміст перемезжувальної відмови в елементі свідчить про наближення остаточної поступової відмови.

Маючи на увазі, що відмова є подією випадковою, кількісні характеристики надійності носять статистичний характер.

Для визначення випадкових величин потрібно мати необхідні статистичні дані, які визначаються з досвіду експлуатації або з лабораторних досліджень, що з достатньою близькістю імітують реальні умови експлуатації.

Для оцінки надійності елементів найчастіше використовують такі кількісні характеристики, як ймовірність без відмовної роботи протягом визначеного часу, середній час безвідмовної роботи, частота і небезпека відмови у визначених умовах експлуатації.

Тоді під *відмовою* в загальному випадку розуміють подію, після появи якої елемент стає ненадійним. Відповідно, відмова має місце не тільки у випадку виходу з ладу елемента, але і при відхиленні його параметрів від допустимих меж. При аналізі відмов розрізняють поняття виду і механізму відмови. Вид відмови – це очевидна подія, що приводить до відмови.

*Механізм відмови* – це фізико-хімічний процес, що приводить до відмови. Для показників надійності характерні дві форми подання – імовірна та статистична.

### **2.3 Надійність технічних об'єктів**

Надійність властивість ТО зберігати у часі в установленних межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

Вона є комплексною властивістю, яка у залежності від призначення об'єкта та умов його експлуатації може ґрунтуватись на:

- безвідмовності;
- довговічності;
- ремонтпридатності;
- збережуванні.

в окремих або певних сполученнях цих властивостей як для об'єкта, так і для його складових.

*Безвідмовність* – властивість ТО безупинно зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого напрацювання.

*Ремонтпридатність* – властивість ТО, пристосованість до:

- попередження можливих причин виникнення відмови; виявлення причин виник відмови або пошкодження;

- усунення наслідків виникнення відмови або пошкодження шляхом ремонту або технічного обслуговування.

*Довговічність* – це властивість ТО зберігати працездатність до настання граничного стану (стан при якому його подальше застосування або відновлення неможливе).

Збереженість – збереження працездатності при зберіганні і транспортуванні.

При збільшенні коефіцієнта навантаження, інтенсивність відмови збільшується. Інтенсивність відмови збільшується так само, якщо елементи ТО експлуатується в більш жорстких умовах: з підвищеною температурою навколишнього повітря і вологості, збільшених вібраціях, ударах тощо. Таким чином, поняття надійності є фундаментальним поняттям, яке охоплює всі етапи технічної експлуатації ТО.

В першу чергу, надійність є складовою частиною більш широкого поняття – ефективності. Під ефективністю розуміють властивість ТО виконувати задані функції з потрібною якістю.

*Ефективність* ТО – властивість об'єкту виконувати задані функції з необхідною якістю. Причому на ефективність функціонування ТО разом з надійністю впливають і інші характеристики, такі як точність, швидкодія тощо.

Таким чином, основним завданням при проектуванні ТО різного призначення можна назвати підвищення ефективності і якості, а отже, поліпшення таких характеристик ТО, як надійність, міцність, швидкодія тощо. З метою забезпечення надійності в ТО широко використовується внесення надлишковості.

### **2.3.1 Показники надійності**

Показниками надійності (ПН) – це кількісні характеристики одного або декількох властивостей, що визначають надійність елементу (системи).

*Одиничний* ПН – це кількісна характеристика однієї з розглянутих раніше властивостей надійності.

*Комплексний* ПН – це кількісна характеристика, що визначає дві або більше властивості надійності одночасно. Вибір ПН багато в чому залежить від призначення ТС і характеру її функціонування.

При виборі ПН слід мати на увазі, що ці показники повинні достатньо повно описувати надійні властивості системи, бути зручними для аналітичного розрахунку і експериментальної перевірки за наслідками випробувань, повинні мати розумний фізичний сенс і, нарешті, допускати можливість переходу до показників якості і ефективності.

Кількісна оцінка надійності елементів ТО в цілому проводиться зазвичай за допомогою одиничних ПН без відмовності, відновлюваності і довговічності, а також комплексних ПН, що визначають властивості безвідмовності і відновлюваності.

### 2.3.2 Підвищення надійності

Одним з методів підвищення надійності, широко використовуваним при проектуванні ТС, є резервування – метод підвищення надійності за рахунок введення надмірності. Під надмірністю розуміють додаткові засоби і можливості мінімально необхідні для виконання ТС заданих функцій.

*Резервування* – метод підвищення надійності шляхом внесення надлишковості. Розрізняють надлишковість навантажувальну, параметричну, функціональну і структурну.

*Надлишковість* – додаткові засоби і можливості зверх мінімально необхідних для виконання ТО заданих функцій.

Навантажувальна надлишковість з'являється лише тоді, коли в ТО вносяться елементи з визначеним запасом потужності, робочої напруги, струму тощо. При цьому коефіцієнт навантаження елементів  $K_H$  знижується, зменшуючи інтенсивність відмов:

$$K_H = \frac{X_P}{X_{ПН}}, \quad (2.1)$$

де  $X_P$  та  $X_{ПН}$  відповідно робоче і потрібне навантаження.

Параметрична надлишковість забезпечує вибір початкових значень параметрів елементів таким чином, щоб час їх

перебування в області допустимих значень виявився максимальним (наприклад, потужність підсилювача 10 Вт і чутливість 5 мкВ – розрахувавши передавач на 25 Вт і чутливістю 3 мкВ, підвищено надійність).

Функціональна надлишковість – може бути результатом використання неосновних (побічних) функцій, які компенсують відмови, що виникли в ТО (гальмування коробкою передач може в деякій мірі компенсувати відмову гальм автомобіля).

Структурну надлишковість отримують внесенням додаткових постійно ввімкнутих елементів (паралельне ввімкнення резисторів і одночасна робота двох генераторів в той час, коли для забезпечення всіх споживачів потрібен один).

Резервування відрізняється тим, що додаткові (резервні) елементи включаються в роботу тільки після виходу з ладу основних.

### **2.3.3 Основні фактори впливу на надійність**

До основних факторів, які впливають на надійність ТО відносяться:

- суб'єктивні, які залежать від діяльності людини;
- об'єктивні, які включають внутрішні (за рахунок зносу або старіння) і зовнішні.

Після достатньо тривалої експлуатації (десятки тисяч годин роботи) на стан ТО починає здійснювати вплив старіння (знос). ТО починають раніше відмовляти.

Швидкість зносу і старіння визначається режимами роботи і інтенсивністю впливу інших факторів. В процесі експлуатації на ТО здійснюють вплив всі види енергії, що може призвести до зміни параметрів окремих елементів і ТО в цілому. При цьому мають місце наступні основні джерела впливів:

- вплив енергії довкілля (об'єктивні зовнішні фактори), включаючи діяльність людини-оператора (ЛО) чи ремонтника (суб'єктивні фактори);
- внутрішні джерела енергії (об'єктивні внутрішні фактори), зв'язані як з робочими процесами, що протікають в ТО, так і з роботою окремих його елементів;

– потенціальна енергія, накопичена в матеріалах і елементах ТО в процесі їх виготовлення.

#### 2.3.4 Інтенсивність відмов

Інтенсивність відмов – умовна густина імовірності виникнення відмови об’єкта, яка визначається за умови, що до цього моменту відмова не виникла. Інтенсивність відмов є показником безвідмовності неремонтованих і невідновлюваних об’єктів.

Інтенсивність відмов може бути обчислена як відношення числа об’єктів (апаратури, виробів, деталей, механізмів, пристроїв, вузлів тощо), що відмовили за одиницю часу до середнього числа об’єктів, що справно працювали у даному проміжку часу за умови, що об’єкти, які відмовили не відновлюються і не замінюються справними. Іншими словами, інтенсивність відмов чисельно дорівнює числу відмов за одиницю часу, віднесеному до середнього числа вузлів, що безвідмовно працювали до цього часу.

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N_{cp} \Delta t} = \frac{n(t)}{[N - n(t)] \cdot \Delta t} = \frac{f(t)}{P(t)}, \quad (2.2)$$

де  $N$  – загальне число виробів, що розглядаються;

$f(t)$  – частота відмов вузлів (деталей);

$P(t)$  – імовірність безвідмовної роботи;

$n(t)$  – число зразків, що відмовили в інтервалі часу  $t - (\Delta t/2)$  до  $t + (\Delta t/2)$ ;

$\Delta t$  – інтервал часу;

$N_{cp}$  – середнє число зразків, що справно працювали в інтервалі  $\Delta t$ .

Досвід експлуатації ТО свідчить, що зміна інтенсивності відмов  $\lambda(t)$  переважної більшості систем описується U-подібною кривою (рис. 15.1).

Криву (рис. 2.1) можна умовно розділити на три найбільш характерних періоди роботи:

- 1) припрацювання;
- 2) нормальна експлуатація;

3) старіння чи знос.

*Період припрацювання* характеризується високою інтенсивністю відмов, викликаних відхиленням від вимог конструкторсько-технологічної документації, що розподіляються за законом розподілу Вейбулла й усуваються за рахунок введення технологічного припрацювання («технологічного прогону»). Як видно з рис. 2.1, інтенсивність відмов на першому періоді монотонно зменшується.

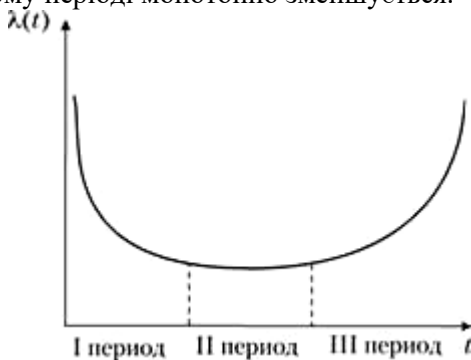


Рисунок 2.1 – Залежність інтенсивності відмов роботи системи від часу

*Період нормальної експлуатації* характеризується мінімальною і постійною інтенсивностями відмов. Ці відмови називаються раптовими, носять випадковий характер і розподіляються, як правило, за експонент-ціальним законом розподілу. Тут інтенсивність відмов залишається приблизно однаковою).

*Період старіння* або зносу характеризується різким збільшенням інтенсивності зносових відмов, що розподіляються за нормальним законом розподілу (законом Гаусса).

На практиці за результатами розрахунків значень функцій  $P(t)$  і  $\lambda(t)$  в моменти контролю справності ТО, що випробовуються, будуються гістограми вказаних функцій.

Потім проводять згладжувальну криву та підбирають теоретичний закон розподілу (доцільно підбирати за критерієм Колмогорова або за критеріями  $\chi^2$ - квадрат Пірсона, Неймана та

ін.), який найбільш точно описував би експериментально отриману криву, визначають параметри цього закону.

В подальшому знайдений закон використовують при розрахунках.

### 2.3.5 Розрахунок надійності за експоненціальним розподілом

Основними нормованими показниками надійності невідновлюваних ТО можуть бути такі показники:

- ймовірність безвідмовної роботи,  $P(t)$ ;
- ймовірність відмови,  $Q(t)$ ;
- частота відмов,  $a(t)$ ;
- інтенсивність відмов,  $\lambda(t)$ ;
- середнє напрацювання до першої відмови,  $T_{\text{ср}}$ .

Оскільки час настання відмови  $T$  є величина випадкова, то  $Q(t)$  – це ймовірність того, що випадкова величина  $T$  набуде значення, менше або рівне  $t$  (інтегральна функція розподілу відмов), де  $t$  – час, за який визначається показник надійності.

Тобто ймовірністю відмови називається ймовірність того, що за певних умов експлуатації в заданому інтервалі часу виникне хоча б одна відмова

$$Q(t) = P(T \leq t). \quad (2.3)$$

Ймовірністю безвідмовної роботи ( $P(t)$ ) називається ймовірність того, що за певних умов експлуатації в заданому інтервалі часу або у межах заданого напрацювання  $t$  не відбудеться жодної відмови:

$$P(t) = P(T > t). \quad (2.4)$$

Оскільки безвідмовна робота і відмова є подіями неспільними і протилежними, то між ними справедливе таке співвідношення:

$$1 = Q(t) + P(t).$$

Оскільки  $Q(t)$  є законом розподілу випадкової величини (відмов), то залежність між можливими значеннями

безперервної випадкової величини  $T$  та ймовірностями влучення в їх межі називається *щільністю ймовірності*.

Вважаючи, що в момент ввімкнення ТО – роботоздатний, тобто  $P(0) = 1$ , функція  $P(t)$  монотонно спадає від 1 до 0 так, як це зображено на рис. 2.2. При цьому абсолютно зрозумілим є те, що  $P(\infty) = 0$ , тобто будь-який ТО при  $t \rightarrow \infty$  з часом відмовить. На практиці використовують статичні ймовірнісні характеристики, які визначають за експериментальними даними.

При цьому допускається, що в досліді використовуються однакові події і випробування проводяться в однакових умовах. Частота відмов  $a(t)$  є щільністю ймовірності часу роботи ТО до першої відмови:

$$a(t) = dQ(t)/dt. \quad (2.5)$$

Наступною важливою характеристикою є інтенсивність відмов  $\lambda(t)$ , під якою розуміють ймовірність відмови в одиницю часу за умови, що до цього моменту відмови не виникало.

$$\lambda(t) = a(t)/P(t). \quad (2.6)$$

Експоненціальний розподіл ймовірності безвідмовної роботи є окремим випадком розподілу Вейбулла, коли параметр форми  $\delta = 1$ . Цей розподіл однопараметричний, тобто для запису розрахункового виразу досить одного параметра  $\lambda = \text{const}$ .

Для цього закону вірно і зворотне твердження: якщо інтенсивність відмов постійна, то ймовірність безвідмовної роботи як функція часу підпорядковується експонент-ціальному закону:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = e^{-\lambda t}. \quad (2.7)$$

Для ймовірної форми характерні критерії надійності:

- ймовірність безвідмовної роботи в плані заданого часу  $P(t)$ ;
- середній час роботи до відмови  $T_{cp}$ ;
- інтенсивність відмов  $\lambda(t)$ ;

- частота відмови  $\alpha(t)$ .

При розрахунку надійності необхідно враховувати:

- справедливий експонентний закон надійності;
- відмови елементів взаємонезалежні.

Загальна інтенсивність відмов ТО визначається за формулою:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum \lambda_i. \quad (2.8)$$

Середній час роботи на відмову:

$$T_{cp} = 1/\sum \lambda_i. \quad (2.9)$$

Важливо відзначити, що якщо об'єкт відпрацював припустимо, час  $\tau$  без відмови, зберігши  $\lambda = \text{const}$ , то подальший розподіл часу безвідмовної роботи буде таким, як в момент першого включення  $\lambda = \text{const}$ .

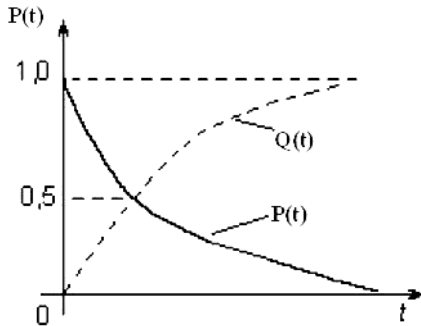


Рисунок 2.2 – Характеристики зміни ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови



### **Запитання для самоперевірки**

---

1. Надійність – це...
2. Справний стан – це...
3. Які можуть бути відмови?
4. Які фактори впливають на надійність ТО
5. відносяться:
6. Що розуміють в загальному випадку під відмовою?
7. Інтенсивність відмов – це...
8. Період припрацювання характеризується...
9. Період нормальної експлуатації характеризується...
10. Які існують показники надійності?
11. Які основні фактори впливу на надійність?
12. Інтенсивність відмов – це ...

## **Розділ 3**

# **ЗАГАЛЬНІ АСПЕКТИ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ**

### *Загальні інформація*

*Технічне діагностування електрообладнання*

*Застосування методів прогнозування технічного стану електрообладнання. Загальні положення*

### **3.1 Загальна інформація**

*Електроустаткування* (електрообладнання) – сукупність електричних машин, апаратів, пристроїв, допоміжного обладнання (разом зі спорудами та приміщеннями, в яких вони встановлені). Електрообладнання може бути призначене для виробництва, трансформації, передачі, споживання чи розподілу електричної енергії та перетворення її в інший вид енергії.

Основним нормативним документом для створення електроустаткування є «Правила улаштування електроустановок» (ПУЕ), а при експлуатації – «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів» (ПТЕЕС).

*Електроустановка* – комплекс взаємопов'язаних машин, ліній, апаратів, допоміжного обладнання (рахуючи будівлі та приміщення, в яких вони встановлені), призначені для виробництва, трансформації, передачі, розподілення електричної енергії і перетворення її в інший вид енергії.

Електроустановки за умовами електробезпеки розділяються на електроустановки до 1 кВ і електроустановки вище 1 кВ (за діючим значенням напруги).

Електроустановки поділяють за призначенням (генеруючі, споживчі та перетворювально-розподільні), родом струму (постійного і змінного) і напрузі (до 1000 В і вище 1000 В).

Електроустановка може бути призначена для виробництва, перетворення, передачі, розподілу, а також споживання електричної енергії.

Незважаючи на те, що в світі спостерігається тенденція до скорочення обсягів регламентних та профілактичних робіт з експлуатації технологічного і енергетичного обладнання, енергетики України ще довго будуть вимушені підтримувати в

робочому стані обладнання, яке знаходиться в експлуатації вже більше 25 років.

Таке обладнання вже вичерпало свій ресурс експлуатації і вимагає своєчасного виявлення початку розвитку можливого дефекту.

Безумовно і нове обладнання також може виходити з ладу по причині «заводських дефектів», або під впливом зовнішніх факторів (перевантаження, атмосферні і комутаційні перевантаження тощо).

Таким чином, основним завданням служб діагностики електротехнічного обладнання України, на сьогоднішній день, є своєчасне виявлення дефекту на ранній стадії.

Якщо цей дефект вдається виявити до аварії, то обладнання можна відремонтувати за відносно невеликі кошти. Діагностика обладнання не відкидає і моніторингу стану ізоляції під час роботи обладнання.

Таким чином, треба визнати, *що жоден метод діагностики не гарантує безвідмовну роботу обладнання на значний проміжок часу.*

Тому потрібно мати дворівневу систему діагностики, а саме: намагатися діагностувати електрообладнання раз в 3-5 років сучасними методиками з допомогою сучасного обладнання і, разом з тим, не припиняти контроль параметрів обладнання електромереж за методиками згідно з СОУ-Н-ЕЕ «Норми випробування електрообладнання». Таке поєднання методів дозволить підвищити достовірність і надійність діагностики та дозволить на практиці оцінювати *ефективність різних методів діагностики.*

## **3.2 Методи діагностування електрообладнання.**

### **Загальні відомості**

Особливості, методичні та інформаційні засади методів діагностування електрообладнання досить різноманітні й детально описані в спеціальній літературі. Найбільш вживаними і перспективними методами діагностування силового електрообладнання системи є:

#### *1. Силивих трансформаторів:*

- хроматографічний аналіз газів, розчинених у маслі;
- температурний контроль;
- тепловізійний контроль трансформатора;
- реєстрація часткових розрядів в ізоляції.

2. *Вимикачів високої напруги:*

- контроль комутаційного й механічного ресурсу;
- оцінка стану контактної системи;
- контроль характеристик приводу.

3. Контроль стану ізоляторів – контроль витоку дугогасного середовища (повітря, елегаз);

4. *Розподільчі пристрої і струмопроводи:*

• тепловізійний контроль стану електричних контактів та ізоляторів;

- дуговий захист;

5. *Електродвигунів:*

- діагностика обриву стержнів короткозамкненого ротора;
- контроль виткових замикань;
- вібраційний контроль обмотки статора;
- контроль підшипникового вузла;
- контроль і захист від неуспішних пусків;
- контроль ексцентриситету повітряного зазору між ротором і статором;
- контроль неповнофазних режимів;
- контроль напрямку обертання;
- безперервний селективний контроль активного опору

ізоляції;

- температурний контроль;

• оцінка витрати ресурсу на основі контролю пуско-вих і тривалих режимів роботи;

6. *Повітряних та кабельних ліній:*

• дистанційна тепловізійна діагностика контактів і підвісної ізоляції;

• контроль часткових розрядів; діагностика опор ЛЕП; контроль стану ізоляції кабелів.

### **3.3 Технічне діагностування електрообладнання**

Одним з головних завдань господарства електрифікації та електропостачання є підтримка обладнання в працездатному стані в умовах наростання темпів і обсягів його старіння. Так, більшість електрообладнання різного призначення потребує модернізації, бо значна частина експлуатованого устаткування вже вичерпала свій ресурс і потребує поетапної реконструкції, оновлення або заміни.

Тому підтримка працездатності, підвищення ефективності використання наявного електрообладнання та застосовування нових методів діагностування його технічного стану є одним з актуальних завдань.

Метою технічного діагностування є забезпечення раціональної експлуатації електроустаткування при заданих показниках надійності й скорочення витрат на його технічне обслуговування та ремонт. Ця мета досягається шляхом управління технічним станом електроустаткування в процесі експлуатації, що дозволяє виконувати технічне обслуговування та ремонт відповідно до даних діагностування.

Технічне діагностування електрообладнання включає в себе два основні напрямки – оперативну та ремонтну діагностику.

Основними завданнями оперативної діагностики є:

- раннє виявлення дефектів на працюючому або виведеному з роботи для обстеження (але нерозібраному) обладнанні;
- прогнозування розвитку дефектів, оцінка їх небезпеки, оцінка загального стану обладнання;
- підготовка рекомендацій щодо подальшої експлуатації й технічного обслуговування обладнання (наприклад, негайне виведення в ремонт, зсув термінів планових ремонтів, робота без обмежень тощо).

Ремонтна діагностика здійснюється на виведеному з роботи в ремонт обладнанні. Серед її основних завдань:

- локалізація дефектів обладнання;
- визначення обсягу ремонтно-відновних робіт

Враховуючи існуючі тенденції підвищення надійності діагностичного контролю за рахунок автоматизації процесу вимірювань і реєстрації, зменшення кількості обслуговуючого персоналу й отримання оперативної інформації про технічний стан електрообладнання, реалізація систем діагностики стає ефективною в режимі моніторингу діагностичних параметрів контрольованого електрообладнання.

Рівень сучасної мікропроцесорної техніки дозволяє виготовляти прилади для контролю багатьох параметрів, а основна проблема з діагностики, розробці методів і методик контролю цих параметрів, розробки нормативних документів та перевірки на практиці цих рекомендацій та інструкцій.

Цю роботу можуть провести наукові інститути з обов'язковою підтримкою держави – все це стане значною опорою діагностування електрообладнання в різних галузях господарювання.

### **3.4 Застосування методів прогнозування технічного стану електрообладнання. Загальні положення**

У результаті діагностування електрообладнання в процесі експлуатації здійснюється раннє виявлення дефектів і визначається його технічний стан у поточний момент часу. З позиції вибору оптимальної стратегії технічного обслуговування і ремонту потрібно здійснювати прогноз розвитку дефектів і перспективну оцінку технічного стану на наступний період експлуатації.

Прогнозування технічного стану підвищує ефективність діагностування. Методи прогнозування реалізуються на підставі алгоритмів і програм діагностування електрообладнання.

Описані в літературі різні методи, що застосовуються при прогнозуванні технічного стану машин і механізмів, можна розділити на аналітичні, ймовірнісні та розпізнавання образів.

*Метод аналітичного прогнозування* дозволяє отримувати параметри обладнання, розмірність яких відповідає розмірності контрольованих параметрів.

При цьому значення обчислених параметрів характеризують перебіг процесу в часі. Цей метод, як правило, застосовується, коли відома аналітична залежність функції зміни діагностичного параметра в часі.

Особливістю методу ймовірнісного прогнозування є визначення ймовірності збереження працездатності обладнання у функції часу, тобто результат прогнозу визначає ймовірність виходу або невиходу контрольованого діагностичного параметра за допустимі межі.

При цьому визначаються ймовірнісні характеристики:

- щільність розподілу значень параметрів,
- математичне сподівання і дисперсія.

*Метод розпізнавання образів* (статистичної класифікації) полягає в тому, що прогнозування можна починати з моменту здійснення одноразового контролю обладнання, що діагностується. У результаті прогнозу контрольований об'єкт відносять до того чи іншого класу технічного стану, який встановлюють заздалегідь за критерієм працездатності або довговічності й приймають за еталон (образ). Потім, виходячи із закономірності зміни параметрів даного класу, вирішують, як буде змінюватися цей параметр у майбутньому.

Вибір методу прогнозування багато в чому визначається необхідною точністю і достовірністю. Отримати абсолютно точний прогноз технічного стану проблематично. Це зумовлено безліччю факторів, що впливають на процес прогнозування.

До основних із них можна віднести: ступінь вивченості досліджуваного діагностичного процесу, глибину і частоту діагностування, точність вимірюваних параметрів, вибраний метод прогнозування та ін.

Тому точність прогнозування технічного стану електрообладнання можна оцінити тільки орієнтовно. У результаті цього випадкова складова у змінах діагностичних параметрів є визначальною.

При прогнозуванні технічного стану електрообладнання вирішуються такі завдання:

- виявляються складальні одиниці електроустаткування, технічний стан яких значно зміниться в наступний період експлуатації;

- контролюються параметри і ознаки зміни технічного стану електрообладнання;

- здійснюється порівняння діагностичних параметрів з величинами їх нормативних значень;

- нормуються значення діагностичних параметрів;

- фіксується момент, абсолютне значення і тривалість виходу діагностичних параметрів електрообладнання за допустимі межі;

- виконується накопичення, відображення і реєстрація оброблюваної інформації;

- проводиться первинна обробка діагностичної інформації про технічний стан устаткування;

- обчислюються поточні та перспективні значення узагальнених ресурсних показників технічного стану контрольованого електрообладнання;

- призначаються терміни проведення профілактичних робіт, спрямованих на підвищення рівня працездатності електрообладнання;

- надається інформація персоналу про технічний стан та рекомендації про доцільні зміни процесу експлуатації кожної одиниці електрообладнання.

Методи прогнозування ґрунтуються на результатах контролю технічного стану та реалізуються за допомогою алгоритмів і програм діагностування електрообладнання.



### Запитання для самоперевірки

1. Які існують методи діагностування силових трансформаторів?
2. Які методи діагностування вимикачів високої напруги?
3. Що передбачає при діагностуванні розподільчих пристроїв і струмопроводів?
4. Які методи діагностування електродвигунів?
5. Які методи діагностування повітряних та кабельних ліній?
6. Метод аналітичного прогнозування дозволяє...
7. Які завдання вирішуються при прогнозуванні технічного стану електрообладнання:

## **Розділ 4**

# **ДІАГНОСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ**

### *Загальна інформація*

#### *Основні дефекти силових трансформаторів*

#### *Основні напрями діагностування силових трансформаторів*

#### *Оцінка зносу ізоляції силових трансформаторів*

### **4.1 Загальна інформація**

*Силовий трансформатор* – стаціонарний прилад з двома або більше обмотками, який за допомогою електромагнітної індукції перетворює систему змінної напруги та струму в іншу систему змінної напруги та струму, як правило, різних значень за тієї-ж частоти задля передавання електроенергії та її використання.

Силові трансформатори є основними елементами електричних мереж та систем, які визначають надійність і економічність їх функціонування.

*Трансформатор називається силовим, якщо використовується для перетворення електричної енергії в електричних мережах або для безпосереднього живлення приймачів енергії. Розрізняють силові трансформатори загального призначення, які слугують для живлення мереж або приймачів електричної енергії, що не відрізняються особливими умовами роботи, характером навантаження або режимом роботи, і трансформатори спеціального призначення, які слугують для живлення мереж або приймачів енергії, що відрізняються особливими умовами роботи, характером навантаження або режимом роботи.*

Силовий трансформатор – найважливіший елемент електричної установки, мережі і системи. Силові трансформатори розрізняють: по способу охолоджуючого середовища – масляні і сухі; по числу обмоток – двухобмоточні і трьохобмоточні; по кількості фаз – однофазні і трьохфазні.



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд масляного трифазного силового трансформатора

Дія трансформатора ґрунтується на явищі електромагнітної індукції. Якщо первинну обмотку трансформатора ввімкнути в мережу джерела змінного струму, то по ній протікатиме змінний струм, який збудить в осерді трансформатора змінний магнітний потік. Магнітний потік, пронизуючи витки вторинної обмотки трансформатора, індукуює в ній ЕРС.

Під дією цієї ЕРС по вторинній обмотці і через приймач енергії протікатиме струм. Отже, електрична енергія, трансформуючись, передається з первинного кола у вторинне, але з іншою напругою, на яку розрахований приймач енергії, ввімкнений у вторинне коло.

Щоб поліпшити магнітний зв'язок між первинною та вторинною обмотками, їх розміщують на сталевому магнітопроводі. Для зменшення втрат від вихрових струмів магнітопроводи трансформаторів складають із тонких пластин (завтовшки 0,5 і 0,35 мм) трансформаторної сталі з нанесеною ізоляцією (жаростійким лаком). Трансформаторна сталь може бути гаряче- та холоднокатаною.

*Обмотки.* Використовувані в трансформаторах обмотки (рис.4.2) розрізняються за конструкцією, способом намотування,

наявністю паралельних проводів у витку та схемах з'єднань окремих елементів обмотки.

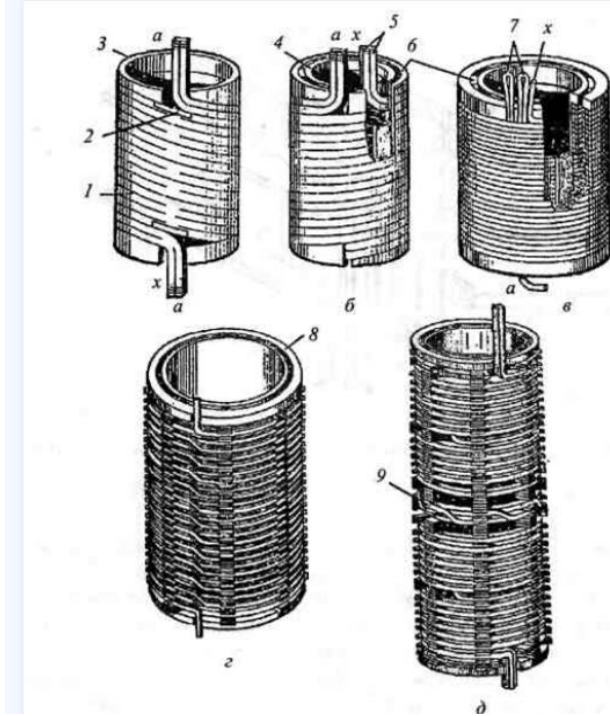


Рисунок 4.2 — Циліндричні обмотки силових трансформаторів:

*а - одношарова; б - двошарова; в - багатошарова; г - безперервна; д - гвинтова; 1 - витки з прямокутного провода; 2 - електрокартонна коробка для підсилення ізоляції крайніх витків обмотки; 3 - резервні вирівнюючі кільця, 4 - паперово-бакелітовий циліндр; 5 - кінець першого шару обмотки, 6 - вертикальні рейки; 7 - внутрішні відгалуження обмотки;*

*8 - опорне ізоляційні кільце; 9 - транспозиція витків обмотки*

У сучасних трансформаторах використовують одно-, дво- і багатошарові циліндричні обмотки, а також неперервні та гвинтові обмотки, виконані круглими або прямокутними проводами.

Магнітопровід є магнітною системою трансформа-тора, по якій замикається основний магнітний потік. Одночасно

магнітопровід служить основою для установки і кріплення обмоток, відведень, перемикачів і інших деталей активної частини трансформатора.

Магнітопроводи виконують двох типів: стержньового і броньового (рис. 4.3).

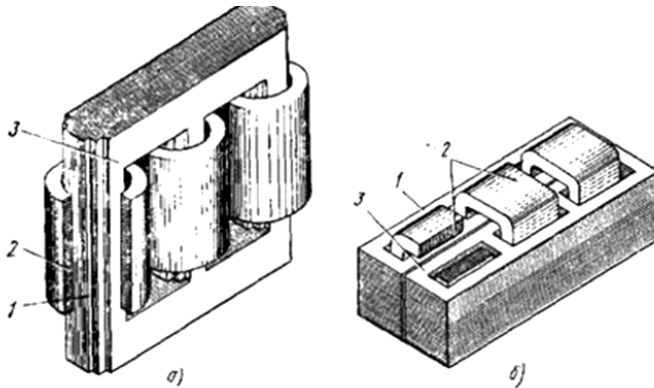


Рисунок 4.3. – Основні типи конструкцій магнітопроводів:  
а - стержньова; б - броньова; 1 - стержень; 2 - обмотки; 3 – ярмо

Магнітопровід збирають з окремих тонких пластин електротехнічної сталі, ізованих один від одного плівкою спеціального жаростійкого покриття або лаку. Жаростійке покриття зазвичай наносять безпосередньо на металургійному заводі, що виготовляє сталь; плівку лаку - на трансформаторному заводі після різання (штампування) пластин.

На сьогодні основною проблемою експлуатації трансформаторного парку є експлуатація значної кількості трансформаторів, які вже відпрацювали свій нормативний термін служби. Однак досвід експлуатації силових трансформаторів показує, що і після нормативного терміну служби значна частина трансформаторів зберігає свою працездатність при дотриманні допустимих навантажувальних режимів:

- своєчасному проведенні випробувань;

- діагностування,
- технічного обслуговування ремонтів та якісному їх виконанні.

## 4.2 Основні дефекти силових трансформаторів

Однак термін служби трансформатора залежить від його залишкового ресурсу. Однак досвід експлуатації силових трансформаторів показує, що і після нормативного терміну служби значна частина трансформаторів зберігає свою працездатність при дотриманні допустимих навантажувальних режимів, своєчасному проведенні випробувань, діагностування, технічного обслуговування ремонтів та якісному їх виконанні.

Однак термін служби трансформатора залежить від його залишкового ресурсу. У понятті ресурс трансформатора необхідно виділити дві складові:

- *перша складова* – це поновлюваний ресурс. Це в першу чергу ресурс ізоляційної системи. До поновлюваного ресурсу можна також віднести ремонт або заміну окремих компонентів трансформатора, таких як вводи, перемикаючі пристрої, насоси та вентилятори системи охолодження тощо;

- *друга складова* ресурсу – це ресурс целюлозної ізоляції, який не може бути відновлений, що, в остаточному підсумку, і визначає залишковий ресурс трансформатора в цілому.

Проведені в останні роки дослідження трансформаторів фахівцями України, у тому числі НДЦ «ЗТЗ – Сервіс» (м. Запоріжжя) з напрацюванням понад 20 років, дозволили виявити основні дефекти силових трансформаторів, які наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні дефекти силових трансформаторів

| Обладнання та вид дефекту                              | Кількість випадків | Частка, % |
|--------------------------------------------------------|--------------------|-----------|
| Система охолодження                                    | 146                | 23,1      |
| Високовольтні вводи                                    | 92                 | 14,5      |
| Виділення газів в масло                                | 58                 | 9,2       |
| Старіння масла                                         | 48                 | 7,6       |
| Дефекти в пристрої РПН (регулювання під навантаженням) | 46                 | 7,3       |

|                                                                          |    |     |
|--------------------------------------------------------------------------|----|-----|
| Витік по ущільненням обладнання трансформатора                           | 44 | 7   |
| Розпресування обмоток                                                    | 42 | 6,6 |
| Забруднення твердої ізоляції                                             | 34 | 5,4 |
| Зволоження твердої ізоляції                                              | 26 | 4,1 |
| Розпресування магнітопроводу                                             | 26 | 4,1 |
| Забруднення масла                                                        | 14 | 2,2 |
| Деформація обмоток                                                       | 10 | 1,6 |
| Пошкодження в шафі автоматичного управління охолодженням трансформаторів | 8  | 1,3 |
| Підвищена вібрація                                                       | 8  | 1,3 |
| Пошкодження відводів                                                     | 7  | 1,1 |
| Пошкодження магнітних шунтів                                             | 6  | 0,9 |
| Окислювання масла. Порушення герметичності                               | 4  | 0,6 |

Ще одним з напрямів, який суттєво знижує надійність трансформаторів, є дефекти конструкції і виготовлення силових трансформаторів, а також недоліки експлуатації і ремонту, які наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Недоліки експлуатації і ремонту силових трансформаторів

| Причина відмов                           | Частка відмов трансформаторів, % |
|------------------------------------------|----------------------------------|
| Зміни властивостей матеріалів (старіння) | 21,6                             |
| Дефекти конструкції і виготовлення       | 19,4                             |
| Недоліки експлуатації                    | 16,8                             |
| Сторонні дії                             | 10,3                             |
| Нерозрахункові режими в мережі           | 5,8                              |
| Дефекти ремонту                          | 4,2                              |
| Кліматичні і зовнішні дії                | 3,5                              |
| Інші причини                             | 18,4                             |

Останнім часом стає актуальним проведення комплексного дослідження трансформаторного обладнання (ТО) з метою оцінювання його технічного стану, при плануванні подальшу експлуатацію.

Сьогодні технічний стан силових трансформаторів оцінюється великою кількістю нормованих параметрів.

При цьому сутність принципу контролю технічного стану полягає в перевірці відповідності ознак вимогам діючого нормативного документу. Однак просте використання всієї інформації, що надходить при оцінюванні технічного стану трансформаторів, може призводити до непорозумінь, оскільки рівень інформації, яка отримується під час вимірювання того чи іншого параметра, нерідко вважають більш високим, ніж це є в реальності.

### **4.3 Основні напрями діагностування силових трансформаторів**

Згідно з теорією інформації, один з найбільш об'єктивних показників, що дозволяють чисельно оцінити корисність (інформативність) отриманої ознаки – діагно-стична цінність. При наявності статистичних даних цей показник являє собою чисельну оцінку інформації про стан обладнання, яка входить до інтервалу значень параметра, що вимірюється.

Треба окремо відзначити, що під час аналізу діагностичної цінності тієї чи іншої ознаки принципово важливе значення мають такі аспекти:

- чи є показник, що контролюється, функцією фізико-хімічного стану ізоляції або він відстежує супутні зміни при розвитку процесів, які призводять до пошкоджень;
- наявність точної монотонності безперервного коливання величини вимірюемого параметра в часі при розвитку дефекту, який ним характеризується;
- наявність значних відмінностей між значеннями виміряного показника й рівнем розвитку процесу.

Виконання чи невиконання даних умов визначає вид діагностичної цінності (наявність детермінованої або випадкової діагностичної цінності) у тих ознак, які використовуються.

У таблиці 4.3 наведено оцінку виду діагностичної цінності методів контролю процесів, які призводять до пошкоджень трансформатора.

Треба відзначити, що ознаки з випадковою діагностичною цінністю, яка визначається відсутністю монотонності зміни значень при розвитку процесу, що ними контролюється, не можуть бути використані для прийняття рішень про стан обладнання, а тільки в деяких випадках можуть свідчити про необхідність більш детального дослідження.

Таблиця 4.3 – Види діагностики методів контролю

| <b>Метод контролю</b>                                | <b>Аналізуючий процес</b>                                                                               | <b>Вид діагностичної цінності</b>                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Хроматографічний аналіз газів, розчинених у маслі    | Перебіг струмоведучих з'єднань і елементів конятрукції внутрішньої ізоляції, електричний розряд у маслі | Супутній показник фізико-хімічного розпаду ізоляції. Монотонність зміни у часі при розвитку процесу. Детермінована діагностична цінність.                                                      |
| Вимірювання ступеня полімеризації паперової ізоляції | Знос паперової ізоляції                                                                                 | Функція фізико-хімічного розпаду ізоляції. Монотонність зміни у часі при розвитку процесу. Детермінована діагностична цінність.                                                                |
| Вимірювання вмісту фуранових сполучень у маслі       | Старіння паперової ізоляції                                                                             | Супутній показник фізико-хімічного розпаду ізоляції. Відсутність монотонності і значних відмін зміни вмісту від строку експлуатації й ступеня зносу ізоляції. Випадкова діагностична цінність. |
| Вимірювання каламутності масла                       | Колоїдно-дисперсні процеси у високовольтних герметичних вводах                                          | Функція фізико-хімічного стану колоїдно-дисперсної системи. Монотонність у часі при розвитку процесу. Детермінована діагностична цінність.                                                     |
| Вимірювання поверхневого                             | Старіння масла                                                                                          | Функція полярності рідини. Монотонність у часі при                                                                                                                                             |

|                                                      |                                |                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| натягу                                               |                                | розвитку процесу. Детермінована діагностична цінність.                                                                                                  |
| ІЧ-спектрометрія                                     | Старіння масла                 | Супутній показник наявності продуктів старіння масла. Монотонність у часі при розвитку процесу. Детермінована діагностична цінність.                    |
| Тепловізійний контроль                               | Локальні зони перегріву        | Супутній показник теплового стану трансформатора і струмоведучих частин. Монотонність у часі при розвитку процесу. Детермінована діагностична цінність. |
| Вимірювання часткових розрядів                       | Іонізаційні процеси в ізоляції | Супутній показник фізико-хімічного розпаду ізоляції. Відсутність монотонності зміни у часі при розвитку процесу. Випадкова діагностична цінність.       |
| Вимірювання опору короткого замикання                | Деформація обмоток             | Супутній показник зміни геометрії обмоток. Монотонність у часі при розвитку процесу. Детермінована діагностична цінність.                               |
| Метод низьковольтних імпульсів                       | Деформація обмоток             | Супутній показник зміни геометрії обмоток. Монотонність у часі при розвитку процесу. Детермінована діагностична цінність.                               |
| Визначення зусиль пресовки обмоток трансформатора по | Розпресовка обмоток            | Супутній показник ступеня пресовки обмоток. Монотонність у часі при розвитку процесу. Детермінована діагностична цінність.                              |

Широкий спектр показників діагностування стану силових трансформаторів вказує на складність об'єктивної і достовірної оцінки представлених показників.

#### 4.4 Діагностування трансформаторного масла

Наприклад нині для аналізу масла в лабораторіях підприємств в основному використовуються тільки лабора-торні методи так званої «мокрої хімії», які є тривалими, вимагають значної кількості реагентів і розчинників, а також кваліфікованих лаборантів, що мають допуск до роботи з небезпечними хімічними реактивами. У цих умовах основним напрямом зменшення використання даних реативів є використання нових підходів і сучасних методів діагностування та застосу-вання нового лабораторного обладнання.

Останнім часом дуже поширеним методом для аналізу якості трансформаторного це – інфрачервона спектроскопія (ІЧ - спектроскопія). Цей метод аналізу рідкої та твердої ізоляції є перспективним і дає можливість отримати відомості про фактичний стан силових трансформаторів та іншого масло-наповненого обладнання. Ряд промислових компаній вже перейшли на сучасні портативні прилади, які працюють по тих же принципах, що і лабораторне устаткування, але з істотним зменшенням часу аналізу, зменшенням необхідності в реагентах і розчинниках, а також з усуненням вико рис-тання небезпечних і шкідливих хімічних реагентів

Наприклад, нове покоління портативних міні-лабораторій для аналізу масел, серії BALTECH OA “Oil Analyzer”, усувають необхідність в небезпечних реактивах і інтерпретації результатів аналізу масла та значно знижують вартість і час, потрібний для діагностування фактичного стану силових трансформаторів. Основні елементи обладнання мінілабораторії “Oil Analyzer” представлено на рис. 4.4.



Рисунок 4.4 – Портативна мінілабораторія

Особливо цінний цей метод у виконанні переносного ІЧ аналізатора 1100 (рис. 4.5), пропонуваного цією ж компанією.



Рисунок 4.5 – ІЧ- аналізатор 1100 для аналізу трансформаторного масла

Цей прилад дозволяє визначати такі важливі характеристики масла, як вміст води, загальне лужне число, загальне кислотне число, зміст сажі, гліколя, присадок і окислення масла. Крім того, він не вимагає застосування розчинників і пробопідготовки, характерних для класичного лабораторного ІЧ - аналізу. За допомогою ІЧ аналізатора 1100 можливо отримати інформацію про найбільш критичні властивості масла за 2 хвилини.

#### **4.5 Оцінка зносу ізоляції силових трансформаторів**

Оцінку зносу ізоляції силових трансформаторів виконують основними факторами прискореного старіння ізоляції:

- підвищена температура;
- зволоження ізоляції;
- окиснення масла та зростання концентрації кисню; розчиненого в маслі бака трансформатора.

Вирішення цієї проблеми можливе за допомогою математичного напрямку Монтсінгера.

Модифікована формула Монтсінгера для розрахунку відносного зносу ізоляції, для інтервалу часу ( $t_{oto} + T$ ):

$$L(t_0, t_{02} + T) = \int_{t_0}^{t_0 + T} V(\theta_h, K_w, K_a, K_{02}), \quad (4.1)$$

де  $V$  – швидкість відносного зносу ізоляції;  
 $\theta_h$  температура найбільше нагрітої точки обмотки,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $K_w, K_a, K_o$  – коефіцієнти впливу вологи, розчинених кислот та кисню відповідно.

Проведене дослідження вказує на необхідність розробки сучасної інтелектуальної системи діагностування та моніторингу стану силових трансформаторів. За допомогою цієї системи можна вирішувати такі проблеми:

- розробка критеріїв, схем, методів і засобів діагностики силових трансформаторів;
- впровадження прогресивних фізико-хімічних методів оцінки для своєчасного виявлення стану трансформаторного масла;
- підвищення якості і ефективності експлуатації, діагностування та технічного обслуговування і ремонту силових трансформаторів;
- створення системи забезпечення лабораторій уніфікованою вимірювальною апаратурою і методиками виміру та контролю якості вимірів;
- створення нормативно-технічної документації з метою використання сучасних досягнень науки та техніки з технічного обслуговування та ремонту силових трансформаторів;
- перехід на технічне обслуговування та ремонту трансформаторів за фактичним станом.



## **Запитання для самоперевірки**

1. Дайте визначення силовому трансформатору.
2. Яка область використання силових трансформаторів?
3. Від чого залежить термін служби трансформатора?
4. Які основні дефекти силових трансформаторів?
5. Які недоліки експлуатації і ремонту силових трансформаторів?
6. Які основні напрями діагностування силових трансформаторів?
7. Види діагностики методів контролю...
8. У який спосіб здійснюється оцінка зносу ізоляції силових трансформаторів?

## Розділ 5

# МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ЗМІННОГО ТА ПОСТІЙНОГО СТРУМІВ

### *Загальні відомості*

*Електроприводи з електромашинами змінного струму*

*Електроприводи з двигунами постійного струму*

*Характеристика експрес-методів діагностики асинхронних двигунів*

### **5.1 Загальні відомості**

*Електропривід або електропривод* – електромеханічна система для надання руху із заданими параметрами виконавчим механізмам робочих машин в цілях здійснення їх функцій.

Сучасний електропривід – це сукупність електродвигуна, який є джерелом механічної енергії, апаратури керування і захисту, а також механічної, гідравлічної або електричної передачі. Електроприводи (ЕП) є основними споживачами електричної енергії (до 60 %) і головним джерелом механічної енергії в господарській діяльності. При аналізі структури ЕП розрізняють дві основних частини, або канали:

- силову;
- інформаційну.

До силової частини належать електричні двигуни, перетворювачі електричної та механічної енергії, робочі органи, механізми, тобто всі частини електричного приводу, в яких протікає потужна енергія. До інформаційної частини належать пристрої призначенні для керування електричним приводом, контролю технологічного процесу і т.д. Якщо привод не керований, інформаційна частина має бути відсутня. До пристроїв інформаційного каналу відносять давачі, системи керування, моніторингу, лінії зв'язку і т.д.

Найефективнішим способом економії енергії на всіх виробництвах, де потрібне регулювання продуктивності механізмів на базі електродвигунів змінного струму є застосування регульованого електропривода змінного струму.

На рис. 5.1 зображена узагальнена структура ЕП.

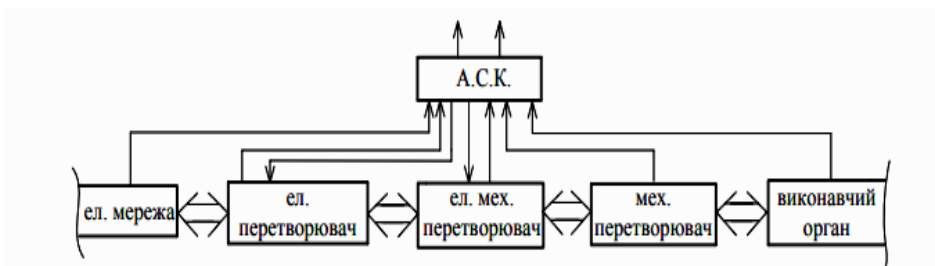


Рисунок 5.1. – Узагальнена структура ЕП

За типом електродвигуна розрізняють електроприводи з:

- 1) нерегульованим асинхронним електродвигуном;
- 2) регульованим асинхронним електродвигуном;
- 3) електродвигуном постійного струму;
- 4) кроковим електродвигуном.

Нерегульовані асинхронні електродвигуни мають найбільше поширення в приводах технологічних машин легкої та текстильної промисловості.

Разом з тим, в останні десятиліття все більш широке застосування знаходять регульовані асинхронні електродвигуни та крокові електродвигуни.

За способом компонування електродвигуна з передавальними і виконавчими механізмами розрізняють індивідуальні та багатодвигунні електроприводи. У першому випадку в машині є тільки один електродвигун, що приводить в рух всі виконавчі механізми. У другому випадку є кілька електродвигунів, кожен з яких надає руху окремий механізм або групу механізмів.

Багаторуховий електропривод в ряді випадків дозволяє знизити металоємність машин за рахунок скорочення числа передач.

За ступенем автоматизації можна виділити наступні групи електроприводів:

- 1) неавтоматизовані;
- 2) автоматизовані;
- 3) автоматичні.

За родом струму – електроприводи постійного струму та електроприводи змінного струму. Електроприводи змінного

струму в свою чергу поділяють на синхронні та асинхронні( залежно від типу електродвигуна).

## 5.2 Електроприводи з електромашинами змінного струму

Реалізація управління керування електромеханічними системами з електромашинами змінного струму (у більшості випадків з асинхронними двигунами) вимагає знання параметрів електричних машин. Тому одним із стандартних функцій сучасних асинхронних електроприводів є визначення параметрів АД при ініціалізації системи. Більшість зарубіжних виробників асинхронних електроприводів мають в своїх виробах цю функцію, яка дістала назву “self-commissioning”.

Ідентифікація електричних параметрів асинхронних двигунів (АД) здійснюється устарілому технологічному обладнанні. Аналіз джерел відповідного спрямування, визначення параметрів асинхронних двигунів, вказує на відсутність простого і надійного методу, який дозволяв би з достатньою точністю визначати всі параметри схеми заміщення, включаючи еквівалентні параметри, що характеризують складові втрат в сталі статора. Регламент випробувань, як правило, обмежується мінімумом даних і параметрів, що встановлюються, виходячи з потреб виробництва, а з можливостей випробувального устаткування. Із загальної кількості пошкоджених електродвигунів, близько 78% ремонтується і 22% замінюються резервними.

Таблиця 5.1 – Основні дефекти електродвигунів

| Тип аварій                          | Частка, % |
|-------------------------------------|-----------|
| Пробій і коротке замикання на землю | 28        |
| Електричні несправності             | 32        |
| Механічні ушкодження                | 31        |

У більшій частині пошкодження проявляються в ізоляції обмоток (50%) і підшипникових вузлах (29%).

В якості причин аварій можна виділити: пробій ізоляції (30%), перегрів (26%) і механічні ушкодження (20%). Причини аварій викликані нормальним фізичним старінням і зносом

(34%), незадовільним мастилом (15%), підвищеною вологістю (10%). Відповідальність за аварію лягає на недостатнє профілактичне обслуговування (17%),

Дана ситуація обумовлена тим, що з кожним роком парк електричних машин і електромеханічного устаткування фізично все більше і більше застаріває так як випуск нових електричних машин істотно знизився (рис. 5.2).

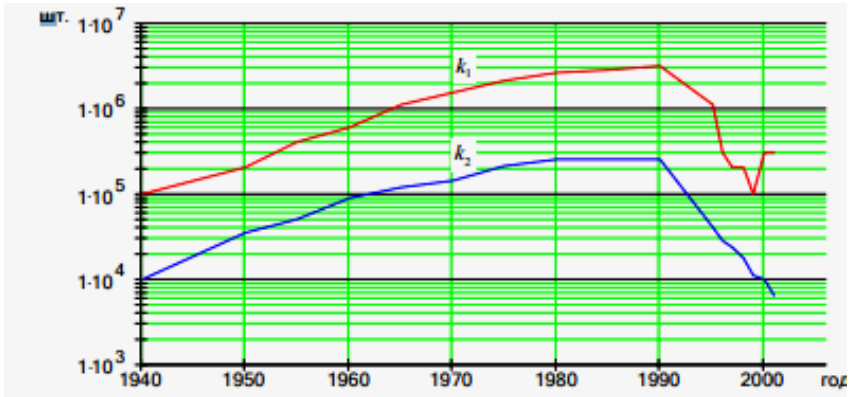


Рисунок 5.2 – Статистичні дані з випуску електричних двигунів:

$k_1$ - електромашини, включаючи заглибні електродвигуни,  $k_2$ - вибухобезпечні електродвигуни

В переважній більшості, об'єкти господарювання прагнуть створювати власні ремонтні підрозділи та цехи, що призводить до зниження надійності електрообладнання через недостатню кваліфікацію ремонтного персоналу, відсутність необхідного випробувального та діагностичного обладнання, порушення технології відновлення і ремонту, тощо. Слід зазначити, що відмови зазвичай передують внутрішні зміни в електромашині, як-то: зростання втрат, температури нагріву, споживаної потужності тощо. Як показує досвід експлуатації численного парку електричних машин загального застосування і спеціального призначення, виділяють два види надійності машини: конструкційну і експлуатаційну.

### 5.3 Електроприводи з двигунами постійного струму

Для початку розглянемо конструкцію двигуна постійного струму (рис. 5.3)

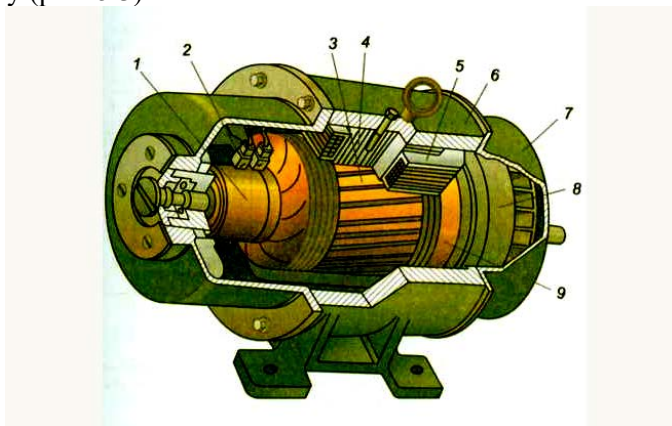


Рисунок 5.3 – Будова двигуна постійного струму:

1 – колектор; 2 – щітки; 3 – сердечник якоря; 4 – полюси; 5 – полюсна котушка; 6 – станина; 7 – підшипниковий щит; 8 – вентилятор; 9 – обмотки якоря

Колекторний двигун постійного струму працює наступним чином. До двигуна підводиться постійний струм. Він проходить через щітки, пластини колектора і в обмотку якоря подається як змінний струм. Таким чином, обмотка якоря стає провідником зі струмом, розміщеним у магнітному полі обмотки збудження. На якір діє механічна сила, яка приводить його в рух і є причиною виникнення обертового магнітного моменту.

Найбільше число відмов в машинах постійного струму припадає на колекторно-щітковий вузол і на підшипники. У системах електрифікованого транспорту згадані відмови складають 44-66%, в екскаваторному приводі – понад 60%.

До характерних пошкоджень колектора відноситься зміна його форми через нерівномірний знос, підгоряння і оплавлення пластин колектора при несприятливій комутації. Пошкодження корпусної ізоляції хоча менш об'ємні, однак наслідки, як правило, більш значимі.

В основному, це:

- порушення ізоляції між провідниками секції;
- розпаювання з'єднувальних півників з колекторними пластинами;
- руйнування бандажів, що утримують обмотку якоря.

Тяжкість наслідків таких пошкоджень пояснюється невчасністю відключення через недосконалість захистів, з одного боку, а також неможливістю миттєвої зупинки двигуна в переважній більшості механізмів через інерційності обертових частин, з іншого. Пошкодження обмотки збудження, додаткових полюсів і компенсаційної обмотки, в основному, пов'язані з пробоем корпусної ізоляції.

Характерно те, що компенсаційні обмотки виходять з ладу порівняно частіше в системах тиристорного електроприводу.

З механічних пошкоджень найбільш характерним є вихід з ладу підшипників – знос вкладишів, руйнування кульок, сепараторів тощо. При цьому в загальній кількості двигунів велику частку складають двигуни ремонтвані, а це, в свою чергу, обумовлює високу аварійність машин постійного струму гірничо-збагачувальних комбінатів у порівнянні з підприємствами підземного видобутку корисних копалин.

Це пояснюється наступним: електропривод постійного струму – в основному екскаваторний, тепло- і електровозів – машин, що експлуатуються в дуже важких умовах; а в умовах шахт – це переважно електропривод підйомних машин, що працюють в стаціонарних умовах з істотною недовантаженням.

## **5.4 Електроприводи з синхронними двигунами**

Синхронні електродвигуни (СД) не так поширені, як асинхронні з короткозамкненим ротором. Але використовуються там, де потрібен великий крутний момент і в процесі роботи будуть відбуватися часті перевантаження. Також такий тип двигунів використовуються там, де потрібна велика потужність, щоб приводити в рух механізми, завдяки високому коефіцієнту потужності та можливості покращувати коефіцієнт потужності мережі, що істотно знизить витрати на електроенергію і навантаження на лінії.

У конструктивному відношенні синхронні двигуни більш складні, ніж асинхронні. Чітко вимальовуються показники – надійності машин по обмотки і роторної обмоток.

Міжвиткові замикання і замикання секцій на корпус – основні причини відмов статорних обмоток. При цьому найбільш вразливі елементи конструкції статорних обмоток – лобові частини, зокрема, через порушення ізоляції з причин механічних зусиль, що виникають в період запуску.

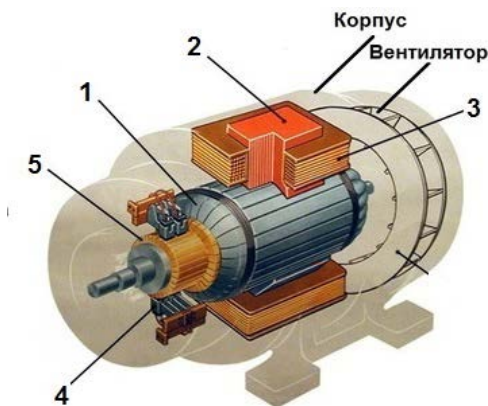


Рисунок 5.4 – Конструкція синхронного двигуна:

- 1 – якір; 2 – сердечник полюса; 3 – обмотки полюса; 4 – щітки;  
5 – колектор

Значення і характер зусиль залежить від рівня напруги живлення і напруги на затискачах в період пуску, саме ж вплив на обмотку залежить і від тривалості пуску. Істотний вплив робить навколишнє середовище і культура обслуговування.

Вихід з робочого стану роторів обумовлений порушенням пускової і демпферної обмоток та порушенням в обмотці збудження. Пошкодження пускової обмотки, як правило, пов'язані з важкими умовами пуску, зокрема, при запуску під навантаженням, залежить від рівня напруги живлення.

Практика показує, що в потужних електропостачальних мережах частіше виходить з робочого стану обмотка статора, тобто динамічні зусилля великі, а час запуску мінімальний.

При великих зниженнях напруги під дією пускових струмів частіше пошкоджується пускова обмотка через збільшення часу пуску.

### 5.5 Характеристика експрес-методів діагностики асинхронних двигунів

Асинхронний двигун – це простий і надійний пристрій, здатний перетворити електричну енергію на механічну. Його винайшов інженер Доліво-Добровольський наприкінці 19 століття. На рис 5.5. зображено конструкцію та схеми з'єднання обмоток статора.



Рисунок 5.5 – Конструкція асинхронного двигуна

В асинхронному електромоторі джерелом поля, що обертає, виступають обмотки статора. Під дією утвореного обмотками магнітного потоку в провідниках елемента, що обертається, формується електрорушійна сила. Коли магнітний потік статора починає взаємодіяти з індукованим струмом в

обмотці частини, що обертається, з'являється електромагнітна сила. Вона починає обертати вал електродвигуна.

Процес автоматизації управління технологічними процесами шляхом використання діагностування технічного стану електродвигунів в робочих режимах дозволяє до мінімуму знизити збиток від наслідків виходу з ладу, за рахунок раннього виявлення дефектів, що зароджуються.

Використання методів і засобів контролю та аналізу поточного технічного стану також дозволяє впровадити технологію обслуговування електродвигунів за станом", суть якої полягає в тому, що обслуговування і ремонт проводяться в залежності від реального поточного технічного стану механізму, контрольованого в процесі експлуатації без будь-яких розборок і ревізій на базі вимірювань відповідних параметрів. При цьому витрати на технічне обслуговування електродвигунів знижуються на 50-75% в порівнянні з обслуговуванням за регламентом (система планово-попереджувальних ремонтів).

Експрес-методи діагностики дозволяють слідкувати за параметрами робочої машини під час її роботи, проводити налаштування систем контролю, та управління за даними, отриманими під час експлуатації. Дані методи не потребують додаткового, або специфічного обладнання для зменшення напруга, або частоти мережі, не потрібно вилучати електродвигун з технологічного процесу за для отримання його електромагнітних характеристик. Методи експрес-діагностики, які було обрано для більш детального аналізу приведені в табл. 4.2. Представлені експрес-методи не потребують додаткового обладнання, та можуть застосовуватись на підприємствах для більш швидкого та якісного діагностування асинхронних двигунів.

Таблиця 2.2 – Методи експрес-діагностики АД

| Назва методу                                                                      | Мета методу                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Метод контролю параметрів електричного двигуна на основі аналізу пускових струмів | Суть методу полягає в тому, що проводиться пуск електродвигуна при понижений напрузі, рівній напрузі яка застосовується в досліді короткого замикання, але ротор двигуна не зупиняють |

|                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Діагностика асинхронного електроприводу за даними вимірів робочого режиму                                              | Метод діагностики технічного стану обмоток статора і ротора асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором за результатами вимірювання пара-метрів робочого режиму (фазні струми і напруги електродвигуна, споживана їм потужність, частота обертання), без таких недоліків як похибки діагностування при наявності пульсацій і гармонійних складових в напрузі, а також труднощі, пов'язані з оцінкою технічного стану електродвигуна |
| Розрахунково-експериментальне визначення параметрів схем заміщення і характеристик асинхронних двигунів                | Розробка методу, що дозволяє за даними експлуатаційних режимів пуску і роботи під навантаженням асинхронного електродвигуна визначити параметри схеми заміщення, яка враховує втрати в сталі і вплив ефекту витіснення струму в роторі, а також алгоритму розрахунку по знайденим параметрам двигуна сталих і перехідних режимів роботи приводу                                                                                                |
| Спосіб визначення параметрів і робочих характеристик асинхронного двигуна без сполучення з наванта-жувальним пристроєм | Спосіб визначення параметрів і робочих характеристик без сполучення з навантаженням, що дозволяє визначати більшу кількість параметрів при номінальній напрузі з використанням звичайної вимірювальної апаратури                                                                                                                                                                                                                               |

### 5.5.1 Діагностика асинхронного електроприводу за даними вимірів робочого режиму

В даному методі була запропонована методика діагностики технічного стану обмоток статора та ротора АД з короткозамкненим ротором по результатам виміру параметрів робочого режиму (фазні струми та напруги електродвигуна, споживана потужність, частота обертання).

Встановлено, що при появі дефектів в обмотках двигуна в струмах статора, ковзанні та активній потужності, з'являються періодичні пульсації.

Симетричні складові прямої та зворотної послідовностей знаходяться за даними вимірів фазних величин. На підставі контролю пульсацій в обвідний струму статора представляється можливість визначити ковзання асинхронного електродвигуна.

При цифровій реєстрації струмів задовільна точність має місце при частотах їх фіксації в (20-30) разів більше частоти мережі  $f_1$ . Час контролю ( $t_{\text{контр.}}$ ) має бути не менше:

$$t_{\text{контр.}} \geq \frac{k_1}{S_n} \frac{P}{P_n}, \quad (5.1)$$

де  $k_3 = 1,5-2,5$  – коефіцієнт запасу;  $P$  – споживана активна потужність визначена за результатами контролю.

Висновок про місце виникнення (обмотка статора або ротора) і вигляді виниклого дефекту (обрив гілок паралельної обмотки статора і стрижнів обмотки короткозамкненого ротора, виткові замикання, порушення контактів, паяних або зварних з'єднань в обмотках статора і ротора) дається на підставі аналізу сукупності зміни величини критерію діагностування та параметрів робочого режиму електродвигуна.

Переваги запропонованого методу є непереривний контроль стану обмоток статора та ротора АД по даним вимірів фазних струмів та напруг.

### **5.5.2 Метод контролю параметрів електричного двигуна на основі аналізу пускових струмів**

Сутність запропонованого методу полягає в експериментальному визначенні параметрів схеми заміщення за допомогою вимірювання миттєвих значень струму, напруги та потужності.

Особливістю запропонованого методу випробувань від методу, рекомендованого ГОСТ та інших аналогічних методів

випробування асинхронних двигунів, є те, що при проведенні досліду не загальмовується ротор двигуна.

Замість загальмування ротора проводиться пуск двигуна при зниженій напрузі, рівній напрузі, під час проведення досліду короткого замикання.

Це пояснюється тим, що при пуску асинхронного двигуна при зниженій напрузі в перші періоди ротор не обертається через невеликий крутний момент, пропорційного квадрату напруги, а вимірювання параметрів виробляються при проходженні через обмотки статора періодичного струму, що забезпечує їх точність і незалежність.

#### 5.4.3 Аналіз параметричної несиметрії АД в процесі експлуатації

Одним з основних видів несправності, що виникають в ході експлуатації АД, є виткове замикання фазних обмоток статора, яке призводить до локального перегріву обмотки статора, що сприяє подальшому зростанню цього дефекту і остаточного виходу АД з робочого стану.

Завиткового замикання зменшується число витків фазної обмотки статора, що призводить до зміни активного опору обмотки статора через скорочення довжини провідників, і зміни індуктивного опору розсіювання через зменшення числа витків фазної обмотки. Формули для обчислення активного опору статора:

$$R_s = \rho \cdot l_c \cdot \frac{W_a}{a} \cdot \frac{1}{A_{\cos}} \cdot K_R, \quad (5.2)$$

де  $l_c$  – довжина витка;  $W_a$  – кількість витків у секції;  $K_R$  – відношення фазного опору на змінному та постійному струмі;  $a$  – кількість секцій;  $\rho$  – питомий опір матеріалу обмотки;  $A_{\cos}$  – площа перерізу проводу.

Активний опір обмотки статора вимірюється в процесі приймально-здавальних випробувань, проте його величина залежить від теплового стану електродвигуна, яке змінюється в

процесі роботи залежно від режиму роботи. Особливо це характерно для повторно-коротко-часного режиму роботи.

Величина активного опору обмотки статора в процесі роботи АТ може змінюватися на 20-30%, тому необхідно визначати його поточне значення для використання при динамічній ідентифікації параметрів і змінних стану АД.

Знання величини активного опору обмотки статора асинхронного електродвигуна дозволяє при виміряних фазних токах і напружених отримати оцінку потокозчеплення статора, а потім і електромагнітного моменту.

Незважаючи на те, що активний опір обмотки статора є для прямого виміру, в виробничих умовах це в багатьох випадках недоцільно або неприпустимо через необхідність відключення обмотки статора від мережі і використання вимірювальної апаратури.



### Запитання для самоперевірки

1. Електропривод це...
2. Які основні дефекти електродвигунів?
3. Які основні пошкодження корпусної ізоляції двигунів постійного струму?
4. Які основні механічні пошкодження двигунів постійного струму?
5. Які основні пошкодження синхронних двигунів?
6. Методи експрес-діагностики АД.
7. В чому полягає діагностика асинхронного електроприводу за даними вимірів робочого режиму?
8. Аналіз параметричної несиметрії АД в процесі експлуатації.

## **Розділ 6**

# **ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ТА ЇХ ОБЛАДНАННЯ**

*Загальна інформація*  
*Система моніторингу технічного стану*  
*розподільчих електричних мереж*  
*Діагностика повітряних ліній*

### **6.1 Загальна інформація**

*Електричні мережі* – це технічні пристрої, призначені для передачі електроенергії від електростанцій (ЕС) до споживачів і розподілу її між споживачами. Електричні мережі складаються з передавальних елементів – ЛЕП і перетворюючих елементів – трансформаторів і додаткових пристроїв, що забезпечують захист і регулювання режимів електричних систем.

*Лінія електропередачі (ЛЕП)* – це електроустановка, призначена для передачі електроенергії (рис. 6.1).



Рисунок 6.1–ПЛ 330 кВ “Новокаховська-Херсонська”

*Електрична підстанція* – це електроустановка, призначена для перетворення електроенергії однієї напруги в електроенергію іншого рівня напруги. Підстанції складаються з трансформаторів, збірних шин і комутацій-них апаратів, а також

допоміжного устаткування: пристроїв релейного захисту й автоматики та вимірювальних приладів.

Функції розподілу електроенергії виконують, крім того, розподільні пункти (РП), що відрізняються від ПС тим, що не мають силових трансформаторів

*Класифікація електричних мереж.* Кожна мережа характеризується номінальною напругою. Розрізняють номінальні напруга ЛЕП, генераторів, трансформаторів і електроприймачів.

Номінальна напруга генераторів за умовою 330 кВ, високої напруги  $\geq$  компенсації втрат напруги в мережі приймають на 5% вище номінальної мережевої напруги.

За родом струму розрізняють мережі змінного і постійного струму, по напрузі:, надвисокої напруги  $\geq 330$  кВ, високої напруги 3-220 кВ, , низької напруги  $U_n < 1$  кВ.

По виконуваних функціях розрізняють системо-виконуючі, районні і розподільні мережі.

Системоутворюючі мережі – це мережі 330 кВ і вище.

Живильні мережі призначені для передачі електроенергії від підстанцій системоутворюючій мережі до центрів живлення розподільних мереж – районним підстанціям [27].

## **6.2 Система моніторингу технічного стану розподільчих електричних мереж**

Реформування енергетичної галузі України поставило перед суспільством чимало важливих завдань, одним з яких є пошук нових форм та методів управління розвитком електроенергетики, у тому числі створення умов для забезпечення ефективної роботи розподільчих електричних мереж.

Пріоритетом для суб'єктів електроенергетичного ринку стає економічна вигода здійснення підприємницької діяльності, тому спостерігається скорочення інвестицій в оновлення основних фондів та бажання якомога довше експлуатувати наявне обладнання, що в свою чергу призводить до зниження надійності електропостачання.

Ця проблема зокрема стосується електропередаваль-них організацій (ЕПО), які виступають власниками розподільчих електричних мереж.

Система оцінювання технічного стану обладнання електричних мереж є невід'ємною складовою забезпечення надійності електропостачання за умов подальшого розвитку ринкових відносин в електроенергетичній галузі.

Розроблено систему оцінювання технічного стану окремих елементів мереж, а саме повітряних ліній, порталів і стояків відкритих розподільчих установок. Уведено в дію нормативний документ, що дозволяє виконати облік та аналіз технічного стану розподільчих мереж 0,4-20 кВ.

Отримали подальший розвиток автоматизовані системи моніторингу, які дозволяють проводити комплексну оцінку технічного стану, прогнозування залишкового ресурсу та удосконалення систем керування технічним станом. Їх впровадження дозволяє перейти до проведення поточних і капітальних ремонтів на основі оцінки фактичного технічного стану устаткування.

Через високу вартість поки що автоматизовані системи моніторингу використовують тільки для найбільш відповідальних об'єктів, але розвиток інтелектуальних мереж («smart grid») сприятиме подальшому поширенню цих технологій. Та не зважаючи на досить значний науковий та практичний досвід оцінювання технічного стану основного електрообладнання, процедура прове-дення моніторингу технічного стану розподільчих мереж ЕПО проходить перші етапи впровадження, а отже потребує ретельного вивчення [25].

Поняття моніторинг визначають як безперервне стеження за певним процесом з метою виявлення його відповідності бажаному результату, а також прогнозування та запобігання критичним ситуаціям.

Тобто, моніторинг технічного стану електричних мереж – це науково обґрунтована система регулярного визначення технічних параметрів об'єктів розподільчих електричних мереж, яку виконують державні структури спільно з ЕПО для вирішення наступних завдань:

- визначення рівня надійності об'єкту в цілому (електричних мереж ЕПО) та його окремих складових (повітряних та кабельних ліній, трансформаторних підстанцій тощо);

- забезпечення як оперативними даними для виявлення раптових змін, так і даними, що спостерігаються на тривалих проміжках часу, для довгострокового аналізу інформації;

- надання можливості складання звітів, виданні попереджень при зниженні надійності роботи електричних мереж, збереження усіх отриманих даних та ведення постійного аналізу окремих об'єктів;

- надання реальної основи для прийняття рішень щодо проведення модернізації та вчасного обслуговування об'єктів електричних мереж.

Така система моніторингу повинна відповідати наступним вимогам: об'єктивність даних моніторингу, забезпечення повноти і своєчасності подання інформації, визначеність алгоритмів обробки одержаної інформації, а також наявність певної системи управління, яка забезпечить гнучкість впровадженої системи у досягненні цілей моніторингу.

У якості основних елементів системи моніторингу можна виділити суб'єкт та об'єкт моніторингу, а також контрольовані показники.

Оцінювання технічного стану розподільчих мереж проводиться за формою 56-енерго з періодичністю один раз на рік. ЕПО, які здійснюють постачання електричної енергії за регульованим тарифом, подають інформацію про технічний стан об'єктів електричних мереж Держенергонагляду та до Головного інформаційно-обчислювального центру Міністерства енергетики та вугільної промисловості України.

Суб'єктами моніторингу виступають Національна комісія регулювання електроенергетики України (на етапі затвердження інвестиційних програм), хоча інформацію для аналізу надає безпосередньо сама ЕПО [26].

В табл. 6.1 наведено класифікацію видів моніторингу технічного стану розподільчих мереж

Таблиця 6.1 – Класифікація видів моніторингу технічного стану розподільчих мереж

| <b>Критерій класифікації</b> | <b>Види моніторингу</b>                                                                                                           |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| За класом напруги            | - моніторинг мереж 154, 110 кВ,<br>- моніторинг мереж 27, 35 кВ,<br>- моніторинг мереж 10, 6, 3 кВ,<br>- моніторинг мереж 0,38 кВ |
| За об'єктом спостереження    | - моніторинг силових трансформаторів,<br>- моніторинг кабельних ліній,<br>- моніторинг повітряних ліній                           |
| За рівнем проведення         | - на рівні району електромереж (РЕМ),<br>- на рівні електропередавальної організації (ЕПО),<br>- на рівні ОЕС України             |
| За часовим горизонтом        | - оперативний,<br>- тактичний,<br>- стратегічний                                                                                  |
| За періодичністю             | - безперервний, - періодичний (календарна чи поетапна форми)                                                                      |

Суб'єктами моніторингу виступають Національна комісія регулювання електроенергетики України (на етапі затвердження інвестиційних програм), хоча інформацію для аналізу надає безпосередньо сама ЕПО [26].

### **6.3 Діагностика повітряних ліній**

*Повітряна лінія електропередачі (ПЛ)* – пристрій для передавання та розподілу електричної енергії по дротах, розташованих на відкритому повітрі та прикріплених до опор або кронштейнів і стійок на інженерних спорудах за допомогою ізоляторів і арматури. Відгалуження до вводів у будівлі належать до ПЛ.

На ПЛ 110 кВ застосовуються тільки підвісні ізолятори; на ПЛ 35 кВ і нижче можуть застосовуватися як підвісні, так і штирові ізолятори.

Під час пробою ізолятора в гірлянді, його діелектрична “спідниця” руйнується і падає на землю в разі виконання

спідниці зі скла, а в разі пробою фарфорового ізолятора спідниця залишається цілою. Тому несправні скляні ізолятори видно неозброєним оком, тоді як діагностика порцелянових ізоляторів, що вийшли з ладу, можлива тільки за допомогою спеціальних приладів, наприклад, приладу ультрафіолетова діагностика «Філін».



Рисунок 6.1 – Ультрафіолетова діагностика

Повітряні лінії (ПЛ) електропередачі напругою 35 кВ і вище є основними в системах передачі електроенергії. І тому дефекти та несправності, що відбуваються на них, вимагають негайної локалізації та усунення.

Аналіз аварій повітряних ліній показує, що щорічно відбуваються численні відмови ПЛ унаслідок зміни властивостей матеріалу проводів та їхніх контактних з'єднань (КС): руйнування проводів через корозію та вібраційні впливи, стирання, зношення, втомлювані явища, окиснення та ін.

Крім того, з кожним роком зростає кількість пошкоджень порцелянових, скляних і полімерних ізоляторів. Існує безліч методів і систем для діагностики перерахованих вище елементів, однак вони, як правило, є трудомісткими, мають підвищену небезпеку і, крім того, вимагають відключення обладнання від напруги.

Високою продуктивністю характеризується метод обстеження ПЛ вертолітним патрулюванням.

За день роботи (5-6 год) оглядають до 200 км ліній. Під час вертолітного патрулювання проводяться такі види робіт:

- тепловізійна діагностика ПЛ, ізоляторів, контактних з'єднань і арматури з метою виявлення елементів, що піддаються температурному нагріву внаслідок дефектів, що виникають;
- ультрафіолетова діагностика ПЛ, ізоляторів, контактних з'єднань з метою виявлення коронних розрядів на них;
- візуальний контроль опор, ізоляторів, контактних з'єднань за допомогою відеокамер з високою роздільною здатністю).

Застосування тепловізорів дає змогу набагато спростити процес контролю стану розрядників, встановлених на повітряних лініях 35, 110 кВ. На основі термограми можна визначати не тільки фазу розрядника з підвищеним струмом провідності, а й конкретний дефектний елемент, що вплинув на зростання цього струму.

Використання авіаційних інспекцій у міру розвитку технологій обстеження збільшується і в зарубіжних країнах. Наприклад, фірма TVA працює над застосуванням під час авіаційних інспекцій інфрачервоних камер із високою роздільною здатністю на стабілізованій підвісці та камери DayCог для виявлення корони на елементах ПЛ у денний час, радар для виявлення гниючих дерев'яних опор тощо.

Провідним фахівцем Горюшко В. В. – директора з інформаційних технологій «НЕК «Укренерго», м. Київ; пропонується використання коптерів для моніторингу повітряних ліній.

Описано обладнання необхідне для моніторингу повітряних ліній. Особлива увага надається зарядному пристрою, який дозволяє збільшити дальність польоту коптера [31]. Утворення корони на елементах ПЛ (рис. 6.2) свідчить про замикання, тріщини або забруднення керамічних ізоляторів чи обриви пасом проводів. При короні виникає слабке ультрафіолетове випромінювання, яке не можна побачити в денний час. Камера DayCог завдяки фільтру, що пропускає

тільки ультрафіолетове випромінювання в діапазоні довжин хвиль 240 - 280 нм, дає змогу виявити корону в денний час.

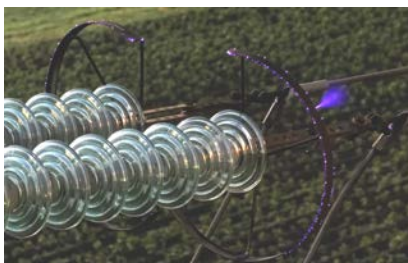


Рисунок 6.2– Коронний розряд на ЛЕП 330 кВ

### 6.3.2 Діагностики стану опорно-стрижневих ізоляторів і кераміки високовольтних вводів

Для оперативної діагностики стану опорно-стрижневих ізоляторів (рис 6.3) і кераміки високовольтних вводів використовується малогабаритний переносний вібродіагностичний прилад “Аякс-М”.



Рисунок 6.3 – Опорно-стрижневих ізолятори

Для отримання діагностичної інформації на черевик опорного ізолятора чиниться ударний вплив, після чого в ньому збуджуються резонансні коливання. Параметри цих коливань

пов'язані з технічним станом ізолятора. Поява дефектів будь-якого типу призводить до зниження частоти резонансних коливань і збільшення швидкості їх загасання. Для усунення впливу резонансних коливань конструкцій, пов'язаних з ізолятором, реєстрацію вібрацій проводять після двох ударів - по верхньому і нижньому черевикам ізолятора.

На підставі порівняння спектрів резонансних коливань під час удару по верхній і нижній частинах ізолятора проводять оцінку технічного стану та пошук дефектів.

За допомогою приладу “Аякс-М” можна проводити діагностику стану опорної ізоляції і пошук дефектів наступних типів: наявність тріщин у кераміці ізолятора або місця закладення кераміки в опорні черевики; наявність пористості в кераміці ізолятора; визначення коефіцієнта технічного стану ізолятора.

За підсумками діагностики визначаються категорії стану ізолятора – “потребує заміни”, “потребує додаткового контролю” або “може експлуатуватися”. Зареєстровані параметри стану ізолятора можуть бути записані в довготривалу пам'ять приладу і, надалі, в пам'ять комп'ютера для зберігання і обробки.

### **6.3.3 Оцінки стану вентильних розрядників**

Розрядники служать для захисту від комутаційних, резонансних і атмосферних перенапружень. Комутаційні перенапруження виникають при нормальних оперативних включеннях і відключеннях, а також при аварійних замиканнях фази на землю, коротких замиканнях, обривах проводів.

Захист від атмосферних перенапружень використовується для повітряних ліній електропередачі і розподільних пристроїв.

Захист від прямих ударів блискавки здійснюється за допомогою стрижньових громовідводів (або сіток). Захисна дія такого громовідводу характеризується простором навколо нього, яке не вражається грозовими розрядами і називається зоною захисту.

Для оцінки стану вентильних розрядників використовують такі випробування:

- вимірювання опору;

- вимірювання струму провідності при випрямленій напрузі;
- вимірювання пробивної напруги;
- тепловізійний контроль.
- Для оцінки стану обмежувачів перенапруг використовуються такі випробування:
  - вимірювання опору;
  - вимірювання струму провідності;
  - тепловізійний контроль.

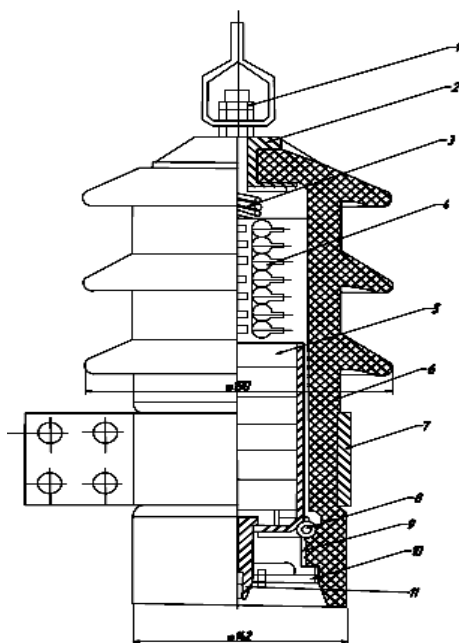


Рисунок 6.4 – Вентильний розрядник РВП-10:

1-ввод, 2-гумова шайба, 3-пружина, 4-іскрові проміжки, 5-блок вілітових дисків, 6-фарфоровий кожух, 7-хомутобразна скоба, 8-стопорна пружина, 9-герметизуюче заповнення, 10-зовнішня діафрагма, 11-болт заземлення.

### **6.3.4 Діагностика стану проводів**

Для визначення можливих проблемних місць на лініях електропередачі, що виникають через вібрацію, вико ристовується відповідний прилад для контролю та аналізу вібрації проводів ліній електропередачі.

Прилад повинен давати змогу оцінювати на місці в реальних погодних умовах характеристики вібрації ліній електропередачі з різною конструкцією, натягом дротів і технічним забезпеченням, визначати номінальний термін служби дротів, що піддаються вібрації. являє собою вібраційний інструмент, що використовується на місці для контролю та аналізу вібрації проводів повітряних ліній електропередачі під дією вітру. Він повинен також вимірювати частоти й амплітуди всіх циклів вібрації, зберігає дані в матриці з високою чіткістю й обробляє результати для забезпечення оцінки середньої тривалості терміну служби досліджуваних проводів.

Методи вимірювання та оцінки ґрунтуються на міжнародному стандарті IEEE і процедурі CIGRE. Пристрій може бути встановлений безпосередньо на дріт біля будь-якого типу затискачів.

### **6.3.5 Дефектоскопія проводів і грозозахисних тросів повітряних ліній електропередачі**

Надійність ПЛ залежить від міцності сталевих канатів, які використовуються як струмоведучі, несучі елементи в комбінованих проводах, грозозахисних тросів, відтяжок. Контроль технічного стану ПЛ та її елементів ґрунтується на порівнянні виявлених дефектів із вимогами норм і допусків, наведених у проєктних матеріалах обстежуваної ПЛ, у державних стандартах, ПУЕ, СНиП, ТУ та інших нормативних документах. Стан проводів і тросів зазвичай оцінюють під час візуального огляду. Однак такий метод не дає змоги виявляти обриви всередині проводів.

Для достовірної оцінки стану проводів і тросів ПЛ необхідно застосовувати неруйнівний інструментальний метод за допомогою дефектоскопа, який дає змогу визначити як втрату їхнього перерізу, так і внутрішні обриви дротів.

### 6.3.6 Тепловий метод діагностики повітряних ліній

Виявити витік тепла і запобігти аварії, пов'язаній з перегрівом на повітряних лініях, можна на ранніх етапах його появи. Для цієї мети використовують тепловізори або пірометри.

Оцінка теплового стану струмоведучих частин та ізоляції ПЛ залежно від умов їхньої роботи та конструкції здійснюється:

- за нормованими температурами нагрівання (перевищеннями температури);
- надлишковою температурою;
- динамікою зміни температури в часі;
- зі зміною навантаження;
- шляхом порівняння вимірних значень температури в межах фази, між фазами, зі свідомо справними ділянками.

Граничні значення температури нагріву та її перевищення наведені в регламентуючих директивах РД 153-34.0-20363-99 “Основні положення методики інфрачервоної діагностики електрообладнання та ПЛ”, а також в “Інструкції з інфрачервоної діагностики повітряних ліній електропередач”.

Для контактів і контактних з'єднань розрахунки ведуть за струмів навантаження (0,6 - 1,0)  $I_{ном}$  після відповідного перерахунку. Перерахунок перевищення виміряного значення температури до нормованого здійснюється виходячи зі співвідношення:

$$\frac{\Delta T_{ном.}}{\Delta T_{роб}} = \frac{0,5 I_{ном.}}{I_{роб}}, \quad (6.1)$$

де  $\Delta T_{ном}$  - перевищення температури при  $I_{ном}$ ;

$\Delta T_{роб}$  - перевищення температури при  $I_{роб}$ ;

Для контактів за струмів навантаження (0,3 - 0,6)  $I_{ном}$  оцінка їхнього стану проводиться за надлишковою температурою. Як норматив використовується значення температури, перераховане на 0,5  $I_{ном}$ . Для перерахунку використовується співвідношення:

$$\frac{\Delta T_{0,5}}{\Delta T_{роб}} = \frac{0,5 I_{ном}}{I_{роб}},$$

де  $\Delta T_{0,5}$  – надлишкова температура за струму навантаження  $0,5 I_{ном}$ .

Тепловізійний контроль обладнання та струмове-дучих частин за струмів навантаження нижче  $0,3 I_{ном}$  не ефективний для виявлення дефектів на ранній стадії їхнього розвитку.

Дефекти, виявлені за зазначених навантажень, слід відносити до дефектів за аварійного ступеня несправності. І незначну частину дефектів слід відносити до дефектів зі ступенем несправності, що розвивається. Слід зазначити, що не існує оцінки ступеня несправності дефектів на поверхнях обладнання, що непрямо перегріваються.

Непрямі перегріву можуть бути викликані прихованими дефектами, наприклад тріщинами, усередині ізоляторів роз'єднувача, температуру яких вимірюють зовні, водночас часто дефектні частини усередині об'єкта бувають дуже гарячими і сильнообгорілими.

Обладнання з непрямыми перегріву слід відносити до другого або третього ступеня перегріву. Оцінку стану з'єднань, зварних і виконаних обтисненням, слід проводити за надлишковою температурою.

Перевірка всіх видів проводів повітряних ліній електропередачі тепловізійним методом проводиться:

- ПЛ, що знову вводяться в експлуатацію, - у перший рік введення їх в експлуатацію при струмовому навантаженні не менше 80 %;

- ПЛ, що працюють із граничними струмовими навантаженнями, або живлять відповідальних споживачів, або працюють в умовах підвищених забруднень атмосфери, великих вітрових і ожеледних навантажень, - щорічно;

- ПЛ, що перебувають в експлуатації 25 років і більше, у разі відбраковування 5 % контактних з'єднань - не рідше 1 разу на 3 роки;

- інших ПЛ - не рідше 1 разу на 6 років.

### 6.3.7 Ультразвукова діагностика опор повітряних ліній

Опора є основним елементом повітряної лінії електропередач. Її призначення підтримувати проводи на певній висоті від землі, а також ізолятори та арматуру для кріплення.

За призначенням

Опори за призначенням поділяють на анкерні, проміжні, перехідні й кінцеві.

- Анкерні опори забезпечують постійний натяг проводів ЛЕП. Поділяються на кінцеві, що встановлюють на початку та в кінці повітряної лінії та анкерно-кутові, що встановлюють у місцях повороту траси повітряної лінії.

- Проміжні опори забезпечують підтримання проводів між двома анкерними опорами.

- Перехідні опори використовуються для переходу траси ЛЕП через широкі річки, озера та інші перешкоди.

На рис. 6.5 зображена ґратчаста металева опора.



Рисунок 6.5 – Ґратчаста металева опора

Оцінка стану залізобетонних опор здійснюється ультразвуковим приладом поверхневого прозвучування.

Постійне спостереження за станом опор ПЛ дає змогу не тільки запобігти аваріям, а й істотно підвищити рентабельність експлуатації електричних мереж, виконуючи ремонт лише тих опор, які справді потребують ремонту або заміни. Значна частка опор ПЛ у нашій країні та за кордоном виконана із залізобетону.

Поширеним видом залізобетонної опори є стійка у вигляді товстостінної труби, виготовлена методом центрифугування. Під впливом кліматичних чинників, вібрації та робочого навантаження бетон стійки змінює структуру, розтріскується, зазнає різноманітних ушкоджень і в результаті стійка поступово втрачає свою несучу здатність. Тому для визначення необхідності заміни стійки потрібні регулярні обстеження всіх стійок електричних мереж. Такі обстеження запобігають також зайвому відбраковуванню опор.

Можливість об'єктивної оцінки несучої здатності центрифугованих залізобетонних стійок опор ґрунтується на тому, що зі зміною структури бетону і появою в ньому дефектів відбувається погіршення міцності бетону, що проявляється у зменшенні швидкості поширення ультразвукових коливань.

Причому, з огляду на конструктивні особливості стійок і характер навантажень на них, зміни властивостей бетону в напрямках уздовж і впоперек стійки виявляються неоднаковими: швидкість ультразвуку в поперечному напрямку з часом знижується швидше, що, мабуть, можна пояснити підвищенням концентрації мікротріщин із переважно поздовжньою орієнтацією.

За зміною величин швидкостей поширення ультразвуку вздовж і впоперек стійки в процесі її експлуатації, а також за їхнім співвідношенням можна судити про ступінь втрати несучої здатності стійки й ухвалювати рішення про її заміну [28].

## Запитання для самоперевірки

---

1. Електричні мережі – це...
2. Лінія електропередачі (ЛЕП) – це...
3. Електрична підстанція – це...
4. Які задачі вирішує моніторинг технічного
5. стану електричних мереж?
6. Які ПЛ є основними в системах передачі Електроенергії?
7. Що свідчить про замикання проводів ПЛ?
8. Що використовують для оцінки стану вентильних розрядників?
9. Яким чином діагностують розрядники?
11. Який принцип діагностування опор ?

## **Розділ 7**

### **СУЧАСНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ**

*Розробка блок-схем алгоритмів діагностування*  
*Моделювання компонентів електроустаткування*  
*Мехатронні системи діагностування*  
*Підготовка алгоритму пошуку несправностей і діагностики*  
*Мехатронні системи діагностування*

#### **7.1 Розробка блок-схем алгоритмів діагностування**

Діагностика електроустаткування і пошук несправностей в ланцюгах керування електромеханічних пристроїв займає важливе місце при технічному обслуговуванні й ремонті транспортних засобів. Постійне зростання числа електричних блоків і різних спеціальних електронних пристроїв, що впроваджуються на транспорті, в корені змінили прийоми діагностики, засновані раніше на ручних інтуїтивних методах.

##### **7.1.1 Графічне представлення алгоритмів діагностування**

Блок-схема – упорядкована сукупність різних графічних форм, що символізують певні операції, які поєднані між собою стрілками, що показують напрямок розвитку подій у програмі за певними умовами. Блоки умовно можна розділити на:

- 1) блоки початку і кінця алгоритму (овальна форма);
- 2) блоки обробки даних (прямокутна форма);
- 3) блоки перевірки умов (ромбовидна форма з двома точками виходу).

За структурою блок-схеми алгоритмів вирішення завдань діагностування електрообладнання ТО розділяють на лінійні, гілкові й циклічні.

Концептуальна блок-схема – це перерахування в логічному порядку найважливіших подій процесу діагностування.

Функціональна блок-схема – відбиває сукупність процесів або операцій, деталізація яких залежить від технічних засобів, що використовують при діагностуванні електрообладнання.

### **7.1.2 Вибір етапів діагностування електроустаткування**

При розробці блок-схеми алгоритму діагностування електроустаткування при цьому мається на увазі реалізація декількох етапів :

1. Визначення технічного стану пристрою, що діагностується.

2. Пошук і локалізація устаткування, що має відмови або несправності.

3. Прогнозування залишкового ресурсу пристрою після ремонту. В автомобілях і електромобілях, використовуваних для механізації ручної праці в муніципальному господарстві, основними компонентами електроустаткування є: базове електроустаткування транспортного засобу і спеціалізоване електроустаткування, використовуване для механізації виконуваних робіт (електроприводи, блоки керування, допоміжні електротехнічні засоби).

При складанні алгоритму діагностування при ЦТО необхідно:

1. Розглянути прийоми діагностування базового електроустаткування технічних засобів (ТЗ) (вузли і блоки, несправність яких забороняє експлуатацію ТЗ:

системи запалення, АКБ, генератор, стартер, системи гальм і безпеки, освітлювальні й сигнальні прилади та ін.);

2. Розглянути прийоми діагностування спеціального електроустаткування ТЗ (додаткові АКБ і генератор, блок контролю, керування й сигналізації автономної бортової мережі, пневматичні і гідравлічні пристрої з електроприводами і перетворювачами, та ін.);

3. Вивчити взаємозв'язок діагностичних параметрів в усіх групах електроустаткування (загальні діагностичні параметри, системи блокування, засобу контролю, сигналізації).

4. Вибрати методики аналізу отриманих результатів вимірів придатні для реалізації їх технічними засобами.

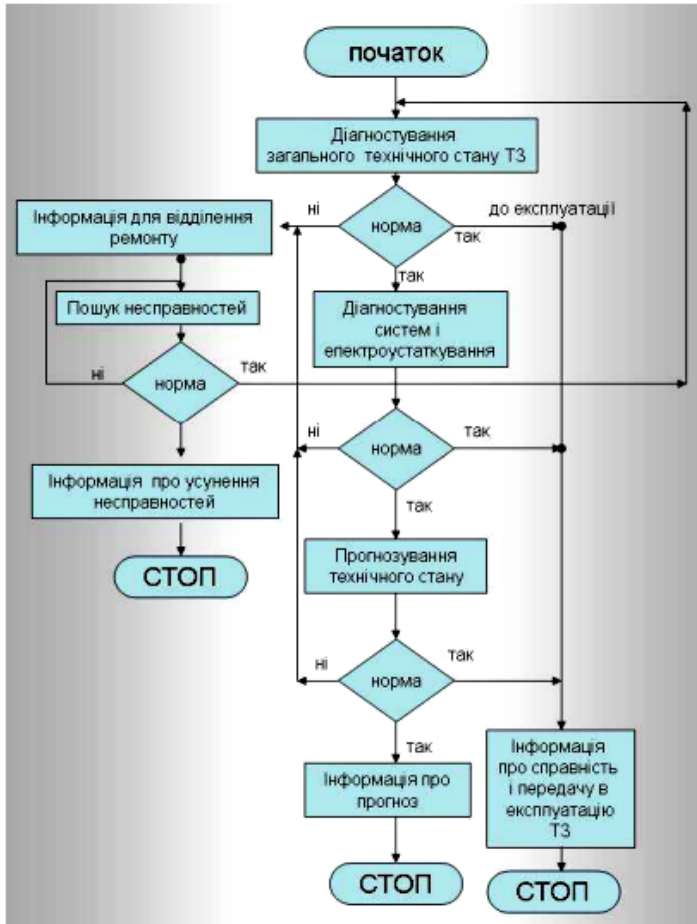


Рисунок 7.1 – Блок схема алгоритму діагностики електроустаткування

## 7.2 Моделювання компонентів електроустаткування

Моделювання дискретних електричних пристроїв Найчастіше до них відносяться схеми включення

електроприводів, які містять: керуючі пристрої з кнопками, тумблерами, засобами блокування, контролю, сигналізації.

Для пристрою на рис. 7.2 можливі несправності можуть бути пов'язані з електродвигуном М, проміжними реле К1, К2 і елементами комутації. У кожному окремому випадку пошук несправностей припускає реалізацію свого оригінального алгоритму.

Очевидно, що вся програма пошуку можливих несправностей може включати декілька самостійних взаємопов'язаних операцій керування електродвигуном М тільки при виконанні певних умов. Для випадку з несправним електродвигуном М виконаємо моделювання такої ситуації, скориставшись квадратичною матрицею такого стану схеми.

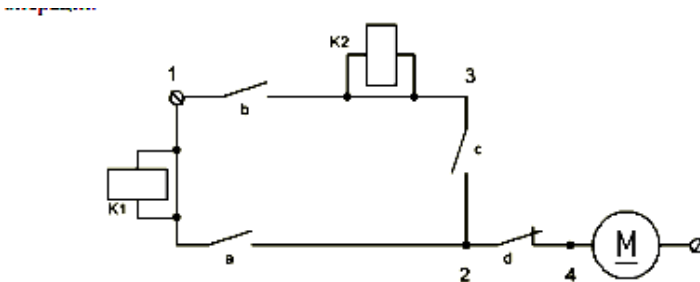


Рисунок 7.2 – Моделювання несправності

Квадратична матриця матиме рівну кількість рядків і стовпців відповідних числу вузлів в схемі (відмічені цифрами 1 – 4). При цьому справні елементи в схемі позначаються в стверджуючому виді, а несправні – інверторами.

При складанні загального рівняння – математичного опису несправності, користуються традиційними прийомами.

З'єднання елементів на схемі відзначається буквою і вноситься до матриці (з'єднання між точками 1 і 2 позначені елементом а ). Оскільки між точками 3 і 4 немає електричного з'єднання, то в матриці ця умова фіксується у вигляді «0».

Для даної схеми стан елементу  $d$  відмічений інверсією  $\bar{d}$ , що відрізняється від стверджуючих станів  $a, b, c$ . Визначник між вузлами 1 і 4 запишемо, викресливши з матриці 1-й рядок і 4 стовпець. Для вирішення поставленого завдання скористаємося правилом рішення матриці. 74 Головний визначник матриці для ланцюга 1–4 матиме вигляд:

$$\Delta_{14} = \begin{vmatrix} a & 1 & c \\ b & c & 1 \\ 0 & \bar{d} & 0 \end{vmatrix} = a \begin{vmatrix} c & 1 \\ \bar{d} & 0 \end{vmatrix} + b \begin{vmatrix} 1 & c \\ \bar{d} & 0 \end{vmatrix}. \quad (7.1)$$

Логічне рівняння запишеться у вигляді:

$$f_M = a\bar{d} \vee b\bar{d}c = \bar{d}(a \vee bc). \quad (7.2)$$

Загальне рівняння (3.2) є математичним описом конкретного пристрою несправності, що допускається. Користуючись законами і аксіомами алгебри, представимо функціональну схему, що реалізовує логічний пристрій, який визначає несправність в розглянутій схемі:

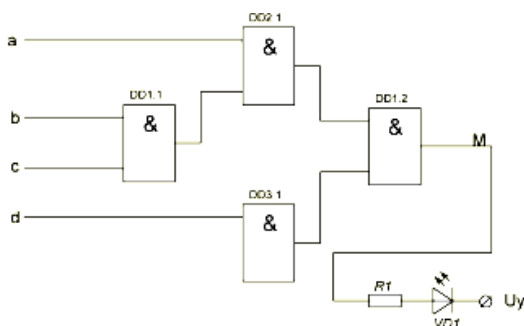


Рисунок 7.3 – Логічний діагностуючий пристрій

Схема на рис. 7.3 реалізована на логічних елементах (логічні мікросхеми). Такий компактний пристрій з індикатором

VD1 дозволяє оповіщати користувача про виниклу несправність, пов'язану тільки з електричним двигуном. Для проектування аналогічного пристрою, що забезпечує контроль справності будь-якого іншого елементу схеми, необхідно розробити додатковий математичний опис, реалізація якого дозволить створити аналогічний сигналізатор справності чергового компонента схеми.

### **7.3 Мехатронні системи діагностування**

*Мехатроніка* – це нова галузь науки і техніки, присвячена створенню й експлуатації машин та систем з комп'ютерним керуванням рухом, яка базується на знаннях в області механіки, електроніки і мікропроцесорної техніки, інформатики і комп'ютерного керування рухом машин та агрегатів.

Це поняття в єдиному словосполученні означає інтеграцію знань у відповідних галузях науки і техніки, яка дозволила зробити якісний стрибок в створенні техніки нових поколінь і виробництві новітніх видів систем і устаткування.

Мехатронні пристрої – це сукупність механічних і електронних пристроїв, виконаних у вигляді моноблока або багатофункціонального електромеханічного пристрою.

Електромеханічна частина включає механічні ланки і передачі, робочий орган, електродвигуни, сенсори і додаткові електротехнічні елементи (гальма, муфти). Механічний пристрій призначений для перетворення рухів ланок в необхідний рух робочого органу.

Електронна частина складається з мікроелектронних пристроїв, силових перетворювачів і електроніки вимірювальних ланцюгів. Сенсори призначені для збору даних про фактичний стан зовнішнього середовища і об'єктів робіт, механічного пристрою і блоку приводів з наступною первинною обробкою і передачею цієї інформації в пристрій комп'ютерного керування (ПКК). До складу ПКК мехатронної системи зазвичай входять комп'ютер верхнього рівня і контролери керування рухом.

Мехатронні пристрої акумулюють в собі найунікальніші приймальні елементи, мініатюрні датчики і сенсори, гібридні

перетворювачі різних фізичних величин, мініатюрні виконавчі електричні приводи різної потужності. Такі пристрої в першу чергу знаходять застосування при аваріях, пожежах, катастрофах в службах порятунку і ліквідації аварій, що входять в муніципальні структури.

Сукупність механічних і електронних елементів, перші з яких є виконавчими пристроями, а другі – формувачами сигналів керування в сучасних технічних рішеннях представляються багатофункціональними блоками, синхронна робота яких досягається тільки за допомогою обчислювальних модулів на базі мікропроцесорів і мікроконтролерів.

У мехатронних пристроях найбільш поширено використання електронних засобів самодіагностики (вбудовані діагностичні компоненти електромеханічних систем).

#### **7.4. Підготовка алгоритму пошуку несправностей і діагностики**

Для підготовки алгоритму пошуку несправностей і діагностики електроустаткування необхідно виконати ранжирування усіх параметрів контролю за мірою їх важливості, об'єднуючи при цьому окремі вузли і блоки у взаємозпо'язані групи.

Для електроприводу з асинхронним двигуном:

- елементи електричної мережі;

- засоби регулювання частоти обертання ротора двигуна (частотний перетворювач);

- засобів управління.

Для спецобладнання:

- засобів контролю, керування й сигналізації (ЗККС);

- засобів ручного керування електроустаткуванням.

#### **7.5 Бінарні системи діагностики**

Бінарні засоби діагностики (БЗД) знайшли широке застосування при автоматизації методик пошуку несправностей і діагностування електроустаткування.

Головним достоїнством БЗД є простота їх конструкції й реалізації. Усі БЗД складаються з датчиків-перетворювачів і

аналізаторів інформації, що отримуються з них. У БЗД контролюються області допустимих значень усіх параметрів, вихід за які розцінюються як несправність і служить причиною формування сигналу (коду) виду «справно – несправно» для обслуговуючого персоналу або використання в системі автоматичного керування устаткуванням обслуговуючого персоналу або використання в системі автоматичного керування устаткуванням.

Для прикладу розглянемо БЗД для діагностики електрообладнання транспортного засобу.

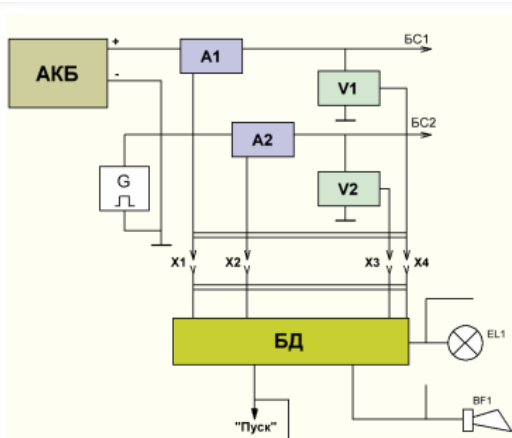


Рисунок 7.4 – Блок-схема бінарного пристрою діагностики:

«Пуск» – лінія включення БЗД; EL1 – елементи сигналізації; G – генератор тактових імпульсів.

У різних ділянках бортової мережі BC1, BC2 розміщуються дискретні вимірники струму – A1, A2 і напруги – V1, V2. Якщо значення напруги в лініях контролю відповідають нормованим значенням датчики V1 і V2 формують сигнали високого рівня. Датчики струму A1 і A2 за відсутності навантаження формують рівні вихідних сигналів прийнятих «нульовими».

Такий стан зберігається при усіх режимах навантажень експлуатації електроустаткування, якщо вони не перевищують

допустимі величини. Будь-які перевищення струму в контрольованих ділянках супроводжуються сигналами сповіщення, які використовуються в засобах сигналізації, регулювання або запам'ятовуються для їх аналізу електронними експертами або фахівцями. Таким чином, високі рівні сигналів від A1 і A2 будуть причинами формування сигналів тривоги, що поступають на роз'єми X1 і X 2 (роз'єми діагностики) тільки в екстрених випадках.

Такі пристрої часто об'єднуються на транспорті в єдині системи самодіагностики або системи бортової діагностики (СБД або OBD, Європейська система бортової діагностики – EOBD).

У розробляваних і функціонуючих системах діагностики електронні модулі СБД формують умовні коди несправностей, які визначаються самим виробником. «Повільні коди» виявлених несправностей формуються досить повільно і їх реєстрація здійснюється за допомогою різних засобів індикації (світлодіоди, контрольні лампи, аудіовипромінювачі). «Швидкі коди» – інформаційні повідомлення про несправності, що формуються з великою швидкістю, реєстрація яких здійснюється цифровими прочитуючими пристроями (FCR) [32.].

### **Запитання для самоперевірки**

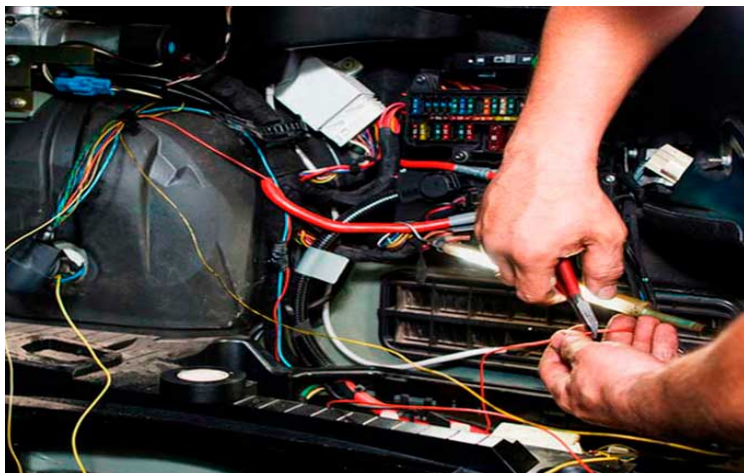
1. Що уявляє собою блок-схем алгоритмів діагностування?
2. Графічне представлення алгоритмів діагностування – це...
3. Як здійснюється вибір етапів діагностування електроустаткування?
4. Моделювання компонентів електроустаткування – це...
5. Що собою уявляє механотроніка?
6. Мехатронні системи діагностування – це...

## **Частина 2**

# **ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ**

---

---



**Розділ 1 ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС ПОСЛУГ**

**Розділ 2 ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ**

**Розділ 3 ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ**

**ТРАНСФОРМАТОРІВ**

**СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА**

**РЕМОНТУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ**

**Розділ 5 ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН**

**Розділ 6 ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ АПАРАТІВ**

**КЕРУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ**

**Розділ 7 ПОВІРКА ТА РЕМОНТ ЛІЧИЛЬНИКІВ**

**ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

## **Розділ І**

### **ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС ПОСЛУГ**

#### *Загальні відомості*

#### *Основні завдання системи сервісу*

#### *Організація технічного сервісу*

### **1.1 Загальні відомості**

*Технічний сервіс* – один із найбільш прогресивних видів комплексних послуг споживачу.

Ціль сервісних послуг – забезпечити максимальну ефективність експлуатації електрообладнання і звести до мінімуму витрати на відновлення працездатності техніки.

Зазначена ціль досягається за рахунок своєчасної кваліфікованого діагностування технічного стану складових електрообладнання – на підставі яких приймаються рішення щодо профілактики, ремонту, експлуатації без ремонту, заміни складових частин тощо.

Служба сервісу може бути організована безпосередньо на підприємстві-споживачеві техніки. Проте найбільш ефективно здійснювати технічний сервіс у спеціалізованих центрах з обслуговування та ремонт електрообладнання.

Із погляду виробника – технічний сервіс є формою боротьби за споживача та стійкий ринок збуту в умовах конкуренції.

Під продукцією технічного сервісу розуміють послуги як результат діяльності підприємства по задоволенню замовлень на ремонт і обслуговування машин.

Послуги з технічного сервісу класифікують відповідно до їх цільового призначення на два класи:

*Перший клас* – матеріальні послуги, що поєднують види

*Другий клас* – організаційно-комерційні послуги пов'язані з удосконаленням маркетингової діяльності.

## **1.2 Основні завдання системи сервісу**

До основних завдань системи сервісу належать:

1. Консультування покупців перед вибором і придбанням ними продукції певного підприємства, що дозволяє їм зробити усвідомлений вибір.

2. Передавання необхідної технічної документації, що дозволяє спеціалістам покупця належним чином виконати свої функції.

3. Передпродажна підготовка виробу з метою уникнення найменшої можливості відмови в його роботі під час демонстрації потенційному покупцю.

4. Доставка виробу на місце експлуатації таким чином, щоб звести до мінімуму можливість його ушкодження при транспортуванні.

5. Забезпечення повної готовності виробу до експлуатації протягом усього терміну перебування його у споживача.

6. Оперативне постачання запасних частин і утримання для цього необхідної мережі складів, тісний контакт із виробниками запасних частин.

7. Збір і систематизація інформації про те, як експлуатується техніка споживачами і які при цьому висловлюються зауваження, скарги, пропозиції.

8. Участь в удосконаленні і модернізації виробів, що споживаються, за результатами аналізу зазначеної вище інформації.

9. Допомога службі маркетингу підприємства в аналізі й оцінці ринків покупців і товару.

Таким чином, сервісна політика охоплює систему дій і рішень, пов'язаних із формуванням у споживача переконання, що з покупкою конкретного виробу або комплексу він гарантує собі надійні тили і може концентруватися на своїх основних обов'язках.

### **1.3. Основні поняття та визначення теорії технічної експлуатації. Нормативна, технічна та експлуатаційна документація**

#### **1.3.1 Основні поняття та визначення теорії технічної експлуатації**

*Завдання електротехнічного персоналу* – виконання вимог нормативних документів, що має метою забезпечення надійної безпечної і раціональної експлуатації електрообладнання та утримання його у справному стані.

Електротехнічний персонал виконує оперативне обслуговування, технічне обслуговування, ремонт електрообладнання.

*Оперативне обслуговування електрообладнання* – комплекс робіт з:

- ведення необхідного режиму роботи електроустановок;
- проведення перемикань, оглядів обладнання;
- підготовка до проведення ремонту (підготовка робочого місця, допуску); технічного обслуговування обладнання, що передбачене виробничими інструкціями працівників;
- оперативне усунення відмов обладнання та наслідків аварій.

До технічного обслуговування електрообладнання належить: випробування обладнання і пристроїв, підтяжка контактних з'єднань, доливання ізоляційного мастила, випробування вимірювання ізоляційних характеристик тощо.

Технічне обслуговування виконують, як правило, на місці встановлення електрообладнання. При підготовці електрообладнання до зберігання, а також безпосередньо після його закінчення здійснюють *консервацію* електрообладнання у випадку, якщо термін зберігання триває понад два місяці. Технічне обслуговування електрообладнання забезпечує справність за рахунок своєчасного усунення причин або дрібних неполадок, що можуть викликати відмову.

*Поточний ремонт* забезпечує підтримання працездатності всього виробу внаслідок своєчасної заміни елементів, що швидко виходять з ладу (часткове відновлення). Поточний

ремонт виконують на місці встановлення електрообладнання або в ремонтній майстерні.

*Капітальний ремонт* виконують спеціалізовані електро-ремонтні підприємства.

Електротехнічний персонал підприємства відповідає за виконання вимог нормативних документів відповідно до службових обов'язків. Контроль і нагляд за виконанням вимог нормативних документів, відповідно до своїх обов'язків, здійснюють спеціалісти енергослужби, служби охорони праці споживача та організацій вищого рівня. Державний нагляд за виконанням вимог нормативних документів здійснюють Держенергонагляд, а також відповідно до своїх функціональних обов'язків інші вповноважені організації.

*Особи, що порушили вимоги чинних нормативних документів, підлягають покаранню відповідно до ступеню і характеру порушень в адміністративному або судовому порядку*, бо порушення вимог нормативних документів може мати наслідок - аварії, відмови, пошкодження енергетичного обладнання.

### **1.3.2 Технічна та експлуатаційна документація**

Технічна експлуатація енергетичного обладнання передбачає наявність відповідних документів. За вимогами ПТЕ у кожного споживача повинна бути така *технічна документація*:

- генеральний план ділянки, на який нанесені будівлі, споруди та підземні електротехнічні комунікації;
- технічні умови на приєднання до електричних мереж та довідка про їх виконання, видана власником електричних мереж;
- затверджена проектна документація (креслення, пояснювальні записки тощо) з усіма змінами;
- акти приймання прихованих робіт;
- акти випробувань і налагодження електроустановок;
- акти приймання електроустановок в експлуатацію; виконавчі схеми первинних і вторинних електричних з'єднань;

- акти розмежування електричних мереж за балансовою належністю та експлуатаційною відповідальністю між споживачем і електропередавальною організацією;

- технічні паспорти основного електрообладнання, будівель і споруд об'єктів, сертифікати на електрообладнання і матеріали, що підлягають сертифікації;

- інструкції з експлуатації електроустановок, посадові інструкції, а також інструкції з охорони праці та пожежної безпеки на кожному робочому місці.

Для кожного структурного підрозділу чи самостійної виробничої дільниці необхідно мати:

- паспортні карти або журнали з переписом електроустановок та засобів захисту із зазначенням їхніх технічних даних, а також присвоєними їм інвентарними номерами (до паспортних карт або журналів додаються протоколи та акти випробувань, ремонту і ревізії обладнання);

- креслення електрообладнання, електроустановок і споруд, комплекти креслень запасних частин, виконавчі креслення трас повітряних та кабельних ліній, кабельні журнали;

- креслення підземних кабельних трас і заземлювальних пристроїв з прив'язками до будівель і постійних споруд, а також із зазначенням місць установлення з'єднувальних муфт кабелів і перетинів їх з іншими комунікаціями;

- загальні схеми електропостачання, складені для споживача в цілому та для окремих цехів і дільниць;

- комплект експлуатаційних інструкцій з обслуговування електроустановок цеху, дільниці;

- комплект посадових виробничих інструкцій для кожного робочого місця, інструкцій з охорони праці, а також інструкцій про заходи пожежної безпеки;

- акти або письмові розпорядження керівника споживача про розмежування електричних мереж за балансовою належністю і експлуатаційною відповідальністю між структурними підрозділами.

Усі зміни в електроустановках, зроблені під час експлуатації, повинні відображатись у схемах і кресленнях за

підписом особи, відповідальної за електрогосподарство, із зазначенням дати внесення змін.

Відомості про зміни в схемах повинні доводитися до всіх працівників (із записом в оперативному журналі), для яких є обов'язковим знання цих схем.

Електричні (технологічні) схеми повинні переглядатися на їх відповідність фактичним експлуатаційним не рідше одного разу на три роки з відміткою в них про перевірку.

Комплект необхідних схем електропостачання повинен бути на робочому місці в особи, відповідальної за електрогосподарство.

Комплект оперативних схем електроустановок даного цеху, дільниці та електроустановок, електрично з'єднаних з іншими цехами і дільницями, повинен зберігатись у чергового цеху, дільниці.

Основні електричні схеми електроустановки вивішуються на видному місці в приміщенні даної електроустановки.

У споживачів, що мають особливі умови виробництва або електроустановки, експлуатація яких не передбачена ПТЕ, повинні бути розроблені виробничі інструкції та інструкції з охорони праці і пожежної безпеки для електротехнічних працівників, що обслуговують електроустановки. Ці інструкції затверджуються керівником споживача з урахуванням характеру і технології виробництва, особливостей обладнання тощо.

На кожній виробничій дільниці, у цеху повинен бути комплект необхідних інструкцій за затвердженим переліком. Повний комплект інструкцій повинен зберігатися в особи, відповідальної за електрогосподарство цеху чи дільниці, а необхідний комплект – у працівника на робочому місці.

Інструкції переглядаються не рідше ніж один раз на три роки.

На робочих місцях оперативного персоналу (на підстанціях, у розподільних установках або приміщеннях, відведених для працівників, які обслуговують електроустановки) – необхідно вести гаку документацію:

- оперативну схему або схему-макет;
- оперативний журнал;

- бланки нарядів-допусків на виконання робіт в електроустановках;
- бланки перемикань;
- перелік складних перемикань, що виконуються за бланками перемикань;
- перелік інвентарних засобів захисту;
- журнал дефектів та неполадок на електроустановках;
- журнал заявок на виведення у ремонт електрообладнання;
- журнал показів контрольно-вимірювальних приладів та електролічильників;
- журнал обліку споживання електричної енергії, півгодинних вимірів навантаження в години максимуму енергопостачальної організації;
- перелік робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації;
- журнал обліку виробничого інструктажу;
- журнал обліку протиаварійних тренувань та протипожежних тренувань;
- журнал пристроїв релейного захисту, автоматики і телемеханіки (далі - РЗАІТ) та карти їх уставок (у тому числі частотного розвантаження);
- журнал обліку робіт за нарядами і розпорядженнями;
- комплект виробничих інструкцій, інструкцій з охорони праці та пожежної безпеки;
- журнал видачі та повернення ключів від приміщень з електроустановками;
- список електроустановок, що перебувають в оперативному керуванні та/або провадженні вищого оперативного персоналу;
- положення про порядок взаємовідносин з оперативним персоналом електропередавальної організації;
- списки працівників.

*Крім того, на робочому місці оперативного персоналу повинні бути:*

- інструкція про порядок дії персоналу в разі виникнення аварійних та надзвичайних ситуацій, а також пожеж;

- повідомлення електропередавальної організації про встановлення граничних величин споживання електричної енергії та потужності, а також графіки обмеження та аварійного відключення споживачів;

- затверджений у встановленому порядку перелік постійно діючих заходів зі зниження навантаження в години контролю максимуму електричної потужності;

- розроблені та затверджені регульовальні заходи щодо зниження споживання електричної енергії та потужності для забезпечення встановлених режимів електроспоживання у відповідності до доведених графіками обмеження;

- документи щодо допустимих на робочому місці параметрів факторів виробничого середовища: мікроклімату, шуму, освітленості, рівнів електромагнітних полів тощо згідно з Державними санітарними нормами.

Залежно від особливостей місцевих умов виробництва обсяг оперативної документації може бути доповнений за рішенням керівника споживача чи особи, відповідальної за електрогосподарство.

Оперативну документацію періодично (у встановлений на підприємстві термін, але не рідше одного разу на місяць) повинні переглядати вищі електротехнічні працівники та/або працівники зі складу керівників і спеціалістів, які зобов'язані вживати заходів щодо усунення виявлених дефектів і порушень.

При експлуатації енергетичного обладнання необхідні експлуатаційні документи:

- які призначені для експлуатації енергетичного обладнання; ознайомлення з їх конструкцією;

- вивчення правил експлуатації; відображення інформації, яка підтверджує гарантовані виробником значення основних параметрів та характеристик енергетичного обладнання, гарантій та відомостей про його експлуатацію (технічне обслуговування, ремонт тощо), а також відомостей про його утилізацію.

*Види експлуатаційних документів:*

- інструкція ч експлуатації;

- інструкція з монтажу, пуску, регулювання та обкатки виробу;
- формуляр;
- паспорт;
- етикетка;
- каталог деталей та збірних одиниць;
- норми витрат запасних частин;
- норми витрат матеріалів;
- відомість комплекту запасних частин та інструменту;
- навчально-технічні плакати;
- відомість експлуатаційних документів.

Залежно від призначення виробу, умов експлуатації та обсягу інформації, яка розміщується в експлуатаційних документах, обов'язково складають або паспорт, або етикетку, або формуляр. Необхідність розробки того чи іншого документу встановлює розробник.

*Паспорт* – документ з відомостями про гарантії виготовлювача, значення основних параметрів і характеристик виробу, а також відомості про сертифікацію та утилізацію виробу.

*Етикетка* – документ з відомостями про гарантії виготовлювача, значення основних параметрів і характеристик виробу, відомості про сертифікацію виробу.

*Формуляр* – документ з відомостями про гарантії виготовлювача, значення основних параметрів і характеристик виробу, відомості про технічний стан даного виробу, відомості про сертифікацію та утилізацію виробу, а також відомості, які вносяться в період його експлуатації (тривалість та умови роботи, технічне обслуговування, ремонт та інші дані).

Формуляр на виріб містить титульний аркуш, лист змісту, правила ведення формулярів та паспортів і, в загальному вигляді, складається з таких розділів:

- загальні вказівки;
- основні відомості про виріб;
- основні технічні дані;
- індивідуальні особливості виробу;
- комплектність;

- ресурс, термін служби та зберігання, гарантії виробника (постачальника);
- консервація;
- свідоцтво про пакування;
- свідоцтво про приймання;
- рух виробу при експлуатації;
- облік роботи виробу;
- облік технічного обслуговування;
- облік роботи по бюлетеням та вказівкам;
- роботи при експлуатації;
- зберігання;
- ремонт;
- особливі позначки;
- відомості про утилізацію;
- контроль стану виробу та ведення формуляру;
- перелік додатків.

Рекомендовані стандартом форми таблиць та записів про виконання робіт технічної експлуатації, приведені в додатку А.

Під час експлуатації енергетичного обладнання необхідні також інші документи, серед яких можна відмітити *“Енергетичний паспорт підприємства”*, що запроваджується на підприємствах усіх форм власності, які мають річне споживання паливно-енергетичних ресурсів понад 1000 т у. п., або 3000 Гкал і більше теплоенергії, або встановлену дозволена потужність електроенергії 100 кВт і більше. Паспорт відображає фактичний склад енергогенерувального, енергоспоживного та енергопостачального обладнання, їх характеристики та стан використання паливно-енергетичних ресурсів.

Безпечне виконання робіт з технічної експлуатації енергетичного обладнання залежить від ретельного виконання вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів, Правил будови і безпечної експлуатації трубопроводів пари та гарячої води та інших нормативних документів з безпеки праці. Ці передбачає її своєчасне проведення інструктажів, стажування, перевірки працівників щодо знання цих нормативних документів та інші заходи. Звітність про виконання необхідних заходів виконується у

вигляді документів, форма і порядок заповнення яких регламентується вказаними нормативними документами. Результати перевірок та випробувань енергетичного обладнання, вимірювань його характеристик оформлюють у вигляді протоколів.

Документація може зберігатися на магнітних носіях даних, зокрема, на гнучких магнітних дисках (дискетах) або в комп'ютері. Тверді копії документів, оригінали яких зберігаються в комп'ютері, отримують за допомогою принтеру, що значно полегшує ведення необхідної документації.

#### **1.4 Організація технічного сервісу**

Організація технічного обслуговування електрообладнання повинна передбачати:

- планування строків його проведення; підбір виконавців кожного виду робіт;
- визначення місця та режиму їх роботи;
- вибір необхідного обладнання та порядок його використання;
- встановлення способів контролю; розробку заходів матеріального та морального стимулювання;
- економічну та адміністративну відповідальність за результати роботи техніки і людей.

Крім питань, безпосередньо пов'язаних із технічним обслуговуванням, інженерно-технічній службі доводиться постійно вирішувати питання і проблеми, що пов'язані із розвитком матеріальної бази, підготовкою та підвищенням кваліфікації персоналу, дотриманням вимог охорони праці, створенням відповідних соціальнопобутових умов на виробництві.

Проте кожна електровироби мають індивідуальні особливості щодо швидкості спрацювання деталей і порушення регулювань, тобто виникнення поступових відмов.



### Запитання для самоперевірки

---

1. Із погляду виробника – технічний сервіс...
2. Як класифікують послуги з технічного сервісу?
3. До основних завдань системи сервісу належать...
4. Оперативне обслуговування електрообладнання – комплекс робіт з:
5. Що забезпечує поточний ремонт?
6. У яких випадках забезпечують капітальний ремонт?
7. Яка документація за вимогами ПТЕ у кожного споживача повинна бути?
8. Які повинні бути види експлуатаційних документів?
9. У якій спосіб здійснюється організація технічного сервісу?

## **Розділ 2**

### **ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ**

*Загальні питання технічного обслуговування*  
*Організація технічного обслуговування*  
*Єдина система технологічної документації*  
*Правила безпечної експлуатації*  
*електроустановок споживачів*

#### **2.1 Загальні питання технічного обслуговування**

*Технічне обслуговування* (ТО) – комплекс технічних і організаційних заходів, здійснюваних в процесі експлуатації технічних об'єктів з метою забезпечення необхідної ефективності виконання ними заданих функцій.

Технічному обслуговуванню підлягають всі технічні об'єкти – що працюють як по прямому призначенню, так і знаходяться на зберіганні, транспортуються, готуються до роботи після зберігання або транспортування.

Для сучасних складних технічних об'єктів (таких, як трансформаторні підстанції та різне технологічне обладнання) встановлюються єдині правила Технічного обслуговування, які утворюють систему Технічного обслуговування і відбиваються у відповідній технічній документації.

Структура системи Технічного обслуговування враховує характер і умови експлуатації електрообладнання – включає перелік профілактичних робіт з вказівкою їх періодичності і складу потрібних для їх виконання фахівців, перелік необхідних інструментів, матеріалів, контрольно-вимірвальних приладів тощо.

Технічне обслуговування полягає в поточному догляді (міжремонтному обслуговуванні).

*Ремонт* – комплекс заходів щодо відновлення працездатного або справного стану якого-небудь об'єкту і/або відновлення його ресурсу. Ремонт проводиться в разі, якщо неможливо або недоцільно замінювати об'єкт на аналогічний новий.

У нашій країні прийнята система планово-попереджувальних ремонтів (ППР), основним змістом якої є плановість і профілактика, тобто планове здійснення комплексу профілактичних робіт і заходів щодо догляду за устаткуванням і його ремонтом.

Чергування, періодичність і об'єми ремонтів встановлюються системою ППР залежно від режимів роботи, технічного стану і умов експлуатації електроустаткування.

При цьому враховуються також забезпечення безперебійної роботи підприємства, безпека обслуговуючого персоналу, збільшення міжремонтних періодів і скорочення тривалості перебування електроустаткування в ремонті.

Існують три основні системи організації ППР електроустаткування на підприємстві:

1. Централізована.
2. Децентралізована.
3. Змішана.

При централізованій системі ремонт електроустаткування виконує одна або декілька ремонтних служб, спеціалізованих по видах устаткування або роду робіт. Ці служби підпорядковані головному енергетику підприємства.

Експлуатаційний персонал, обслуговуючий електроустаткування цеху, підстанції, виконує при цій системі лише роботи по нагляду, догляду і дрібному поточному ремонту.

*Децентралізована система* – характерна відсутністю спеціалізованих ремонтних служб.

Всі електроремонтні роботи виконує персонал, зосереджений в електроремонтних майстернях або бригадах, що знаходяться в адміністративному підпорядкуванні начальника відповідного виробничого підрозділу, наприклад цеху або прольоту, а в оперативному – головного енергетика підприємства.

*Змішана система* організації ремонту електроустаткування відрізняється від інших систем тим, що у виробничих підрозділах є не лише свої електроремонтні майстерні і бригади, виконуючі невеликі за об'ємом і складністю ремонтні роботи, але і спеціалізовані ремонтні служби, що

виконують складні і великі за об'ємом роботи, пов'язані з ремонтом електроустаткування.

Для крупних промислових підприємств з потужним електрогосподарством найбільш прийнятною, прогресивною і економічно вигідною є централізована система ППР електроустаткування.

## **2.2 Організація технічного обслуговування**

Організація технічного обслуговування машин передбачає:

- планування строків його проведення; підбір виконавців кожного виду робіт;
- визначення місця та режиму роботи;
- вибір необхідного обладнання та порядок його використання;
- встановлення способів контролю;
- розробку заходів матеріального та морального стимулювання; економічну та адміністративну відповідальність за результати роботи техніки і людей

Крім вказаних поточних питань, безпосередньо пов'язаних з технічним обслуговуванням МТП, спеціалістам інженерної служби доводиться постійно вирішувати питання, що пов'язані із розвитком матеріальної бази, підготовкою та підвищенням кваліфікації кадрів, дотриманням вимог охорони праці, створенням соціально-побутових умов виробництва

Правильно організоване Технічне обслуговування дозволяє понизити експлуатаційні витрати (за рахунок зменшення числа аварійних ситуацій, що приводять до відмов, скорочення дорогих позапланових ремонтів, зниження витрат на планові ремонти) і сприяє збільшенню ресурсу технічного об'єкту.

## **2.3. Єдина система технологічної документації**

Ця система (ЄСТД) встановлює обов'язковий порядок розробки, оформлення і збереження всіх видів технологічної документації на машино- і приладобудівних підприємствах країни для виготовлення, транспортування, встановлення і ремонту виробів цих підприємств.

На основі технологічної документації здійснюють планування, підготовку і організацію виробництва, встановлюють зв'язки між відділами і цехами підприємства, а також між виконавцями (конструктором, технологом, майстром, робітником).

Єдині правила розробки, оформлення і збереження технологічної документації дозволяють використовувати прогресивні способи машинної її обробки і полегшують передачу документації на інші підприємства.

Стандарти ЄСТД позначаються перед номером стандарту цифрою 3.

Ремонтні креслення виконуються відповідно до вимог стандартів ЕСКД з урахуванням правил, передбачених ГОСТ 2.604 “Креслення ремонтні”.

Основними даними для розробки ремонтного креслення є:

- робочі креслення деталі;
- технічні вимоги на нову деталь;
- технічні вимоги на дефектацію деталі;
- технічні вимоги на відновлену деталь.

Технічне обслуговування і ремонт виконують за планом відповідно до встановленого наробітку. Обслуговування може бути і позаплановим, тобто пов'язаним із пошуком та усуненням несправностей і відмов, що виникли під час експлуатації. У обох випадках всі операції ТО здійснюються у певній послідовності.

## **2.4 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів**

Усі роботи при експлуатації електроустаткування повинні виконуватись згідно Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС).

Вимоги цих Правил поширюються на працівників, що обслуговують діючі електроустановки споживачів напругою до 220 кВ включно і є обов'язковими для всіх споживачів та виробників електроенергії, незалежно від їх відомчої належності і форм власності на засоби виробництва.

Вимоги цих Правил повинні виконуватись під час експлуатації діючих електроустановок, електричних станцій, електричної частини ТАВ, ЗДТУ, районних котелень, що обслуговуються споживачами, під час виконання в них монтажних, налагоджувальних, випробувальних, ремонтних і будівельних робіт.

В цих Правилах викладені основні вимоги щодо забезпечення працівників під час експлуатації електроустановок.

Заходи додаткового підвищення безпеки, які передбачаються безпосередньо на місці проведення робіт, не повинні суперечити цим Правилам або послаблювати їхню дію.



### Запитання для самоперевірки

---

1. Технічне обслуговування – це...
2. Що враховує структура системи ТО?
3. Які існують організації ППР ?
4. Що передбачає організація ТО?
5. Які існують правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів?

## **Розділ 3**

### **ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ**

#### *Загальні відомості*

#### *Випробування трансформаторів*

#### *Обслуговуванні масляного трансформатора*

#### *Обслуговуванні сухого трансформатора*

### **3.1 Загальні відомості**

Силовий трансформатор відноситься до найбільш дорогих і необхідним обладнання електричного спряму-вання. Тому для отримання високої продуктивності та тривалого функціонування трансформатора бажано вико-нувати різні операції з обслуговування.

Періодичність перевірки та оглядів силових трансформаторів (без підйому магнітопроводу) визнача-ється відповідно до встановлених норм і залежить від їх технічного стану.

Плановий огляд – це найголовніша частина в обслуго-вуванні будь-якого електричного обладнання. Період проведення даних оглядів вираховується на основі умов клімату в конкретній місцевості. Найчастіше, це відбувається щоквартально. Порівнюючи обсяги робіт з обслуговування сухих і масляних трансформаторів, очевидно, що істотних відмінностей немає.

#### **Несправності трансформаторів**

Під час експлуатації не виключено виникнення різного роду дефектів і несправностей у трансформаторі, які по-різному відображаються на його роботі. З одними несправностями трансформатори можуть тривало залишатись у роботі, при інших необхідно негайно виводити їх з роботи.

Причини пошкоджень полягають у незадовільних умовах експлуатації, неякісному ремонті і монтажі трансформаторів. Немалу роль відіграють дефекти окремих елементів конструкції трансформаторів, використання ізоляційних матеріалів недостатньо високої якості.

Типовими є пошкодження ізоляції, магнітопроводів, перемикальних пристроїв, відводів, маслонаповнених і фарфорових ввідів.

**Пошкодження ізоляції.** Головна ізоляція часто пошкоджується через порушення її електричної міцності при зволоженні, а також через дрібні вади; до інтенсивного теплового зносу виткової ізоляції призводить набухання додаткової ізоляції котушок і пов'язане з цим припинення циркуляції масла через часткове або повне перекриття масляних каналів; механічні пошкодження виткової ізоляції нерідко трапляються при к.з. у зовнішній електричній мережі і недостатній електродинамічній стійкості трансформаторів, що само по собі є результатом послаблення запресування обмоток.

**Магнітопроводи пошкоджуються** через перекриття внаслідок руйнування лакової плівки між листами і спікання листів сталі; при порушенні ізоляції пресувальних шпильок; при виникненні короткозамкнутих контурів, коли окремі елементи магнітопроводу виявляються замкнутими між собою, а також на бак.

**Пошкодження перемикальних пристроїв** ПБВ відбуваються при порушенні контактів між рухомими контактними кільцями і нерухомими струмоведучими стержнями (погіршення контакту виникає при зниженні контактного тиску і виникненні окисної плівки на контактних поверхнях); пошкодження РПН є причиною порушень у роботі контакторів і перемикачів, заклинювання механізмів контакторів, втрати механічної міцності між сталевими деталями і паперово-бакелітовим валом.

**Пошкодження відводів** від обмоток до перемикальних пристроїв і ввідів зумовлено переважно незадовільним станом контактних з'єднань, а також наближенням гнучких відводів до стінок бака; забрудненням масла механічними домішками, зокрема окислами і частинками металу із системи охолодження.

**Пошкодження ввідів:** маслонаповнених - переважно через зволоження паперової основи, попадання вологи при неякісному ущільненні і при доливанні ввідів трансформаторним маслом; фарфорових - через нагрівання контактів у нарізних з'єднаннях струмоведучих шпильок або в місці приєднання зовнішніх шин.

Причиною виведення в ремонт трансформатора є несправності, виявлені під час огляду трансформатора: витікання масла або недостатній рівень його в розширнику; нагрівання вище нормального верхніх шарів масла; ненормальний шум і потріскування всередині трансформатора; різке погіршення якості масла; тріщини на вводах; порушення роботи охолоджувачів або вентиляторів обдування.

### **3.2 Випробування трансформаторів**

Випробування трансформаторів здійснюються для забезпечення надійної та безпечної роботи.

#### ***Стандартні випробування***

1. Вимірювання опору обмотки.
2. Вимірювання коефіцієнту трансформації напруги та перевірка фазового зсуву.
3. Вимірювання повного опору короткого замикання.
4. Вимірювання втрат під час роботи на холостому ході та струму.
5. Випробування підведеною напругою (змінний струм)
6. Випробування на електричну міцність наведеною напругою (IVW).
7. Вимірювання ізоляційного опору постійного струму між обмоткою та землею та між обмотками.
8. Випробування на наявність витоків тиском для занурених у рідину трансформаторів (випробування герметичності)
9. Перевірка ізоляції магнітопроводу та каркасу.

#### ***Типові випробування***

1. Випробування на нагрівання.
2. Випробування грозовими імпульсами (LI).
3. Визначення рівнів шуму.
4. Вимірювання втрат під час роботи на холостому ході та струму за 90 % і 110 % від найбільшої робочої напруги
5. Випробування баку на міцність і герметичність.

#### ***Додаткові випробування***

1. Вимірювання повного опору нульової послідовності.
2. Визначення ємності між обмоткою і землею та між обмотками.

3. Вимірювання коефіцієнта втрат ( $\tan \delta$ ) ємності системи ізоляції.

### **3.3 Обслуговування масляного трансформатора**

При обслуговуванні масляного трансформатора його:

- оглядають зовні і усувають виявлені дефекти;
- чистять ізолятори, бак і радіатори;
- видаляють бруд з розширювача;
- доливають масло;
- перевіряють мастилопоказчик, спусковий кран і ущільнення, надійність контактних з'єднань;
- беруть пробу масла, проводять випробування і вимірювання.

В процесі огляду перевіряють герметичність ущільнень. Якщо вона порушена і є течі мастила між кришкою і баком або фланцевими з'єднаннями, то підтягають гайки.

Якщо ж це не допомагає, ущільнення замінюють новими, з мастиlostійкої гуми.

Бак трансформатора і радіатори очищають від пилу і мастила, ізолятори протирають бензином.

Видаляють бруд з розширювача і перевіряють роботу мастилопоказчика.

При необхідності доливають мастило. Необхідно пам'ятати, що температура мастила, що доливається повинна відрізнятися від температури мастила в трансформаторі не більше ніж на  $5^{\circ}\text{C}$ . Потім перевіряють повітряосушувач. Якщо індикаторний силікагель має рожевий колір, його замінюють новим (блакитним).

Силікагель для повторного використання відновлюють шляхом сушки:

- індикаторний – при  $100 - 120^{\circ}\text{C}$  протягом 15 - 20 год. (до яскраво-блакитного кольору),
- гранульований, - при  $400 - 500^{\circ}\text{C}$  протягом 2 год.

Перезарядка термосифонного фільтра виконується, якщо кислотне число масла –  $0,1\text{мг КОН}$  (за наслідками випробування проби мастила). Для цього зливають мастило з розширювача, знімають кришку фільтра, а потім грати з силікагелем.

Вживаний силікагель замінюють свіжим, сухим. Встановивши кришку, заливають мастило в розширювач, заздалегідь випустивши повітря з фільтру через пробку на його кришці.

Мастило доливають до відповідної відмітки на мастилопоказчику розширювача залежно від температури мастила, яку контролюють термометром, встановленим на кришці бака. У корпус оправи термометра також заливають трансформаторне мастило.

### **3.4 Обслуговування сухого трансформатора**

Сухі трансформатори набули широкої популярності завдяки своїм позитивним характеристикам. Заміна масляних трансформаторів на сухі трансформатори несе з собою багато переваг:

*По-перше* – використання сухих трансформаторів економічно вигідно. З огляду на їхню високу пожежну безпеку трансформаторні пункти можна розміщувати максимально близько до споживачів електроенергії. При цьому значно знижуються втрати при передачі електро-енергії в мережах низької напруги.

*По-друге* – з'являється унікальна можливість встановлення трансформаторів в районах з джерелами водопо-стачання і підвищеними екологічними вимогами, а також встановлювати їх в метрополітені, поруч з АЕС, тощо.

Сухі трансформатори не вимагають трудомісткого технічного обслуговування: відпадає необхідність в таких роботах з технічного обслуговування, як герметизація, відновлення захисту баків від корозії, очищення масла.

Трансформатори з ізоляцією литтєвою епоксидною смолою вимагають тільки повітря для охолодження. Немає необхідності контролювати рівень масла і очищати його.

Сухі трансформатори справляються з коротко час-ними піками навантаження, наприклад, при пуску двигунів. Кожна енергетична установка повинна перебувати під ретельним увагою, а також піддаватися періодичним перевіркам і профілактичним оглядам.

Так, в сухому трансформаторі повинен забезпе-чуватися повний контроль над струмовідводами. Сильний перегрів токоотводящий роз'єму за короткий період виводить обмотки з нормального робочого режиму.

В таких ситуаціях не допоможуть навіть спеціальні струмознімання, яким характерний великий показники потужності резерв, оскільки відвід тепла дуже поганий. Монолітні обмотки трансформатора сухого типу виробляються за технологією «глибокий вакуум». Важливо знати, що показник розширення обмоток і литого ізоляцій-ного матеріалу різні

Трансформатори сухого типу найбільше схильні до утворення мікротріщин. Мікротріщини є причиною тліючих розрядів через те, що при високій напрузі опір на конкретній ділянці занадто маленьке. Даний процес набирає згодом обертів і переходить в освіту замикання між витками і шарами. У підсумку, одна невелика тріщина призводить до повного вигорання силових обмоток і ось до чого знеструмлення електролінії.

На сьогоднішній день в процесі виготовлення трансформаторів розпізнати дані мікроскопічні тріщини на обмотці дуже складно. Очевидних причин для виникнення пошкоджень, що призводять до тліючим розрядами, немає. Час, за яке виникають подібні проблеми, довгий і нерідко доходить до декількох місяців.

При цьому основна частина коефіцієнта корисної дії витрачається на нагрів обмотки з ушкодженнями. Більш того, навіть застосування спеціальних способів дослід-ження литих обмоток високоефективними пристро-ями дуже рідко дає плоди. Отже, сухий трансформатор відрізняється найбільшими вимогами, які необхідно дотримуватися при експлуатації, в порівнянні з масляним типом обладнання.

### **Виявлення несправностей**

Багато проблем, що виникають під час експлуатації, можуть бути вирішені безпосередньо власником трансформатора.

Втручання автоматичного захисту можливе внаслідок безлічі інших причин. Слід переконатися у відсутності

інших несправностей (коротких замикань і так далі) перед будь-якими новими спробами повернути трансформатор в експлуатацію.

#### Виявлення несправностей

Багато проблем, що виникають під час експлуатації, можуть бути вирішені безпосередньо власником трансформатора.

Втручання автоматичного захисту можливе внаслідок безлічі інших причин. Слід переконатися у відсутності інших несправностей (коротких замикань і так далі) перед будь-якими новими спробами повернути трансформатор в експлуатацію.

Дуже важливо тримати в нормі температуру експлуатації, оскільки вихід за межі режиму призводить до утворення дефектів на ізоляційному матеріалі. Не менш важливо забезпечити правильну температуру і при зберіганні пристроїв. При обслуговуванні сухого трансформатора необхідно потрібно упевнитися у відсутності механічних пошкоджень обмоток, ізоляторів і інших частин трансформатора. Після закінчення обслуговування заміряють опір ізоляції обмоток трансформатора  $R_{60}''$  і визначають коефіцієнт абсорбції:

$$K_{обс.} = R_{60}'' / R_{15}'', \quad (3.1)$$

де  $R_{60}''$  – опір ізоляції через 60с;

$R_{15}''$  – опір ізоляції через 15с після початку вимірювання) мегомметром на 2500 В. Опір ізоляції вимірюють між кожною обмоткою і корпусом і між обмотками.

### **3.5 Порядок проведення технічного обслуговування силового трансформатора**

Операція технічного обслуговування:

- зовнішній огляд і усунення дефектів, що піддаються усуненню на місці;
- чищення зовнішньої поверхні ізоляторів і бака;

- спуск бруду з розширювача, доливання мастила, перевірка мастило покажчика;
- заміна сорбенту у фільтрах;
- перевірка спускового крана і ущільнень;
- огляд і чищення охолоджуючих пристроїв, перевірка (заміна) підшипників двигунів системи охолодження і вентиляторів, їх балансування;
- перевірка захистів і розрядників на трансформаторах з пристроєм РПН і контрольно-вимірювальних приладів
- перевірка гідравлічного затвора, мембрани вихлопної труби, огляд і перевірка вводів;
- відбір і перевірка проб мастила з бака трансформатора, негерметичних і при необхідності герметичних вводів;
- огляд, перевірка мастилопровідності верхнього контактної вузла вводів і при необхідності заміни ущільнень;
- перевірка пристроїв захисту мастила від старіння і окислення і заміна пошкоджених елементів цих пристроїв;
- проведення вимірювань і випробувань.



### Запитання для самоперевірки

1. Які існують види випробування трансформаторів?
2. Що роблять при обслуговуванні трансформаторів?
3. У якій спосіб здійснюються обслуговування масляних трансформаторів?
4. У якій спосіб здійснюються обслуговування сухих трансформаторів?

## **Розділ 4**

# **СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ**

### *Загальна інформація*

*Технічне обслуговування електричних мереж*

*Забезпечення технічного обслуговування  
та ремонту*

*Повітряні лінії електропередачі напругою 0,4-20 кВ,*

*трансформаторні підстанції 6-20/0,4 кВ*

*і розподільні пункти 6-20 кВ*

*Капітальний ремонт*

### **4.1 Загальна інформація**

*Електрична мережа або електромережа* – взаємозв'язана мережа, призначена для постачання та розподілу електричної енергії від постачальників до кінцевих споживачів.

До складу електричних мереж входять наступні основні об'єкти:

- повітряні лінії (ПЛ) електропередач напругою 0,4-20 кВ;
- трансформаторні підстанції (ТП) напругою 6-20/0,4 кВ, розподільних пунктів (РП) напругою 6-20 кВ;
- повітряні лінії електропередач (ПЛ) напругою 35-150 кВ;
- кабельні лінії електропередач (КЛ) напругою 0,4-150 кВ;
- електричні підстанції напругою 35 кВ і вище;
- повітряні лінії електропередач (ПЛ) напругою 220-800 кВ;

- виробничі будівлі і споруди;
- засоби релейного захисту і автоматики;
- засоби диспетчерського і технологічного управління.

Система технічного обслуговування та ремонту електричних мереж передбачає виконання комплексу робіт, які проводяться з визначеною періодичністю і послідовністю, скерованих на забезпечення справного стану електричного обладнання, його надійної та економічної експлуатації при оптимальних трудових і матеріальних витратах.

Комплекс робіт, в основному, включає в себе:

- чітко організоване технічне обслуговування електричного обладнання;
- встановлення оптимальної періодичності проведення капітальних ремонтів електричного обладнання;
- впровадження прогресивних форм організації та управління ремонтом електричного обладнання;
- впровадження спеціалізації ремонтних робіт;
- контроль якості виконання робіт в процесі ремонту;
- своєчасне забезпечення ремонтних робіт матеріалами, запчастинами і комплектуючим обладнанням;
- аналіз параметрів технічного стану обладнання до і після ремонту.

## **4.2 Технічне обслуговування електричних мереж**

Технічне обслуговування електричних мереж (далі – технічне обслуговування) є методом обслуговування, при якому виконуються всі необхідні роботи комплексу робіт, спрямовані на підтримання працездатності та запобігання передчасному спрацюванню елементів об'єкта електричних мереж, що досягається оглядами, виконанням профілактичних перевірок і вимірювань та окремих видів робіт із заміною спрацьованих деталей та елементів електричних мереж, усуненням пошкоджень.

Капітальний ремонт електричних мереж (далі – капітальний ремонт) – це метод ремонту, при якому одночасно виконується комплекс заходів, спрямованих на підтримання або відновлення їх початкових експлуатаційних характеристик, що досягається ремонтом спрацьованих деталей і елементів або заміною їх на надійніші та економічніші, що в свою чергу, значно поліпшить експлуатаційні характеристики об'єктів.

Забезпечення технічного обслуговування та ремонту, підтримання в працездатному стані електричних мереж покладено на енергопостачальні компанії (далі – Обленерго), Державне підприємство Національна енергетична компанія “Укренерго” та його відособлені одиниці – електроенергетичні системи, а саме – Підрядні організації залучаються для виконання великих обсягів капітального ремонту і

реконструктивних робіт, пов'язаних з масовою заміною основних елементів ПЛ, ТП, РП, КЛ, або аварійно-відновних робіт.

*Для забезпечення проведення капітального ремонту, технічного обслуговування* доцільно створювати ремонтно-виробничі бази (РВБ), ремонтно-механічні станції (РМС), ремонтно-експлуатаційні пункти (РЕП), а також запаси обладнання і матеріалів на випадок проведення аварійно-відновних робіт (АВР).

*Технічне обслуговування та ремонт об'єктів електричних мереж* – доцільно проводити комплексним методом. Їх виконання групується в комплекси за номенклатурою і періодичністю. Виконання робіт при цьому проводять бригади централізованого обслуговування, які виконують повний обсяг робіт на об'єкті.

При комплексному проведенні робіт засоби механізації і персонал концентруються на ремонтваному об'єкті.

Метод комплексного проведення робіт при експлуатаційному обслуговуванні електричних мереж дозволяє:

1. Перейти від вибіркового і сезонних робіт до планомірного і впорядкованого ведення експлуатаційного обслуговування.

2. Підвищити продуктивність праці персоналу за рахунок виключення невикористаних витрат часу на підготовчо-заклучні операції (підготовку інструменту і матеріалів, організацію робочих місць, вимикання і вмикання електроустановок), переходи і переїзди, підвищення рівня механізації робіт шляхом концентрації механізмів на об'єкті.

3. Скоротити загальний час ремонту і технічного обслуговування, в тому числі простоювання об'єктів електромереж у вимкненому стані.

4. Підвищити рівень технічного керівництва, поліпшити організацію і умови праці персоналу, контроль за дотриманням заходів з техніки безпеки,

5. Забезпечити якість робіт, виявлення і ліквідацію дефектів обладнання, елементів і споруд електричних мереж.

6. Рационально використати трудові та матеріальні ресурси.

Бригади централізованого обслуговування повинні бути забезпечені:

- Автотранспортом, спецмеханізмами та машинами, засобами механізації, захисту, такелажем, інструментом та інвентарем.

- Засобами зв'язку.

- Необхідною технічною документацією та інструкціями.

1. Комплексом споруд (склади, майстерні, гаражі, лабораторії тощо). Спецмеханізми, машини, пристрої та інше обладнання закріплюються за бригадами, які цими механізмами постійно користуються. Відповідальний за їх технічний стан, своєчасний ремонт і випробовування несуть підрозділи Обленерго та відособлені підрозділи електроенергетичної системи. Вибір методу ремонту і технічного обслуговування проводиться на базі техніко-економічного обґрунтування з урахуванням місцевих умов, в тому числі забезпечення матеріальними ресурсами, засобами механізації, транспорту, кваліфікації і кількості персоналу та інших факторів.

2. Періодичність і тривалість ремонту і технічного обслуговування об'єктів електричних мереж встановлюється нормативно-технічною документацією в залежності від технічного стану об'єкта, місцевих умов експлуатації.

3. При ремонті і технічному обслуговуванні об'єктів електричних мереж необхідно виконувати вимоги нормативних, технологічних та конструкторських документів.

4. Повітряні лінії електропередачі напругою 35 кВ і вище – Інструкція з експлуатації. Кабельні лінії напругою до 35 кВ і вище. Інструкція по експлуатації.

5. Технологічними картами та картами організації праці також відповідними схемами. Відповідальність за організацію технічного обслуговування і ремонту електричних мереж напругою 0,4-150 кВ несе керівництво Обленерго.

Відповідальність за організацію технічного обслуговування і ремонту електричних мереж напругою 220-800 кВ несуть відособлені підрозділи Державного підприємства "Національна енергетична компанія "Укренерго".

1. Багаторічні (перспективні) та річні плани, графіки ремонту і технічного обслуговування об'єктів електричних мереж напругою 0,4-150 кВ розробляють відповідні виробничі служби РЕМ та виробничо-експлуатаційні служби Обленерго, погоджують і затверджують з їх керівництвом, а електричних мереж напругою 220- 800 кВ – відособлені підрозділи Державного підприємства "Національна енергетична компанія "Укренерго".

2. Плани матеріально-технічного постачання повинні відповідати планам і графікам ремонту та технічного обслуговування об'єктів електричних мереж.

3. Виконання робіт з ремонту та реконструкції на об'єктах електричних мереж, які знаходяться на сільськогосподарських угіддях, слід проводити за погодженням із землекористувачем.

Роботи з технічного обслуговування та ліквідації аварій, або ліквідації аварійної ситуації на об'єкті, яка загрожує життю людей, дозволяється проводити в будь-який час, без погодження із землекористувачем. Після закінчення робіт виконавець зобов'язаний привести земельні угіддя до попереднього стану. Завдані збитки під час проведення даних робіт землекористувачеві відшкодовує власник об'єкта.

*Для забезпечення оперативної ліквідації аварійних ситуацій в електричних мережах* необхідно створити аварійний запас електроустаткування, матеріалів і виробів.

Обсяг аварійного запасу та умови його зберігання і поповнення визначається на базі нормативних документів "Норми аварійного запасу устаткування та матеріалів для магістральних електричних мереж напругою 220-750 кВ" ГKD 34.10.383, "Норми аварійного запасу електроустаткування, будівельних конструкцій та матеріалів для електричних мереж напругою 0,38-150 кВ" ГKD 34.10.384.

Вартість ремонтів і технічного обслуговування на електрооб'єктах визначається кошторисами, складеними на базі нормативних документів «Норми часу на ремонт і технічне обслуговування електричних мереж» ГKD 34.05.834, т.т. 1-6, а саме:

- том 1 – повітряні лінії напругою 0,4-150 кВ, трансформаторні підстанції напругою 6-20/0,4 кВ, розподільні пункти напругою 6-20 кВ;

- том 2 – повітряні лінії напругою 35-150 кВ;

- том 3 – кабельні лінії напругою 0,4-35 кВ;

- том 4 – повітряні лінії напругою 220-750 кВ;

- томи 5, 6 – капітальний, поточний ремонт і технічне обслуговування ремонт обладнання електричних підстанцій напругою 35 кВ і вище.

На роботи, які не вказані в вищезазначених документах, кошториси складаються на базі державних норм і розцінок на будівництво, монтаж та ремонтні роботи електричного обладнання або місцевих норм часу та калькуляцій. Для визначення вартості проведення ремонтів і ТО електричних мереж доцільно використувати автоматизовану систему розрахунку кошторисно-фінансової документації на базі вищеназваних нормативних документів.

### **4.3 Повітряні лінії електропередачі напругою 0,4-20 кВ, трансформаторні підстанції 6-20/0,4 кВ і розподільні пункти 6-20 кВ**

#### **4.3.1 Загальні положення**

Експлуатаційне обслуговування електричних мереж напругою 0,4-20 кВ полягає в організації технічного обслуговування і капітального ремонту. Об'єктом електричних мереж, який підлягає експлуатаційному обслуговуванню, слід вважати:

- повітряну лінію напругою 0,4 кВ;
- повітряну лінію електропередачі напругою 6-20 кВ;
- трансформаторну підстанцію 6-20/0,4 кВ;
- розподільний пункт 6-20 кВ.

При технічній можливості підприємство електричних мереж може приймати за об'єкт електричних мереж всі ПЛ напругою 0,4 кВ від одного ТП 6-20/0,4 кВ, всі ТП 6-20/0,4 кВ від однієї ПЯ 6-20 кВ тощо.

#### 4.3.2 Експлуатаційне обслуговування електричних мереж напругою 0,4-20 кВ

Обслуговування як правило, виконує структурний підрозділ Обленерго – районне підприємство електричних мереж (РЕМ). Технічне обслуговування повітряних ліній електропередачі 0,4-20 кВ, трансформаторних підстанцій 6-20/0,4кВ і розподільних пунктів 6-20 кВ повинно проводитись, виходячи з результатів огляду конкретного об'єкта, за висновком начальника (головного інженера) РЕМ.

Перелік робіт, які виконуються при технічному обслуговуванні ПЛ напругою 0,4-20 кВ, наведений в таблиці 4.1 див додаток А.

Перелік робіт, які виконуються при технічному обслуговуванні трансформаторних підстанцій напругою 6-20/0,4 кВ і розподільних пунктів 6-20 кВ (табл.) 4.2

Таблиця 4.2 – Перелік робіт

| Назва роботи                                                                                                             | Термін проведення                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1. Періодичний огляд ТП, РП<br>1.1 Огляд всіх об'єктів електромонтерами<br>1.2 Огляд об'єктів, які є в плані капремонту, | Не менше ніж 1 раз на 12 місяців<br>Річний графік<br>Упродовж року |
| 2. Позачергові огляди після вимкнення короткого замикання                                                                |                                                                    |
| 3. Вимірювання навантажень і напруги на трансформаторах та лініях, що від них відходять                                  | 1 раз на рік                                                       |
| 4. Вимірювання опору ізоляції трансформатора                                                                             | 1 раз на рік                                                       |
| 5. Вимірювання опору заземлюючого пристрою                                                                               |                                                                    |
| 6. Заміна дефектних елементів                                                                                            |                                                                    |
| 7. Відбір проб масла, доливання масла в апарати. Контроль за температурним режимом масла                                 |                                                                    |
| 8. Ревізія контактних з'єднань                                                                                           |                                                                    |
| 10. Перевірка стану запобіжників та автоматичних вимикачів                                                               |                                                                    |

|                                                                                                                      |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 11. Перевірка наявності трансформаторного масла в апаратах                                                           |              |
| 12. Чищення і змащення робочих контактів роз'єднувачів, ВН, автоматичних вимикачів, рубильників, дугогасильних камер | 1 раз на рік |
| 13. Прогрівання кабельних воронок з доливанням мастики                                                               | 1 раз на рік |

Результати оглядів, перевірок, вимірювань заносяться в листки оглядів (перевірок), які наведені в додатку 40. В листку оглядів майстер вказує терміни і спосіб ліквідації несправностей. Несправності, які потребують термінової ліквідації, заносяться у відповідні “Журнали дефектів”, в яких майстер вказує термін і спосіб ліквідації несправностей, а після ліквідації – дату ліквідації.

#### **4.3.3 Капітальний ремонт**

1. Капітальний ремонт ПЛ 0,4-20 кВ на залізобетонних опорах необхідно проводити 1 раз на 10 років.

2. Капітальний ремонт ПЛ 0,4-20 кВ на дерев'яних опорах повинен виконуватись 1 раз на 5 років.

Якщо ПЛ складається з дерев'яних і залізобетонних опор і перевагу складають дерев'яні опори, то капітальний ремонт повинен проводитись 1 раз на 5 років. Конкретні терміни проведення ремонтів встановлюються в залежності від технічного стану електро-об'єкта і наявних матеріально-технічних ресурсів. Пріоритетність об'єктів при плануванні ремонтів встановлюється із врахуванням вимог і надійності електропостачання (категорійності) споживачів.

#### **4.5.1 Комплекс робіт з технічного обслуговування**

Комплекс робіт з технічного обслуговування передбачає

1. Розчищення траси від купців, звалених дерев.
2. Вирубування дерев, що загрожують падінням на проводи.
3. Встановлення відбійних тумб.
4. Заміна опор, стояків траверс, підкосів, приставок.
5. Встановлення приставок та підкосів.

6. Заміна проводів.
7. Перетягування проводів до житлових будинків і виробничих будівель та споруд (встановлення і заміна з'єднувачів, ремонтних муфт, бандажів).
8. Встановлення приставок до стійок опор, підкосів.
9. Перенесення опор та закріплення опор в слабких ґрунтах.
10. Регулювання, ремонт та заміна роз'єднувачів, кабельних муфт, грозозрядників.
11. Заміна та встановлення додаткових заземлень.
12. Встановлення додаткових опор для підсилення ПЛ.
13. Заміна ізоляторів по всій довжині ПЛ.
14. Вирівнювання опор по всій довжині ПЛ.
15. Встановлення подвійного кріплення проводів.
16. Встановлення додаткових траверс, гаків та ізоля-торів.
17. Заміна траверс.
18. Заміна заземлюючих спусків і заземлювачів.
19. Заміна відгалужень на вводах та виконання глухого кріплення проводів.

#### **4.3.4 Капітальний ремонт ТП напругою 6-10/0,4 кВ та розподільних пунктів напругою 6-10 кВ**

Капітальний ремонт проводиться 1 раз на 5 років.

Перелік робіт, які виконуються при капітальному ремонті трансформаторних підстанцій, розподільних пунктів напругою 6-20/0,4 кВ:

1. Очищення, ремонт і фарбування металевих коня-рукцій, корпусів обладнання, шаф, панелей, щитів РП.
2. Ремонт або заміна обладнання, збірних шин, блокувальних пристроїв.
3. Заміна обладнання ТП, РП та ремонт.
4. Заміна щитів КТП, КСО, ЩО.
5. Заміна і ремонт вводів напругою 0,4-10 кВ.
6. Встановлення, заміна і ремонт заземлюючих пристроїв, заміна заземлюючих провідників;
7. Заміна і ремонт засобів телемеханіки, зв'язку, релейного захисту і автоматики.
8. Демонтаж незадіяного і пошкодженого обладнан-ня;

9. Зміна силових трансформаторів після проходження ними капітального ремонту в ремонтних майстернях, заводах.

10. Заміна і ремонт будівельної частини ТП, РП.

Закінченням капітального ремонту об'єкта електричних мереж вважається момент ввімкнення його в мережу, якщо при ввімкненні під напругу не виникла відмова.



### **Запитання для самоперевірки**

---

1. Які основні об'єкти входять до складу електричних мереж?
2. Капітальний ремонт електричних мереж...
3. Для забезпечення проведення капітального ремонту потрібно...
4. Що необхідно для забезпечення оперативної ліквідації аварійних ситуацій в електричних мережах ?
5. Об'єктом електричних мереж, який підлягає експлуатаційному обслуговуванню, слід вважати...
6. Що передбачає комплекс робіт з технічного обслуговування?

## **Розділ 5**

### **ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН**

#### *Загальні відомості*

*Обсяг робіт по технічному обслуговуванню  
й ремонту електромашин*

*Обсяг робіт по технічному обслуговуванню й  
ремонту електромашин широкого застосування*

Для підтримки тривалої працездатності електричних машин велике значення має їх технічне обслуговування в міжремонтні періоди. До технічного обслуговування допускається фахівці в обов'язки яких входить стежити за температурним режимом машини, станом її щіткового контакту, колектора і контактних кілець, вібрацією, станом підшипників і їх мастила.

#### **5.1 Загальні відомості**

Найважливішою умовою правильної експлуатації електричних машин є своєчасне проведення планово-попереджувальних ремонтів і періодичних профілактичних випробувань.

Профілактика огляду електричних машин відповідно до системи планово-попереджувальних ремонтів через певні проміжки часу проводять планові огляди, перевірки (випробування) і різні види ремонту.

За допомогою системи планово-попереджувальних ремонтів електричні машини підтримують у стані, що забезпечує їх нормальні технічні параметри, частково запобігають випадки відмов, поліпшують технічні параметри машин при планових ремонтах у результаті модернізації.

Для підтримки тривалої працездатності електричних машин велике значення має їх технічне обслуговування в міжремонтні періоди.

До технічного обслуговування допускається фахівець в обов'язки якого входить стежити за температурним режимом

машини, станом її щіткового контакту, колектора і контактних кілець, вібрацією, станом підшипників і їх мастила тощо.

## **5.2 Обсяг робіт по технічному обслуговуванню й ремонту електромашин**

Перегрів двигуна при його нормальному навантаженні можливий через погіршення охолодження (пошкодження крил вентилятора, засмічення вентиляційних каналів і отворів) або при збільшенні температури довкілля вище 400С.

Нагрів двигунів визначають термометром або спеціальними вбудованими приладами, що встановлюються на двигунах потужністю більше 100 кВт.

За відсутності таких приладів нагрів двигунів зазвичай перевіряють на дотик рукою. Якщо дуже гаряче, вимірюють переносним термометром, краще спиртовим, що не має погіршеності в магнітному полі. Активну частину термометра щільно обгортають алюмінієвою фольгою і притискають до місця виміру на поверхні двигуна, а зверху місце ізоляції накривають теплоізоляційною ватою.

Перевірка стану колектора і контактних кілець.

Нормальна робота електричної машини постійного струму в значній мірі залежить від стану колектора, який вимагає ретельного догляду.

При обертанні на колектор осідає вугільний і металевий пил, забруднюючи його щітковий контакт, що наводить до іскріння в зоні зіткнення щіток з пластинами колектора, викликаючи нагар на його ковзаючій поверхні. Підвищене іскріння може призвести до виникнення на поверхні колектора «кругового вогню», тобто короткого замикання між щітками різної полярності через колектор.

Ступінь іскріння на колекторі електричних машин визначають під збігаючим краєм щітки.

Відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 18322-78 використовують два види ремонту – поточний і капітальний, хоча для окремих видів електроустаткування передбачається й середній ремонт.

Період між двома плановими капітальними ремонтами називається ремонтним циклом. Для електричних машин, що вводяться знову в експлуатацію, ремонтний цикл – це наробіток від введення в експлуатацію до першого планового капітального ремонту.

Існують три форми організації ремонтів – централізована, децентралізована, змішана.

*При централізованій формі* ремонт, випробування й налагодження електричних машин здійснюються спеціалізованими ремонтно-налагоджувальними організаціями. Ця форма є найбільш прогресивної, тому що забезпечує мінімальну вартість ремонту при більшій якості.

*При децентралізованій формі* ремонт, випробування й налагодження здійснюються ремонтними службами виробничих підрозділів підприємств, при змішаній частина робіт виконується централізовано, частина – децентралізовано, причому ступінь централізації залежить від характеру підприємства, типу й потужності електроустаткування.

Зі збільшенням кількості спеціалізованих ремонтних підприємств і їхньої потужності поліпшується якість ремонтних робіт, зменшуються їхня собівартість і строки ремонту.

Удосконалення централізованого ремонту припускає створення централізованого обмінного фонду електричних машин і розширення їхньої номенклатури, поширення сфери послуг ремонтних підприємств на виробництво поточних ремонтів і профілактичного обслуговування.

Тривалість ремонтного циклу визначається умовами експлуатації, вимогами до показників надійності, ремонтпридатністю, правилами технічної експлуатації, інструкціями заводу-виготовлювача.

Звичайно ремонтний цикл обчислюється в календарному часі виходячи з 8-робочого дня при 41-годинному робочому тижні.

При визначенні тривалості ремонтного циклу виходять із графіка розподілу відмов електричних машин у функції часу експлуатацію. На ньому можна виділити три області:

- область I – після ремонтну приробітку, коли ймовірність відмов підвищена за рахунок можливого застосування при

ремонті неякісних вузлів, деталей і матеріалів, недотримання технології ремонту тощо.;

- область II – нормальний етап роботи електричних машин із практично незмінним числом відмов у часі;

- область III – старіння окремих вузлів електричної машини, що характеризується ростом числа відмов.

Тривалість ремонтного циклу не повинна перевищувати тривалості нормального етапу роботи II.

При плануванні структури ремонтного циклу (види й послідовність чергування планових ремонтів) виходять із того: в електричній машині поряд зі швидкозношуваними деталями (щітки, підшипники кочення, контактні кільця), відновлення яких виробляється їхнім незначним ремонтом або заміною на нові, є вузли з більшим строком наробітку (обмотки, механічні деталі, колектори), ремонт яких досить трудомісткий і займає багато часу.

Тому протягом наробітку між капітальними ремонтами електричні машини повинні пройти кілька поточних ремонтів.

Поточні ремонти, як правило, не порушують ритму виробництва, у той час як капітальний ремонт при відсутності резерву пов'язаний із припиненням виробництва (технологічного процесу).

Тому міжремонтний період для електричних машин варто порівнювати до міжремонтного періоду основного технологічного встаткування, якщо останній виявляється меншим.

### **5.3 Обсяг робіт по технічному обслуговуванню й ремонту електромашин широкого застосування**

Для електричних машин масового застосування, не віднесених до основного встаткування й яка має достатній резерв, можна перейти від системи планово-попереджувального ремонту до після відмовної системи ремонту.

Доцільність такого переходу повинна підтверджуватися техніко-економічним аналізом. Тривалість  $T$  ремонтного циклу, а також тривалість між ремонтного періоду  $t$  визначають,

виходячи з нормальних умов експлуатації при двозмінній роботі з даних, наведеним у табл. 5.1.

Для колекторних машин постійний і змінний токи наведені в табл.5.1 тривалості ремонтного циклу й між ремонтного періоду зменшують шляхом введення коефіцієнта ВДО = 0,75.

Величини  $T$  і  $t$  залежать також від змінності роботи електричних машин, коефіцієнта використання, характеру роботи (пересувні або стаціонарні установки, основне або допоміжне устаткування).

Таблиця 5.1 – Тривалість ремонтних циклів

| Умови роботи електричних машин                                                                                                      | Коефіцієнт попиту $K_c$ | $T$ табл, років | $t$ табл, міс |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------|---------------|--|
| Сухі приміщення                                                                                                                     | 0,25                    | 12              | 12            |  |
| Гарячі гальванічні, хімічні цеха                                                                                                    | 0,45                    | 4               | 6             |  |
| Забруднені ділянки - сухого шліфування й ін.                                                                                        | 0,25                    | 6               | 8             |  |
| Тривалі цикли безперервної роботи з високим ступенем завантаження - приводи насосів, вентиляторів, компресорів, кондиціонерів і ін. | 0,75                    | 9               | 9             |  |

Перед ремонтом проводяться випробування електричних машин для виявлення й наступного усунення дефектів.

Типовий обсяг робіт по технічному обслуговуванню включає:

- щоденний нагляд за виконанням правил експлуатації й інструкцій заводу-виготовлювача (контроль навантаження, температури окремих вузлів електричної машини, температури охолодного середовища при замкнутій системі охолодження, наявності змащення в підшипниках, відсутності ненормальних шумів і вібрацій, надмірного іскріння на колекторі й контактних кільцях і ін.);

- щоденний контроль за справністю заземлення;
- контроль за дотриманням правил техніки безпеки працюючими на електроустаткуванні;
- відключення електричних машин в аварійних ситуаціях;
- дрібний ремонт, здійснюваний під час перерв у роботі основного технологічного встаткування й не потребуючої спеціальної зупинки електричних машин (підтяжка контактів і кріплень, заміна щіток, регулювання траверс, системи захисту, чищення доступних частин машини й т.д.);
- участь у приймально-здавальних випробуваннях після монтажу, ремонту й налагодження електричних машин і систем їхнього захисту й керування;

- планові огляди експлуатованих машин по затвердженому головним енергетиком графікові із заповненням карти огляду.

Типовим обсягом робіт при поточному ремонті включає:

- виробництво операцій технічного обслуговування; відключення від живильної мережі й від'єднання від приводного механізму (двигуна);

- очищення зовнішніх поверхонь від забруднень; розбирання електричної машини в потрібному для ремонту обсязі;

- перевірку стану підшипників, промивання їх, заміну підшипників кочення, якщо зазори в них перевищують допустимі, перевірку й ремонт системи примусового змащення, заміну змащення; перевірку, очищення й ремонт кріплення вентилятора, перевірку й ремонт системи примусової вентиляції;

- огляд, очищення й продувку стисненим повітрям обмоток, колектора, вентиляційних каналів;

- перевірку стану й надійності кріплення лобових частин обмоток, усунення виявлених дефектів;

- усунення місцевих ушкоджень ізоляції обмоток, сушіння обмоток, покриття лобових частин обмоток покривним лаком;

- перевірку й підтяжку кріпильних з'єднань і контактів із заміною дефектних кріпильних деталей; перевірку й регулювання щіткотримачів, траверс, коротко замикаючих пристроїв, механізму підйому щіток; зачищення й шліфування колектора й контактних кілець, перевірку стану й правильності позначень вивідних кінців обмоток і клемних колодок з необхідним ремонтом; заміну фланцевих прокладок і ущільнень;

- приєднання машини до мережі й перевірку її роботи на холостому ходу й під навантаженням; усунення ушкоджень фарбування;

- проведення приймально-здавальних випробувань і оформлення здачі машини в експлуатацію.

Типовим обсягом робіт при капітальному ремонті включає:

- виробництво операцій поточного ремонту;
- перевірку осьового розбігу ротора й радіальних зазорів підшипників ковзання з наступним пере заливанням вкладишів;

- заміну підшипників кочення;

- повне розбирання машини із чищенням і промиванням всіх механічних деталей;

- заміну дефектних обмоток (включаючи ремонт коротко замкнутих обмоток), очищення й продувку обмоток, що зберігаються;

- просочення й сушіння обмоток, покриття лобових частин обмоток покривними лаками й емаліями;

- ремонт колекторів, контактних кілець і щіткових вузлів (аж до їхньої заміни на нові);

- ремонт статора й ротора, включаючи часткову заміну листів; відновлення пресовки;

- ремонт підшипникових щитів, корпусу, відновлення розмірів посадкових місць;

- ремонт вала;

- ремонт або заміну вентилятора; заміну несправних пазових клинів, різних ізоляційних деталей;
- складання й фарбування машини;
- проведення випробувань і оформлення здачі машини в експлуатацію.

Перед установкою електродвигуна двигуна на робочу машину необхідно виконати наступні підготовчі роботи:

- Очистити корпус двигуна від пилу – ганчіркою, змоченої в гасі або бензині, зняти антикорозійне змащення з вільного кінця вала.

- Перевірити кріпильні деталі двигуна.

- Перевірити наявність змащення в підшипникових вузлах.

- Виміряти опір ізоляції між фазами й корпусом мегомметром на напругу 500В. Якщо опір ізоляції виявиться менш 0,5 МОм, обмотку двигуна необхідно підсушити.

- Сушити обмотку можна фотополяриметром способом (з розбиранням двигуна або без її), у сушильній шафі або лампами накаливання. Під час сушіння температура обмоток не повинна перевищувати 100 градусів по Цельсію. У процесі сушіння фото поля-риметром образом необхідно контролювати температуру обмотки.

- Виміряти температуру обмотки двигуна в будь-якій частині можна термopарою або термометром, кулька якого обертають алюмінієвою фольгою, а зовнішню частину покривають теплоізоляцією (повстю, ватою й т.д.). Температура в пазовій частині обмотки на 10 - 15 градусів вище, ніж у лобовий. Температуру обмоток можна визначити по зміні її опору ( в Ом ) у період нагрівання. Опір обмотки можна виміряти вольтметром/амперметром або мостом постійного струму.

$$t_{об} = (235 + t_1) / R_1 + t_1 , \quad (6.1)$$

де  $t_{об}$  - температура обмотки в період сушіння;

$R_1$  - опір обмотки в холодному стані, Ом

$R_2$  - опір обмотки під час сушіння, у  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_1$  - температура обмотки до початку сушіння, у °C

Сушать обмотки доти, поки, опір ізоляції не досягне значення 0,5 МОм. Якщо опір ізоляції не піднімається до зазначеної величини (обмотка сильно відволожилася), сушіння продовжують.

### **Приймально-здавальні випробування і підготовка до пуску**

Згідно з ПУЗ і відповідно до ГОСТ 183-74 і 11677-85 та ДСТУ електричні машини після їх монтажу або капітального ремонту підлягають приймально-здавальним випробуванням; при цьому проводять зовнішній огляд, перевірку схеми з'єднання обмоток, вимірювання опору обмоток постійному струму, вимірювання опору ізоляції, випробування електричної міцності ізоляції обмоток підвищеною напругою підвищеної частоти, пробний пуск електродвигуна, перевірку роботи електродвигуна на холостому ходу та під навантаженням. Після закінчення всіх пусконаладжувальних робіт складають протокол випробувань і роблять висновок про придатність електродвигуна для тривалої експлуатації.

**При зовнішньому огляді перевіряють:** відповідність паспортних даних електродвигуна проекту і механізму; наявність всіх деталей; відсутність механічних пошкоджень корпусу, вивідної коробки, пристроїв охолодження; відсутність пошкоджень підвідних проводів (обривів, переломів, порушень ізоляції тощо); відсутність заїдань, стуків тощо при прокручуванні вала від руки; наявність заземлюючої проводки від електродвигуна до загальної мережі заземлення; правильність внутрішніх з'єднань обмоток ("зірка" або "трикутник"), надійність кріплення і з'єднання з робочою машиною, стан мастила в підшипниках.

**Перевірка схеми з'єднання обмоток.** Статори більшості двигунів змінного струму мають шість виводів, що відповідають податкам і кінцям фазних обмоток.

### Позначення виводів обмоток статора

| Фаза | Обмотка статора за ГОСТ 183-74 |        |
|------|--------------------------------|--------|
|      | Початок                        | Кінець |
| 1    | C1                             | C4     |
| 2    | C2                             | C5     |
| 3    | C3                             | C6     |

Звичайно літерні позначення виводів обмоток електродвигунів вибивають на наконечниках або на бирках, надітих на виводи. Але буває, що ці бирки губляться. При відсутності маркувань кінців обмоток їх необхідно відновити, для чого спочатку контрольною лампою або мегомметром визначають належність виводів обмоток до відповідних фаз і роблять позначки за допомогою тимчасових картонних бирок, а потім перевіряють їх взаємну погодженість індукційним методом на постійному або змінному струмі.



### Запитання для самоперевірки

1. Для підтримки тривалої працездатності електричних машин велике значення має...
2. Де визначають ступінь іскріння на колекторі електричних машин...
3. Який вводять коефіцієнт для зменшення

тривалості ремонтного циклу?

4. Що включає типовий обсяг робіт по технічному обслуговуванню?
5. Типовим обсягом робіт при капітальному ремонті передбачається...
6. Які передбачаються роботи перед установкою електродвигуна двигуна на робочу машину?
7. За якою формулою можна визначити температуру обмотки

## **Розділ 6**

### **ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ АПАРАТІВ КЕРУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ**

*Загальна інформація*

*Перевірка електромагнітних розчіплювачів  
автоматичних вимикачів*

*Перевірка теплових розчіплювачів автоматичних  
вимикачів*

*Технічне обслуговування апаратів керування  
і захисту*

*Поточний ремонт*

#### **6.1 Загальна інформація**

Апарати керування та захисту призначені для керування роботою і захисту струмоприймачів від аномальних режимів, а також здійснюють захист елементів систем централізованого і місцевого електропостачання від можливих аварійних режимів та ситуацій роботи:

- коротких замикань;
- тривалих за часом перевантажень.

За своєю комутаційною здатністю повинні відповідати струмам короткого замикання на початку ділянки електричної мережі, яку вони захищають.

Апарати керування за типом приводу поділяються на ручні і електромагнітні.

До ручних апаратів керування відносяться:

- рубильники;
- пакетні вимикачі;
- універсальні перемикачі;
- кнопковий вимикач.

До електричних апаратів дистанційного керування відносяться:

- контактори;
- електромагнітні пускачі;
- електромагнітні реле.

Електричні апарати керування характеризуються двома параметрами – номінальною напругою  $U_{ном.ап.}$  та номінальним струмом  $I_{ном.ап.}$ .

Вибирають електричні апарати керування за принципом обмеження:

$$U_{ном.ап.} \geq U_{мер} , \quad (6.1)$$

де  $U_{мер}$  - напруга мережі живлення

$$I_{ном.ап.} \geq I_{ел.уст.} \quad (6.2)$$

де  $I_{ел.уст.}$  – струм електроприймача

Апарати захисту призначені для запобігання небезпечних наслідків струмових перевантажень, коротких замикань та струмів витоку, як-от:

- розплавлення і запалення ізоляційних матеріалів;
- розплавлення металу провідників і розлітання крапель, нагрітих до високої температури;
- тривалого горіння електричної дуги (температура до 4000°C) при КЗ;
- обриву ділянок електропроводки в результаті динамічного впливу струмів КЗ;
- передчасного старіння ізоляції провідників.

Місцем встановлення електричних апаратів керування та захисту є силові щити, силові збірки і низьковольтні комплектні пристрої керування (НКП) – в доступних для обслуговування місцях таким чином, щоб виключити можливість їх механічного пошкодження.

Ручні апарати розміщують у шафах, на панелях керування, а також за місцем встановлення агрегату, який задіяний у технологічному процесі.

Найпоширенішими серед захисних апаратів є плавкі запобіжники, принцип дії яких полягає у тепловій дії струму. При його проходженні по елементах електричного кола, які мають електричний опір, останні нагріваються “джоулевым” теплом  $Q$ :

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t. \quad (6.3)$$

Захисним елементом у плавких запобіжниках є плавка вставка, яка характеризується номінальним струмом  $I_{\text{ном.пл.вст.}}$ .

Якщо струм короткого замикання (К.З.) більший від номінального струму плавкої вставки, тобто:

$$I_{\text{к.з.}} > I_{\text{ном.пл.вст.}}, \quad (6.4)$$

остання нагрівається до температури плавлення сплаву, із якого виготовлена, і перегоряє, розриваючи електричне коло з аварійним струмом.

Більш досконалим апаратом захисту від аномальних режимів є автоматичний вимикач, який призначений для ручного замикання і автоматичного розмикання електричного кола при перевантаженні та коротких замиканнях. За видами захисту автоматичні вимикачі поділяються на апарати з:

- електромагнітним розчіплювачем;
- тепловим розчіплювачем;
- комбінованим розчіплювачем та диференціальні.

Захист від струмів короткого замикання виконує електромагнітний розчіплювач. Принцип дії електромагнітних розчіплювачів полягає у магнітному прояві електричного струму: чим більший за силою електричний струм, тим інтенсивніше магнітне поле він створює.

У паспорті автоматичного вимикача з електромагнітним розчіплювачем струм спрацювання позначається  $I_{відс}$  і є кратним номінальному струмові автоматичного вимикача:

$$I_{відс.} = k_{відс} \cdot I_n. \quad (7.5)$$

Значення  $k_{відс}$  може бути різним для різних автоматичних вимикачів залежно від їх призначення.

Якщо струм короткого замикання  $I_{к.з.}$  перевищує струм електромагнітного розчіплювача з урахуванням розкиду його характеристик та вимог ПУЕ то:

$$I_{к.з.} \geq K_p \cdot I_{відс} , \quad (7.6)$$

то електромагнітний розчіплювач спрацює миттєво, забезпечуючи вимикання електричного кола.

Після усунення причини короткого замикання автоматичний вимикач вмикається вручну оператором і готовий до спрацювання в разі настання наступного аварійного режиму.

Для захисту електродвигунів від тривалих за часом перевантажень застосовують теплові розчіплювачі автоматичних вимикачів, принцип дії яких базується на тепловій дії електричного струму.

Струм, який споживає електроприймач під час роботи, контролюється послідовно увімкненим нагрівним елементом теплового розчіплювача (власне резистором).

Його нагрівання передається біметалевій (віднедавна триметалевій) пластині, яка деформується залежно від температури перегрівання нагрівного елемента і при критичному нагріванні звільняє заціпку – відбувається розмикання контактів автоматичного вимикача пружинним приводом. Тепловий розчіплювач не має сталого часу спрацювання, він залежить від струму, що протікає по ньому.

## **6.2 Перевірка електромагнітних автоматичних вимикачів**

Існує досить велика кількість різних типів цих елементів: литі, для захисту двигунів, повітряного виконання і модульні зразки. Найбільш поширений вид вимикачів – це модульні автомати з установкою на DIN-рейку (рис.6.1).

Спрацьовування електромагнітного або теплового розчіплювача призводить до відключення захисним апаратом ділянки ланцюга. Область застосування автоматів з одним видом розчіплювача набагато менше, ніж застосування пристроїв з комбінованою захистом, що складається з обох видів.



Рисунок 6.1 –Загальний вигляд розчіплювачів

Перевірка електромагнітних розчіплювачів автоматичних вимикачів проводиться по чергово для кожного полюса.

Для вимикачів, які не мають теплового розчіплювача, перевірка проводиться наступним у такий спосіб:

- до одного із полюсів вимикача приєднується навантаження і затим апарат вмикається;
- за допомогою регульовального пристрою, який увімкнений послідовно з навантаженням, встановлюється струм на 15% нижчий струму уставки. При цьому автоматичний вимикач не повинен вимикатись.
- далі струм збільшується до вимкнення апарату. Якщо струм спрацювання не перевищив 15%, то такий автоматичний вимикач є придатним до експлуатації.

Автоматичні вимикачі, які мають комбіновані розчіплювачі перевіряються наступним чином:

- до навантаження під'єднується еквівалентний опір, який рівний повному опорів полюса (опір теплового, електромагнітного розчіплювачів та з'єднуючих проводів).

- за допомогою регулювального пристрою встановлюється струм на 15% нижчий струму уставки;
- не змінюючи величини струму, відключається від навантажувального пристрою еквівалентний опір і замість нього по чергово під'єднуються всі полюси вимикача.

При цьому автоматичний вимикач не повинен вимикатись.

Після цього еквівалентний опір знову під'єднується до навантажувального пристрою і встановлюється випробувальний струм на 15% вищий струму уставки.

Не змінюючи значення струму, еквівалентний опір від'єднується від навантажувального пристрою і приєднуються по чергово полюса вимикача. При цьому автоматичний вимикач повинен вимикатись.

### **6.3 Перевірка теплових розчіплювачів автоматичних вимикачів**

Перевірка теплових розчіплювачів автоматичних вимикачів проводиться двох- або трикратним струмом. В кожному полюсі вимикача змонтований свій розчіплювач, тому перевіряється спрацювання кожного. До кожного із полюсів по чергово приєднується навантаження і вмикається вимикач.

За допомогою регулювального пристрою, який увімкнений послідовно з тепловим елементом, або автотрансформатора встановлюється струм у 2-3 рази більший номінального струму і визначається час, протягом якого автоматичний вимикач вимкнеться.

За часострумовою характеристикою робиться висновок про придатність чи непридатність автоматичного вимикача до подальшої роботи. Перевірку характеристик теплових розчіплювачів доцільно проводити при одночасному навантаженні всіх полюсів випробувальним струмом. Для цього полюси вимикача з'єднують послідовно і проводять перевірку.

Щоб визначитися з переліком необхідних випробувань і порядком їх проведення необхідно ознайомитися з пунктом 1.8.37 п. п. 3 в ПУЕ, де чітко регламентовано, що всі

випробування відбуваються згідно рекомендацій виробника розчіплювачів.

## **6.4 Технічне обслуговування апаратів керування і захисту**

Технічне обслуговування (ТО) апаратів керування і захисту проводять на місці їх встановлення.

### **6.4.1 Технічне обслуговування плавких запобіжників**

Запобіжник або плавкий (топкий) запобіжник – комутаційний апарат, призначений для вимикання електричного кола, яке він захищає, шляхом руйнування навмисно передбачених для цього струмовідних частин під дією струму, котрий перевищує певне значення протягом визначеного часу. Запобіжник вмикається послідовно зі споживачем електричного струму і розриває електричне коло у разі перевищення ним номінального струму, на який розрахований

Основними кількісними характеристиками запобіжника є номінальна напруга, номінальний струм (встановлюються окремо для тримачів та вставок, причому характеристики тримачів мають перевищувати відповідні характеристики вставок, придатних для встановлення на них), а також номінальну здатність до відмикання. На рис. 6.2, 6.3 зображені плавкі запобіжники.



Рисунок 6.2 – Запобіжники



Рисунок 6.3 – Високовольтний запобіжники в ланцюгу 115 кВ

Порядок технічного обслуговування:

1. Очистити запобіжник від бруду.
2. Перевірити цілісність запобіжників (омметром).
3. Перед встановленням нової вставки перевірити номінальну силу струму на яку вона розрахована.
4. При необхідності встановити нову плавку вставку і під'єднати запобіжник у коло.
5. Перевірити надійність кріплення кришок вставки плавкої та клемних виводів.
6. Перевірити наявність напруги в ланцюзі під навантаженням (вольтметром).

При ремонті запобіжника зачищають контактні поверхні патрона і губок від кіптяви і частинок металу. У фібрових патронах перевіряють товщину стінок і відсутність тріщин, оскільки при частих спрацюваннях запобіжника стінки патрона вигоряють і міцність патрона знижується.

При перезаряджанні запобіжника плавку вставку перевіряють за струмом вимикання запобіжника і кола, яке захищають. У запобіжників з кварцевим наповнювачем повністю замінюють старий пісок новим, який повинен складатися з чистого сухого кварцу з розміром гранул 0,5-1 мм.

Потім патрон встановлюють у губки запобіжника, куди він повинен входити без перекосу і з деяким зусиллям.

#### **6.4.2 Технічне обслуговування автоматичних вимикачів**

Поточний ремонт пускової і захисної апаратури доцільно проводити без зняття з основи, а при виявленні несправностей, які не можна усунути на місці, апарат слід ремонтувати в майстерні. При технічному обслуговуванні особливу увагу слід приділяти: чистоті контактних поверхонь. Чистка контактів з міді здійснюється дрантям змоченим спиртом. Підгорівші і оплавленні контакти зачищаються напилком.

Поточному ремонту автоматичних вимикачів, контакторів і магнітних пускачів підлягають такі вузли: контакти; дугогасильні камери; магнітопроводи; котушки; механічні частини; ізоляційні деталі та корпуси.

**При ремонті контактів** перевіряють стан нерухомих контактних з'єднань. Підтягують ослаблені болти і гайки. З'єднання, які потемніли або мають колір мінливості, розбирають, зачищають контактні поверхні скляним папером або напилком, збирають з'єднання і затягують болти та гайки.

Болти, гайки, шайби та інші деталі, які вийшли з ладу, замінюють. Гвинтові з'єднання затягують до відказу зусиллям не більшим ніж 150 Н.

Ретельно перевіряють стан розмикаючих контактів. Контакти, виготовлені з міді, які мають напливи або бризки металу, раковини або підгорілі місця, зачищають напилком. Контакти, які вийшли з ладу, замінюють новими.

Після чищення або заміни контактів перевіряють ступінь торкання рознімних контактів щупом 0,05 мм. Щуп не повинен проходити більш ніж 1/3 площі контактної поверхні. Зсув контактних поверхонь по ширині повинен бути не більшим ніж 1 мм.

Забороняється зачищати контакти з будь якого металу наждачною шкірою, так як частинки які не проводять струм врізаються в метал і погіршують провідність. Після заміни контактів або їх обслуговування треба перевірити розчин та провал контактів.

**При ремонті дугогасильних камер** оглядають камери, впевнюються у відсутності тріщин, прогорання матеріалу камер. Очищають шабером внутрішні частини камер від кіптяви, нагару та бризок металу і протирають сухим обтиральним матеріалом. Видаляють з пластин деіонної решітки бризки і напливи металу за допомогою напилка або шабера. Місця пластин, що обгоріли, зачищають скляним або наждачним папером. Дугогасильні камери або сильно обгорілі пластини деіонної решітки, які вийшли з ладу, замінюють новими.

**При ремонті магнітної системи** видаляють скляним папером сліди корозії на сталі магнітопроводу. Очищене місце покривають лаком повітряного сушіння.

У місцях, де стикається рухома і нерухома частина магнітопроводу, сліди корозії і kleпання зчищають шабером вздовж листів магнітопроводу і після зачищення скляним папером або напилком змащують їх машинним маслом. Пошкоджений короткозамкнений виток замінюють новим.

Перевіряють легкість ходу рухомої частини магнітної системи, повертаючи її від руки. Виявлені несправності усувають.

**Ремонт котушок.** Котушка є однією з найбільш пошкоджуваних деталей магнітного пускача і контактора, яка при ввімкненому пускачі (контакторі) обтікається струмом. Тому, перш ніж приступити до ремонту котушки, її оглядають. Котушка повинна мати рівне, блискуче лакове покриття без підтікань і специфічного запаху горілої ізоляції. При незначних відшаруваннях або тріщинах на поверхні ізоляційного шару її знімають і просочують лаком повітряного сушіння. Значення опору ізоляції котушки відносно корпусу і струмопровідних частин повинно бути не менше ніж 0,5 МОм. Котушка з обвугленою і обсипаною ізоляцією підлягає заміні.

При відсутності котушок заводського виготовлення її намотують в електромайстерні.

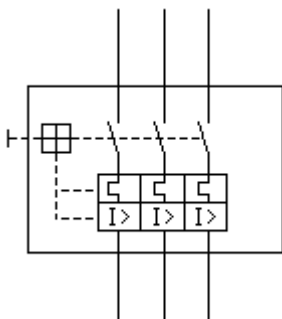
Відновити котушку, якщо є паспорт, неважко. У цьому випадку намотують нову котушку, число витків якої і площа перерізу проводу повинні відповідати паспортним даним. Іноді доводиться перемотувати котушки електромагнітів апаратів на напругу, яка відрізняється від паспортної.

#### **6.4.3 Технічне обслуговування магнітних пускачів**

Магнітний пускач або пускач – комутаційний апарат, призначений для керування живленням електродвигунів: їх пуску, розгону, забезпечення неперервної роботи, відключення живлення та захисту електродвигунів від перевантажень.

Частота комутацій пускача зазвичай не перевищує 30 циклів на годину, допустима максимальна частота перемикачів може сягати 2400 циклів/год.

а



б



Рисунок 6.4 – Мгнітний пускач:

а – схемо технічне позначення; б – загальний вигляд

Пускачі для запуску потужних (від 1 кВт і більше) двигунів облаштовуються пристроями гасіння електричної дуги (дугогасна камера), яка виникає під час комутації між силовими контактами пускача внаслідок індуктивної природи навантаження.

Пускач у вибухонебезпечному виконанні служить для дистанційного керування електродвигунами гірничих машин і механізмів, які працюють у підземних гірничих виробках.

Теплове реле, яке входить до складу пускача, захищає обмотку двигуна, а відтак і мережу живлення, від перевантажень, але не забезпечує захист мереж від коротких замикань. Крім того, пускач не обов'язково має функцію роз'єднання. Так звані захищені й комбіновані пускачі крім захисту мереж від коротких замикань, забезпечують й виконання функції роз'єднання.

Щоб зрозуміти, як працює магнітний пускач, достатньо знати принцип електромагніту. При включенні пускача у котушці проходить електричний струм. Він викликає намагнічування сердечника, який притягує до

себе якір, що рухається. Саме тоді відбувається замикання основних контактів. Після знеструмлення котушки, якір за допомогою зворотної пружини повертається назад, а головні контакти розмикаються. Правильне функціонування пристрою залежить від робочого увімкненого положення якоря. Якщо пружини ослаблені, контакти підгорають, нагріваються і кінці проводів відгорають.

При технічному обслуговуванні магнітних пускачів потрібно:

1. Перевірити надійність силових та блокуючих контактів, а при необхідності зачистити їх.
2. Перевірити стан котушки магнітного пускача, при необхідності замінити її.
3. Здійснити перевірку стану якоря і те на скільки щільно він прилягає до сердечника, так як це може служити причиною сильного гудіння пускача.
4. Перевірити стан зворотніх пружин, при необхідності замінити їх.

#### **6.4.4 Технічне обслуговування електротеплових реле**

Теплові реле – це електричні пристрої, які запобігають перегріванню різних електричних споживачів. При підвищеному навантаженні електродвигун витрачає значну кількість електричної енергії, яка може набагато перевищувати нормативні дані. В результаті перевантаження в ланцюзі електричного струму підвищується температура, яка може привести до несправностей і аварій.

Для виключення таких ситуацій до ланцюга підключають допоміжні спеціальні пристрої, які спрацьовують при виникненні перевантаження і відключають електроенергію. Такі прилади називають термореле або теплові реле. Основною функцією такого захисного реле є забезпечення нормального робочого режиму споживача.

На відміну від електричного теплове реле не розриває силові ланцюги, а тільки відключає ланцюг управління магнітного пускача.

Нормально включений контакт теплового реле працює подібно кнопці «стоп» пускача, і з'єднується з нею по послідовній схемі. У конструкції термореле немає необхідності повторювати функції силових контактів при його спрацьовуванні, так як реле підключається безпосередньо до магнітного пускача.

При такому виконанні схеми досягається значна економія матеріалів для силових груп контактів. Набагато простіше підключати малий струм в керуючій ланцюга, ніж відключати три фази з великим силовим струмом.

На рис. 6.5 зображена схема електрична принципова включення теплового реле, а на рис. 6.6 – загальний вигляд.

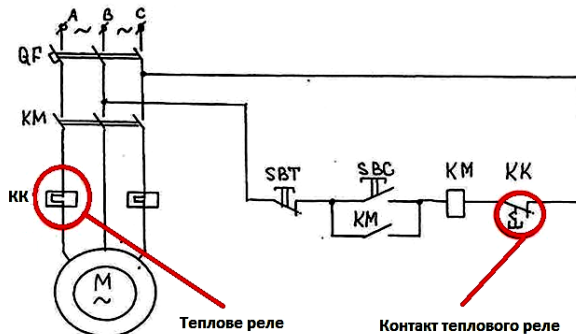


Рисунок 6.5 – Схема електрична принципова включення теплового реле



Рисунок 6.6 –Загальний вигляд Реле РТВ-1302

В тепловому реле перевіряється стан:

- нагрівального елементу;
- біметалічної пластини;
- контактів, при необхідності очистити їх.

В залежності від температури навколишнього середовища необхідно регулювати температуру спрацювання реле, також в залежності від температури навколишнього середовища підбирається біметалічна пластина.

## **6.5 Поточний ремонт апаратів керування та захисту**

Поточний ремонт (ПР) апаратів залежно від характеру і ступеню ушкодження можна проводити як на місці їх використання, так і у пересувній чи стаціонарній майстерні.

Періодичність проведення ТО і ПР залежать від типу апарата, місця встановлення та характеру оточуючого середовища і регламентуються системою ПЗР і ТО та окремими галузевими чи місцевими інструкціями.

Метою технічного обслуговування є підтримання працездатності і справності виробу при його використанні за призначенням.

Склад робіт з технічного обслуговування визначається видом електрообладнання і його технічним станом з метою прогнозування подальшого ресурсу до наступного заходу – ТО або ПР.

При проведенні ТО перевіряють працездатність виробу, здійснюють регулювання основних параметрів або налагодження окремих елементів, а також проводять заміну деталей, які зносились.

Поточний ремонт спрямований на забезпечення або відновлення працездатності виробу і включає заміну чи відновлення окремих частин, за винятком базових.



### Запитання для самоперевірки

1. До ручних апаратів керування відносяться...
2. Якими параметрами характеризуються електричні апарати керування?
3. За видами захисту автоматичні вимикачі поділяються на...
4. Вимикачі, які не мають теплового розчіплювач, перевірка проводиться наступним у такій спосіб...
5. Яким струмом проводиться перевірка теплових розчіплювачів автоматичних вимикачів?
6. У якій спосіб проводиться технічне обслуговування автоматичних вимикачів?
7. У якій спосіб проводиться технічне обслуговування магнітних пускачів?
8. Як здійснюється технічне обслуговування електротеплових реле?

## Розділ 7

### ПОВІРКА ЛІЧИЛЬНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

#### *Загальні відомості*

*Періодична повірки*  
*Позапланова повірка*  
*Повірка лічильників електроенергії*  
*для юридичних осіб*  
*Ремонт лічильників*

## **7.1 Загальні відомості**

Лічильник електричної енергії призначений для вимірювання та реєстрації кількості спожитої електро-енергії.

Повірка проводиться:

- науковими метрологічними центрами, які мають міжнародно визнані калібрувальні та вимірювальні можливості за відповідними видами та підвидами вимірювань, та/або із застосуванням національних еталонів;
- науковими метрологічними центрами, метрологічними центрами та повірочними лабораторіями, уповноваженими на проведення повірки відповідних засобів.

Повірка лічильників проводиться відповідно до Порядку проведення повірки, затвердженого наказом Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 08.02.2016 № 193.

У 1889 році угорець Отто Тітус Блаті (1860–1939), працюючи на заводі «Ганц» (Ganz) в м. Будапешт (Угорщина), запатентував свій «Електричний лічильник для змінних струмів» (патент Німеччини № 52.793, патент США № 423.210). З таким пристроєм Блаті вдалося досягти внутрішнього зміщення фаз майже на 90 °, тому лічильник відображав ват- години більш-менш точно. У лічильнику використовувався гальмівний електромагніт для забезпечення широкого діапазону вимірювань, а також був передбачений циклометричний реєстр. У тому ж році компанія «Ganz» приступила до виробництва.

Перші лічильники кріпилися на дерев'яній основі (рис. 1.7), роблячи 240 обертів за хвилину, і важили 23 кг. До 1914 року вага знизилася до 2,6 кг.



У 1894 році Олівер Блекбурн Шелленбергер (1860–1898) розробив лічильник ват-годин індукційного типу для компанії «Вестінгхаус» (Westinghouse). У

ньому котушки струму і напруги розташовувалися на протилежних сторонах диска, і два постійних магніти сповільнювали рух цього диска. Цей лічильник теж був великим і важким, вагою в 41 фунт. У нього був барабанний рахунковий механізм.

Всі лічильники електричної енергії [можна класифікувати за типом підключення, вимірюваними величинами та конструкцією (рис. 7.2).

Рисунок 7.1 – Один з перших електrolічильників

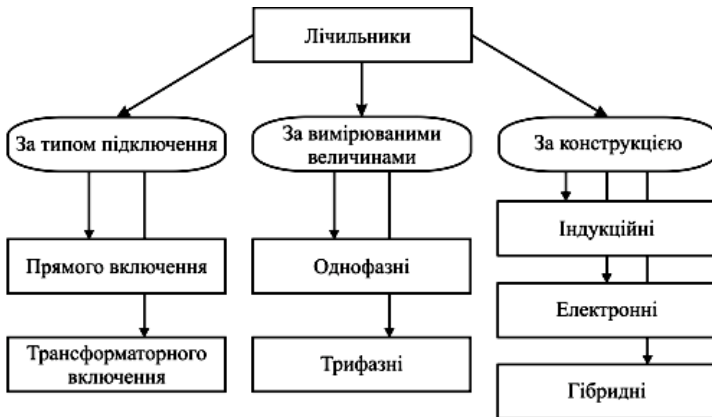


Рисунок 7.2 –Класифікація лічильників електричної енергії

## 7.2 Періодична повірка

Відповідальність за проведення періодичної повірки, обслуговування та ремонт (зокрема, демонтаж, транспортування та монтаж) лічильника покладається на його власника, якщо інше не встановлено законом.

Контроль за своєчасністю повірки лічильників покладається на оператора системи розподілу.

Періодична повірка лічильників побутових споживачів здійснюється за рахунок оператора системи розподілу. Однак у разі пошкодження, втрати або неправильної роботи лічильника з вини споживача, він відшкодовує вартість повірки, ремонту або встановлення нового.

Всі лічильники, які використовуються для визначення обсягів спожитої електричної енергії, повіряються організаціями уповноваженими на проведення повірки засобів вимірювальної техніки, які є незалежними від енергетичних компаній та споживачів. Також у присутності представників вищезазначених організацій проводять експертизу пошкоджених лічильників та лічильників із зірваними або пошкодженими пломбами.

Споживач має право бути присутнім при проведенні експертизи лічильника. За результатами експертизи складається відповідний акт.

Періодичність повірки для кожного типу лічильника різна. Вона може бути:

- первинною – проходить на заводі-виробнику;
- періодичною – яка повинна проводитись у терміни, передбачені нормативними документами.

Також повірка може бути позачерговою у випадку:

- пошкодження лічильника та його ремонту;
- впливу на функціонування лічильника сторонніми пристроями чи предметами;
- пошкодження або відсутності пломб з відбитками тавр про повірку, встановлених на ньому.

У випадку, якщо позачергова повірка здійснюється за ініціативою споживача, роботи проводяться за його рахунок.

*Терміни повірок лічильників для:*

- всіх трифазних індукційних (дискових) лічильників – один раз на 4 роки, однофазних – один раз на 8 років;
- однофазних та трифазних електронномеханічних та електронних (статичних) лічильників, що були виготовлені до 1 грудня 2016 року – згідно термінів встановлених Держспоживстандартом України;

- лічильників що були виготовлені після 01 грудня 2016 року;
- однофазних електромеханічних лічильників активної електроенергії – 8 (16) років;
- трифазних електромеханічних лічильників активної електроенергії – 4 (10) років;
- електронних (статичних) однофазних лічильників активної та реактивної електроенергії – 6 (16) років;
- електронних (статичних) трифазних лічильників активної та реактивної електроенергії – 6 (10) років.

Міжповірочний інтервал (значення в дужках 16 або 10) для засобів вимірювальної техніки, які за результатами досліджень показників стабільності та метрологічної надійності відповідають вимогам національного стандарту (ДСТУ), повинен бути зазначеним в паспорті або декларації про відповідність лічильника.

Для трифазних лічильників з латинською аббревіатурою NIK (починаючи з 2017 року випуску) між по-вірочний інтервал становить 10 років.

### **7.3 Позапланова повірка**

Позапланова повірка приладів обліку електричної енергії виконується за запитом споживача, на підставі його офіційної заяви. Якщо прилад виявиться дійсно несправним, причому не з вини абонента, його заміна буде здійснена безкоштовно.

Також позапланова повірка здійснюється в таких випадках:

- якщо прилад обліку електроенергії був механічно пошкоджений;
- якщо на роботу лічильника впливали сторонні пристрої або предмети;
- якщо на лічильнику відсутні пломби із зазначенням дати останньої повірки;
- у разі встановлення нового лічильника.

## **7.4 Повірка лічильників електроенергії для юридичних осіб**

Порядок оплати повірки лічильників електроенергії для юридичних осіб регламентується постановою НКРЕКП від 24.03.2016 р. №377.

Згідно з його нормами, планова повірка та ремонт приладу обліку електроенергії здійснюється за рахунок його власника.

У випадку з позаплановою повіркою є нюанси:

- Якщо в результаті повірки порушень у роботі приладу і схемах його підключення не виявлено — роботи виконуються за рахунок сторони, яка була ініціатором цієї повірки.

- Якщо лічильник був пошкоджений або в його роботі виявлені проблеми – повірку повинен сплачувати власник приладу обліку.

- Якщо на лічильнику відсутні пломби із зазначенням дати останньої повірки;

- Постачальник електроенергії сплачує вартість повірки та ремонту лічильника у разі, якщо порушення в роботі приладу сталися з його вини.

## **7.5 Повірка лічильників електроенергії для фізичних осіб**

Лічильники, які знаходяться в експлуатації, повинні в обов'язковому порядку проходити планову повірку. Для різних типів пристроїв міжповірочний інтервал може відрізнятися.

Актуальні терміни повірки лічильників електроенергії на 2020 рік:

**Тип приладу**

**Інте**

**рва  
л**

Електро механічні електронні прилади, що були виготовлені до 01.12.2016 р.

|                                |      |
|--------------------------------|------|
|                                | 8    |
| Індукційні (дискові) однофазні | рокі |
|                                | в    |
|                                | 4    |
| Індукційні (дискові) трифазні  | рок  |
|                                | и    |

Виготовлені після 01.12.2016 р.

|                                               |       |
|-----------------------------------------------|-------|
|                                               | 8     |
| Електро механічні однофазні лічильники        | (16)* |
| активної електроенергії                       | рокі  |
|                                               | в     |
|                                               | 4(10) |
| Електро механічні 3-фазні лічильники          | *     |
| активної електроенергії                       | роки  |
|                                               | 6     |
| Електронні лічильники активної і реактивної   | (16)* |
| електроенергії, однофазні                     | рокі  |
|                                               | в     |
|                                               | 6     |
| Електронні лічильники активної і реактивної   | (10)* |
| електроенергії, 3-фазні                       | рокі  |
|                                               | в     |
| Лічильники активної і реактивної              |       |
| електроенергії з класами точності від 0,01 до | 1 рік |

## Позапланова повірка

Позапланова повірка приладів обліку електричної енергії виконується за запитом споживача, на підставі його офіційної заяви. Якщо прилад виявиться дійсно несправним, причому не з вини абонента, його заміна буде здійснена безкоштовно.

Але, як показує практика, сумніви споживачів щодо цього часто виявляються марними. Тому перед тим, як звертатися в РЕМ, рекомендуємо попередньо провести самостійну перевірку приладу. Про те, як це зробити, ми вже розповідали в попередніх статтях. Зрозуміло, що результати такої перевірки будуть неідеальними, але вони допоможуть виявити очевидні проблеми.

Також позапланова повірка здійснюється в таких випадках:

- якщо прилад обліку електроенергії був механічно пошкоджений;
- якщо на роботу лічильника впливали сторонні пристрої або предмети;
- якщо на лічильнику відсутні пломби із зазначенням дати останньої повірки;
- у разі встановлення нового лічильника.

## Хто має право виконувати повірку електролічильників?

Виконувати повірку електричних лічильників можуть виключно обленерго і їхні підрядники — метрологічні центри та повірочні лабораторії, які уклали договір з РЕМ щодо ведення такої діяльності. Роботи, пов'язані з демонтажем лічильника та зняттям пломб, повинні проводитися виключно в присутності самого споживача або його представника, навіть у тих випадках, коли прилад обліку розташовується за межами домоволодіння. За підсумком таких робіт складається відповідний акт.

Що стосується дотримання термінів повірки, то цей обов'язок повністю покладається на операторів систем розподілу. Абоненту залишається тільки надати представнику РЕМ доступ до лічильника в потрібний час.

## Вартість повірки лічильника

Планова повірка лічильників електроенергії, які є власністю абонентів фізичних осіб, а також виконання всіх супутніх робіт — демонтаж, транспортування, ремонт та монтаж, здійснюється за рахунок підприємств, що забезпечують електропостачання. Це пов'язано з тим, що дані витрати вже включені в платіжки споживачів. Якщо прилад був пошкоджений або став функціонувати неналежним чином з вини абонента — ці витрати доведеться відшкодувати зі своєї кишені. Крім того, потрібно буде сплатити ремонт або встановлення нового лічильника, якщо в цьому виникне

необхідність. Ціна повірки лічильника електроенергії залежить від багатьох факторів, зокрема від розцінок самої компанії, яка буде виконувати ці роботи. Також на вартість впливають: тип приладу, місце, де він встановлений,

електролічильників найчастіше варіюються від одного до декількох днів. За час, поки приладу не було на місці або він працював некоректно, обсяг спожитої електроенергії буде розрахований на підставі середньодобового показника.

## **7.6 Ремонт лічильників**

Демонтаж лічильника або зняття встановлених на ньому пломб повинно проводитись в присутності представника оператора системи розподілу та у присутності споживача або уповноваженої ним особи.

Ремонт лічильників повинні здійснювати кваліфіковані фахівці. Тому не намагайтеся самостійно демонтувати або замінити електролічильник. Це тягне за собою відповідальність, встановлену законодавством.

Обленерго закликає споживачів не втручатися в роботу лічильників та інших засобів обліку, не зривати чи порушувати пломби, не змінювати схеми підключення, не здійснювати самовільні підключення поза лічильниками – це є грубим порушенням законодавства та тягне за собою донарахування споживачу вартості необлікованої електричної енергії.

Крім того, згідно ст. 1881 Кримінального Кодексу України, крадіжка електричної енергії шляхом самоцільного використання без приладів обліку (якщо використання приладів обліку обов'язкове) або внаслідок умисного пошкодження приладів обліку чи у будь-який інший спосіб, якщо такими діями завдано значної шкоди – карається штрафом від 100 до 200 неоподаткованих мінімумів доходів громадян або виправними роботами на строк до 2 років або обмеженням волі на строк до 3 років.





## Рисунок 7.2 – Сучасні електролічильники

Ті самі дії, вчинені повторно або за попередньою змовою групою осіб, якщо вони завдали шкоду у великих розмірах – караються позбавленням волі на строк до 3 років.

*Недотримання правил електробезпеки несе загрозу життю і здоров'ю!*



### Запитання для самоперевірки

1. Для чого призначений лічильник електричної енергії
2. Повірка лічильників проводиться...
3. Яка періодичність повірки лічильників?
4. Які терміни повірок лічильників?
5. У яких випадках здійснюється позапланова повірка?:
6. Які нюанси у випадку з позаплановою повіркою?

## ГЛОСАРІЙ

**Автомобільний транспортний засіб** – ДТЗ, за допомогою якого здійснюється перевезення пасажирів і вантажів автомобільними.

**Безвідмовність** – властивість технічного об'єкту безупинно зберігати працездатність протягом деякого часу.

**Відмова** – це подія, що полягає у втраті працездатності електрообладнання.

**Діагностування** – процес визначення вузлів або агрегатів електрообладнання за побічними діагностичними параметрами.

**Діюча електроустановка** – електроустановки або їх ділянки, які перебувають під напругою, або на які напруга може бути подана вмиканням комутаційних апаратів, а також ПЛ (повітряна лінія електропередачі), що знаходиться в зоні дії наведеної напруги або має перетини з діючими ПЛ.

**Діагноз** - висновок про технічний стан обладнання його складової.

**Довговічність** – це властивість ТО зберігати працездатність до настання граничного стану (стан при якому його подальше застосування або відновлення неможливе).

**Граничне значення параметра** – показник, при якому подальше використання обладнання в роботі недоцільне за техніко-економічними показниками.

**Допустиме значення параметра** – показник, при якому забезпечується безвідказна, нормальна робота обладнання при допустимих техніко-економічних показниках без виконання ремонтно-обслуговуючих операцій.

**Електроустановка** – комплекс взаємопов’язаних машин, ліній, апаратів, допоміжного обладнання (рахуючи будівлі та приміщення, в яких вони встановлені), призначені для виробництва, трансформації, передачі, розподілення електричної енергії і перетворення її в інший вид енергії.

**Електроустаткування** (електрообладнання) – сукупність електричних машин, апаратів, пристроїв, допоміжного обладнання (разом зі спорудами та приміщеннями, в яких вони встановлені).

**Електрична мережа або електромережа** – взаємозв’язана мережа, призначена для постачання та розподілу електричної енергії від постачальників до кінцевих споживачів.

**Електропривід або електропривод** – електромеханічна система для надання руху із заданими параметрами виконавчим механізмам робочих машин в цілях здійснення їх функцій.

**Ефективність технічного об’єкту** – це властивість об’єкту виконувати задані функції з необхідною якістю.

**Залишковий ресурс** – це наробіток обладнання (складальної одиниці) від останнього вимірювання основних параметрів до досягнення граничних їх значень, указаних у технічних вимогах.

**Збереженість** – збереження працездатності при зберіганні і транспортуванні.

**Надлишковість** – об’єктом додаткові засоби і можливості зверх мінімально необхідних для виконання технічним заданих функцій.

**Надійність** – це комплексна характеристика, яка включає в себе безвідмовність, довговічність, ремонтно-придатність, та збереженість електрообладнання.

**Наробіток** – це тривалість або обсяг роботи (складальної одиниці), виміряні в годинах.

**Параметр** – якісна характеристика (міра), що пояснює властивості складових частин обладнання або процесу (явища).

**Послуга** – результат безпосередньої взаємодії між Виконавцем та Замовником і внутрішньої діяльності Виконавця для задоволення потреб Замовника.

**Претензія** – письмовий документ, що містить вимогу Замовника до Виконавця щодо невідповідності наданої послуги вимогам нормативних документів та/або умовам договору.

**Магістральна електрична мережа** – електрична мережа, призначена для передачі електричної енергії від виробника до пунктів підключення місцевих (локальних) мереж.

**Міждержавна електрична мережа** — електрична мережа, призначена для передачі електричної енергії між державами;

**Місцева (локальна) електрична мережа** — приєднана електрична мережа, призначена для передачі та розподілу електричної енергії від магістральної електричної мережі до споживача;

**Механізм відмови** – це фізико-хімічний процес, що приводить до відмови. Для показників надійності характерні дві форми подання: імовірна й статистична.

**Надлишковість** – додаткові засоби і можливості зверх мінімально необхідних для виконання ТО заданих функцій.

**Непрацездатний стан** має місце, коли хоча б один із заданих параметрів, які характеризують здатність виконувати задані функції, не відповідає встановленим технічним вимогам.

**Номінальне (розрахункове) значення параметра** – показник максимально ефективного використання складових частин обладнання за техніко-економічними показниками.

**Нормальне значення параметра** – показник, що не виходить за межі допустимого значення параметра.

**Об'єднана енергетична система України** — сукупність електростанцій, електричних і теплових мереж, інших об'єктів електроенергетики, які об'єднані спільним режимом виробництва, передачі та розподілу електричної і теплової енергії при централізованому управлінні цим режимом.

**Пошкодження** – подія, яка полягає у порушенні справного стану об'єкта коли зберігається його працездатність.

**Працездатність** – це стан обладнання, при якому значення усіх параметрів, що характеризують здатність її виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної документації.

**Прогнозування** - визначення залишкового ресурсу (терміну служби) машини (складальної одиниці) до моменту досягнення граничного стану основних, параметрів, зазначених у технічних вимогах.

**Технічне обслуговування** – комплекс дій, що підтримують працездатність електрообладнання при їх використанні і зберіганні.

**Технічний сервіс** – один із найбільш прогресивних видів комплексних послуг споживачу.

**Резервування** – метод підвищення надійності шляхом внесення надлишковості.

**Ремонт** – комплекс операцій щодо відновлення справності або роботоздатності виробів та відновлення ресурсів виробів чи їхніх складових частин.

**Ремонтпридатність** – властивість технічного об'єкту пристосовуватися до попередження можливих причин виникнення відмови.

**Ремонт** – комплекс заходів щодо відновлення працездатного або справного стану якого-небудь об'єкту і/або відновлення його ресурсу.

**Ресурс** – це наробіток електрообладнання від початку відліку основних показників номінальних параметрів нової чи капітально відремонтованого електрообладнання до настання граничних їх значень, указаних у технічних вимогах.

**Ресурсний параметр** – параметр, що позначає фізичну величину, зміна якої вище граничного значення обумовлює втрату працездатності обладнання через вичерпання ресурсу.

**Строк служби** – календарна тривалість експлуатації обладнання від її початку до досягнення граничного стану.

**Технічне обслуговування** – комплекс дій, що підтримують працездатність електрообладнання при їх використанні і зберіганні.

## ОПРАЦЬОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ДЖЕРЕЛА

1. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі: навчальний посібник / Коновалюк О.В., Кіяшко В.М., Колісник М.В. – К.: Аграрна освіта, 2013. – 404 с.  
<http://mexanika.zklnau.com.ua/files/>
2. Войцицький А.П., Шубенко В.О. Войцицький М.А. Електроніка та мікросхемотехніка. навч. посіб. – Житомир: ЖНАЕУ, 2018. – 292с.
3. Основні поняття та методи діагностування.  
<https://studfile.net/preview/5130969/page:35/>
4. Діагностика трансформаторного обладнання (1)  
<https://works.doklad.ru/view/uazu5RtH94w.html>
5. Організація сервісного обслуговування технічно-складних товарів  
[https://pidru4niki.com/10480304/menedzhment/organizatsiya\\_servisnogo\\_obsługovuvannya\\_tekhnichno\\_skladnih\\_tovariv](https://pidru4niki.com/10480304/menedzhment/organizatsiya_servisnogo_obsługovuvannya_tekhnichno_skladnih_tovariv)
6. Структура служби технічного обслуговування. правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.  
<https://danube.pto.org.ua/index.php/component/k2/item/147-tema-3-1-struktura-sluzhbi-tekhnichnogo-obslugovuvannya-pravila-bezpechnoji-ekspluatatsiji-elektrostanovok-spozhyvachiv>
7.  
8. Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів (Додатки до Правил)  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/zc143-06#Text>
9. Біліченко, В. В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів : навчальний посібник / 10. Біліченко В. В., Крещенецький В. Л., Кукурудзяк Ю. Ю., Цимбал С. В. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 118 с.  
<https://atm.vntu.edu.ua/subject/books/OTD/posOTD.pdf>
11. Технічне обслуговування трансформаторів  
<https://riverglennapts.com/uk/maintenance-of-transformer/555-maintenance-of-transformers.html>

12. Характеристика та особливості сухого трансформатора.  
<https://moyaosvita.com.ua/fizuka/xarakteristika-ta-osoblivosti-suxogo-transformatora/>
13. Правила організації технічного обслуговування та ремонту електростанцій та мереж  
<https://forca.com.ua/knigi/pravila/pravila-organizaciyi-tehnichnogo-obslugovuvannya-ta-remontu-elektrostantsii-ta-merezh.html>
14. Технічне обслуговування й ремонт електричних машин  
[https://knowledge.allbest.ru/manufacture/2c0a65635b3bd68b4d53a89521206d37\\_1.html](https://knowledge.allbest.ru/manufacture/2c0a65635b3bd68b4d53a89521206d37_1.html)
15. Технічне обслуговування апаратів керування та захисту.  
[https://studwood.net/1486829/tehnika/tehnichne\\_obslugovuvannya\\_aparativ\\_keruvannya\\_zahist](https://studwood.net/1486829/tehnika/tehnichne_obslugovuvannya_aparativ_keruvannya_zahist)
16. Масляний силовий трансформатор  
<https://www.eaton.com/ua/uk-ua/catalog/medium-voltage-power-distribution-control-systems/ulusoy-oil-type-transformer.html>
17. Повірка та заміна лічильників електричної енергії  
<http://www.cherkasyoblenergo.com/novyny/2297-povirka-ta-zamna-lichilnikov-elektrichnoyi-energiyi.html>
18. Повірка лічильника електроенергії  
<https://megawatt.com.ua/blog/povirka-lichilnika-elektroenergiji-hto-maye-pravo-vikonuvati>
19. Войцицький А.П., Войцицький М.А. Технічні засоби обліку витрат енергоносіїв. навч. посіб. – Житомир: ЖНАЕУ, 2016. – 160с.
20. Войцицький А.П., Нездвєцька І.В. Якість енергоресурсів і енергоносіїв: навч. посіб.– Житомир: Вид-во ЖНАЕУ, 2017. – 215 с.
21. Ремонт електрообладнання авто:  
<https://sto-avto.lviv.ua/service/remont-elektroobladnannya-avto.html>
22. Характеристика засобів діагностування електрообладнання АТЗ:  
<https://works.doklad.ru/view/KBjZwpQuyBI.html>

23. Засоби діагностування та їх класифікація:  
[https://studopedia.su/2\\_41178\\_zasobi-diagnostuvannya-ta-ih-klasifikatsiya.html](https://studopedia.su/2_41178_zasobi-diagnostuvannya-ta-ih-klasifikatsiya.html)
24. Технічне обслуговування приладів електрообладнання <https://allref.com.ua/uk/skachaty/Tehnichn>
25. Технічне обслуговування генераторів  
<https://studfile.net/preview/9811375/page:21/>
26. Система моніторингу технічного стану розподільчих електричних мереж  
<https://core.ac.uk/download/pdf/268399116.pdf>
27. Електричні мережі та системи  
<https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/30/6-30-kl9.pdf>
28. Диагностика воздушных линий  
<https://studfile.net/preview/7518248/page:20/>
29. Перекладач <https://www.deepl.com/ru/translator>
30. Основні поняття та визначення теорії технічної експлуатації. Нормативна, технічна та експлуатаційна документація  
<https://cdn.snau.edu.ua/moodle/mod/resource/view.php?id=127745>
31. Диагностика линий электропередач при помощи летательного аппарата повышенной дальности действия <https://core.ac.uk/download/pdf/343952089.pdf>
32. Діагностування електрообладнання транспортних засобів  
<https://eprints.kname.edu.ua/.pdf>
33. Розумний WiFi лічильник Hiking Tomzn  
[https://bigl.ua/ua/p1355040176-umnyj-wifi-schetchik?click\\_track\\_data=.eJwdzrsOgiAYQOF3-WeGViwYNktsULwQ4xVjSAWsjUgbLCia3110PDnL9wZdqa xOTSiz8LBNC0oj7DoWpPymuRTlf\\_R6BA8IsuCu6irNwYOTFAVYYNQ1L7vkONaj8XkRBANGX3obJZNGkkgS0S7jechOK8Mbd5i1lC2Z3wrsyNBM\\_bCMFo4gdRg9ZhdD15t5nYiCFnbsX89Pbfbwg5hcqKrtIHfwDpjYLRJR\\_j5At8TPEQ.9KOvJAIBY4Yt\\_VLOVYooOj-teaM](https://bigl.ua/ua/p1355040176-umnyj-wifi-schetchik?click_track_data=.eJwdzrsOgiAYQOF3-WeGViwYNktsULwQ4xVjSAWsjUgbLCia3110PDnL9wZdqa xOTSiz8LBNC0oj7DoWpPymuRTlf_R6BA8IsuCu6irNwYOTFAVYYNQ1L7vkONaj8XkRBANGX3obJZNGkkgS0S7jechOK8Mbd5i1lC2Z3wrsyNBM_bCMFo4gdRg9ZhdD15t5nYiCFnbsX89Pbfbwg5hcqKrtIHfwDpjYLRJR_j5At8TPEQ.9KOvJAIBY4Yt_VLOVYooOj-teaM)
33. Повірка лічильників електроенергії для фізичних осіб  
<https://megawatt.com.ua/blog/povirka-lichilnika-elektroenergiji-hto-maye-pravo-vikonuvati>

34.Сухі

трансформатори.<https://www.sea.com.ua/ua/oborudovanie-dlya-energetiki/transformatory-suhie-silovye/ustan>

35.Єрмолаєв С.О., Мунтян В.О., Яковлев В.Ф. Експлуатація енергообладнання та засобів автоматизації в системі АПК: Підручник / За ред.

С.О. Єрмолаєва. — К.: Мета, 2003. — 543 с.; іл.

| Назва роботи | Термін<br>проведення | Примітка |
|--------------|----------------------|----------|
|--------------|----------------------|----------|

Додаток А

Таблиця 4.1– Перелік робіт

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1. Періодичний огляд ПЛ</p> <p>1.1. Огляд по всій довжині</p> <p>1.2. Огляд ПЛ, які є в плані капремонту, інженерно-технічним персоналом</p> <p>1.3. Верховий огляд</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>Не менше ніж 1 раз на рік</p> <p>Упродовж року, що передує ремонтному</p> <p>При потребі</p>                                                         | Річний графік ТО                                                                                                                                   |
| <p>2. Позачергові огляди</p> <p>2.1 Огляд після стихійного лиха</p> <p>2.2. Огляд, пов'язаний з непередбаченим вимкненням ПЛ</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                         | Суміщається з проведенням капітального ремонту, вимиканням ПЛ і перевіркою загнивання верхніх частин опор, закріплення гаків, проводів, ізоляторів |
| <p>3. Профілактичні перевірки і вимірювання</p> <p>3.1. Перевірка загнивання деталей дерев'яних опор</p> <p>3.2. Перевірка стану залізобетонних опор</p> <p>3.3. Вимірювання опору заземлення опор па опорах з розрядниками, захисними проміжками електрообладнання, заземлюючими блискавкозахистами і повторними заземлювачами нульового проводу</p> <p>3.4. Вимірювання опору заземлення опор вибірково на 2% залізо-бетонних опор від загальної кількості опор в населеній місцевості на ділянках ПЛ з найбільш агресивним ґрунтом</p> | <p>У відповідності з нормами, перед підніманням на опору, або заміною деталей</p> <p>У відповідності з нормами</p> <p>Не менше ніж 1 раз на 6 років</p> | За вказівкою керівництва РЕМ                                                                                                                       |
| <p>4. Вибіркова (2% опор із заземлювачами) перевірка заземлення з розкопуванням ґрунту</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | При потребі                                                                                                                                             |                                                                                                                                                    |

|                                                                                                                                 |                                                                                                                                                       |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 5. Перевірка віддалі від проводів до поверхні землі і різних об'єктів інженер-них споруд та приведення їх у відповідність з ПТЕ | При прийманні в експлуатацію надалі під час підключенні нових спожи-вачів і вико-нанні робіт, що викликають цей опір<br>Не менше ніж 1 раз на 6 років |  |
| 6. Перевірка опору петлі "фаза-нуль"                                                                                            |                                                                                                                                                       |  |
| 7. Перевірка трубчастих розрядників зі зніманням їх з опори                                                                     | При потребі                                                                                                                                           |  |
| 8. Вирубубання окремих дерев, що загрожують падінням на ПЛ                                                                      |                                                                                                                                                       |  |
| 9. Вирубубання куців в охоронній зоні ПЛ, обрізування гілок                                                                     |                                                                                                                                                       |  |
| 10. Заміна окремих пошкоджених деталей ПЛ                                                                                       | При потребі                                                                                                                                           |  |
| 11.Заміна трубчастих розрядників                                                                                                | При потребі                                                                                                                                           |  |
| 12. Відновлення номерних знаків і плакатів на опорах                                                                            | При потребі                                                                                                                                           |  |
| 13. Вирівнювання опор (окремих)                                                                                                 | При потребі                                                                                                                                           |  |
| 14. Утрамбування ґрунту під опорами                                                                                             | При потребі                                                                                                                                           |  |
| 15. Перетягування проводів в прогонах ПЛ                                                                                        | При потребі                                                                                                                                           |  |
| 16. Перетягування бандажів кріплення стойки опори до приставки                                                                  | При потребі                                                                                                                                           |  |
| 17. Знімання накидів з проводів                                                                                                 | При потребі                                                                                                                                           |  |

|                                                                        |             |  |
|------------------------------------------------------------------------|-------------|--|
| 18. Заміна обірваних заземлюючих спусків і встановлення затискачів     | При потребі |  |
| 19. Заміна обірваних в'язок проводів                                   | При потребі |  |
| 20. Перевірка стану ізоляції і заміна окремих ізоляторів (пошкоджених) | При потребі |  |
| 21. Встановлення замків на приводах роз'єднувачів                      | При потребі |  |
| 22. Встановлення захисних кутників для захисту кабелів                 | При потребі |  |
| 23. Розчищення рослинності для захисту опор від низових пожеж          | При потребі |  |

**Наукове видання**

**Войцицький Анатолій Првлович  
Новосилецький Юрій Леонідович**

## **ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС**

### **ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ** **Навчальний посібник**

Оригінал-макет – Войцицький А.П.  
Дизайн обкладинки – Новосилецький Юрій  
Леонідович

адруковано з оригінал-макета авторів  
Підписано до друку 2023      Формат 60х90/16.  
Гарнітура Times New Roman. Друк різнографічний.  
Ум. друк. арк. 7,8. Наклад 300. Зам. №.  
Вид-во Поліський національний університет м. Житомир



**Войцицький Анатолій Павлович** доцент  
– викладач кафедри електроенергетики,  
електротехніки та електромеханіки  
ЖАТФК.

Автор понад 120 наукових і навчально-методичних праць, у тому числі: 8 підручників, 27 навчальних посібників, 2 авторські свідоцтва на винахід та дві типових програми тощо.

Наукові компетенції – спеціалізовані  
силові імпульсні пристрої



**Новосилецький Юрій Леонідович**  
викладач методист кафедри  
електроенергетики, електротехніки та  
електромеханіки ЖАТФК.

Автор понад 25 наукових і навчально-методичних праць, у тому числі: 5 статей та 5 методичних посібників.

Наукові компетенції – сучасна експлуатація і ремонт електрообладнання.

