

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Дехтяренко Дмитро Сергійович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Аналіз експлуатаційно надійності силових трансформаторів з оливним
охолодженням напругою 10-35 кВ
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Дехтяренко Д. С.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Рассадкіна Марина Валеріївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.ф-м.н., доцент кафедри вищої та
прикладної математики
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Дехтяренко Д. С. Аналіз експлуатаційно надійності силових трансформаторів з оливним охолодженням напругою 10-35 кВ .

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

Основною метою кваліфікаційної роботи є дослідження роботи силових трансформаторів при експлуатації, що включає в себе оцінку експлуатаційної надійності, розгляд класифікації дефектів і аварійних процесів в силових трансформаторах для підвищення ефективності заходів по оцінці їх стану, що в кінцевому результаті веде до підвищення експлуатаційної надійності силових трансформаторів.

Ключові слова: експлуатаційна надійність, класифікації дефектів, надійності силовий трансформатор.

ABSTRACT

Dekhtyarenko D. S. Analysis of the operational reliability of oil-cooled power transformers with a voltage of 10-35 kV.

Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The main purpose of the qualification work is to study the operation of power transformers during operation, which includes an assessment of operational reliability, consideration of the classification of defects and emergency processes in power transformers to increase the effectiveness of measures to assess their condition, which ultimately leads to an increase in the operational reliability of power transformers.

Keywords: operational reliability, classification of defects, reliability of power transformers.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ1. ОСНОВНІ НЕСПРАВНОСТІ І ПРИЧИНИ ВИХОДУ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА З ЛАДУ	8
1.1 Стан парку трансформаторного обладнання	8
1.2 Аналіз ушкоджуваності та основні несправності трансформатора	9
1.3 Причини виходу трансформаторів з ладу	12
1.4 Життєвий цикл силових трансформаторів	14
Висновки по розділу 1	16
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КЛАСИФІКАЦІЙ ДЕФЕКТІВ У ТРАНСФОРМАТОРІ ТА МОДЕЛІ ЇХ РОЗВИТКУ	18
2.1. Основні небезпечні впливи на трансформатор	18
2.2. Аналіз існуючих класифікацій дефектів в трансформаторі	19
2.3 Аналіз видів дефекту	20
2.4 Контроль стану трансформатор. Види діагностики	23
2.5 Експлуатаційна надійність трансформатора	23
Висновки по розділу 2	31
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ	32
3.1 Розробка алгоритму математичної моделі оцінки надійності	32
3.2 Обробка результатів спостереження для трансформаторів	33
3.3.3. Розрахунок показників надійності трансформаторів	40
Висновки по розділу 3	42
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	44

ВСТУП

Силові трансформатори є критичними компонентами сучасних енергетичних систем. Вони використовуються для збільшення і зниження напруги, щоб забезпечити передачу і розподіл електричної енергії. Хоча, як правило, вони дуже надійні, а у сьогоdnішньому суспільстві відмови, які призводять до припинення подачі енергії до житлових будинків і в промисловій будівлі стають все менш прийнятними для споживачів та регуляторів. Це доповнюється високими фінансовими витратами та питаннями безпеки, що стосуються відмов і несподіваних відключень подачі енергії.

Швидке зростання попиту на електричну енергію у 1960-х та 1970-х роках створив передумови для значних інвестицій в енергетичну інфраструктуру, включаючи і трансформатори для існуючих і більше високих рівнів напруги для економічної передачі постійно збільшуваних обсягів енергії, необхідної споживачам. Велика кількість цих трансформаторів сьогодні мають вік, що перевищує 40 років. Зі старінням трансформаторів з'являється стурбованість по з приводу їх здібності продовжувати надійну роботу. Деякі трансформатори здатні працювати довгий час (більше 50 років після початкової установки), інші можуть бути схильні відмовити через щодня невеликий період часу. Хронологічний вік трансформатора і величина його часу старіння незавжди добре корелюють один з одним. До релевантних факторів, які впливають на реальний період роботи трансформатора, відносяться його конструкція, обслуговування, вплив на нього зовнішніх стрибків напруги і відмов, навантаження, температура, в якій він функціонує, періодичність роботи, навколишнє середовище, і багато інші. Усі енергопостачальні організації і виробники електричної енергії, парк трансформаторів яких достатньо старий, повинні, в якийсь момент часу, замислитися о перспективах дуже витратних проектів заміни старого обладнання для того, щоб гарантувати високу надійність і якість роботи. Оцінки всіх ці активів повинні включати в себе витрати, пов'язані з відмовою пристроїв, з несподіваними відключеннями, з

наступними uszkodженнями, з відновленням напруги, з виплатою штрафів, а також операційні витрати, що відносяться до виправленню створеної ситуації.

Усі старіючі трансформатори працюють в умовах збільшеної операційної температури у зв'язку з вищим попитом та зниженими можливостями для його задоволення. Щоб забезпечити більше високу надійність старіючого парку обладнання, необхідний спосіб оцінки, що дозволяє ідентифікувати трансформатори з високим ризиком відмови. На щастя, сьогодні існують перевірені засоби, що дозволяють пом'якшити ці ризики. До більше стійким, надійним електричним системам приводять превентивні дії з хорошими діагностичними програмами, процедури обслуговування, та плани заміни та оновлення обладнання, а також стратегії навантаження та економії.

Актуальність теми. Безвідмовність і безперебійність роботи обладнання, мереж, систем, станцій залежить від параметра надійності роботи, тому що вони є основними елементами енергосистеми. У сучасний час все більше з'являється необхідність в силових трансформаторах з великим терміном служби, тому для задоволення мети висувують завдання їх реалізації, головними параметрами яких вважаються надійність, працездатність, життєвий цикл. Тому обов'язковий повний аналіз на економічність витрат, а також витрати, щоб оцінити парковий стан трансформатора, продовження його терміну служби. У зв'язку з цим, використовують різного роду діагностики, контроль стану трансформатора, повний аналіз роботи [1].

Силові трансформатори є основними елементами електричних мереж і систем, які визначають невід'ємну частину експлуатаційної надійності та економічності терміну служби трансформатора. Відключення при аваріях, дефекти та пошкодження призводять до витрат, збитків та морального зносу обладнання.

Тому однієї з актуальних завдань підвищення надійності і якості функціонування електричних систем є оцінка експлуатаційної надійності для обліку її при проектуванні і вдосконалення системи технічного обслуговування і ремонту трансформаторів.

Продовження, збільшення життєвого циклу ресурсу певного силового трансформатора здійснюють при допомозі проведення комплексного обстеження. Це складна, наукомістка та дорога операція, проведення якої пов'язано з виконанням дослідницьких операцій в узгодженні з галузевими нормативно-технічними документами. Для цілей стратегічного планування не обов'язково знати з безумовною точністю усі дані обладнання. Щоб визначити дані та характеристики «паркового» ресурсу достатньо їх знати усереднені значення. Велика кількість трансформаторів із чималим терміном експлуатації наводить до суперечливої ситуації при визначенні «паркового» ресурсу. Не можна отримати подання про стан трансформатора, покладаючись тільки на нормативні документи. Розробка комплексного обстеження дозволяє отримати дані про весь парк старіючих трансформаторів на протязі 15-20 років. Необхідно проводити діагностування та контроль над станом силових трансформаторів, а також його обслуговування у процесі всього терміну служби устаткування (25-30 років). У нинішнє час виникає необхідність в діагностиці і обслуговуванні, щоб з найменшими витратами визначати дефекти і ушкодження в силових трансформаторів. Для того, щоб підтримати надійну роботу трансформатора, визначають її ушкодження і дефекти в початковій стадії і спрощення планування їхньої заміни. Методологічна система аналізів діагностичних випробувань дозволяє ефективно визначати дефекти. ГОСТом 11677-85 термін служби силових трансформаторів знаходиться на протязі більше 20 років [1].

Метою роботи є дослідження роботи силових трансформаторів при експлуатації, що включає в себе оцінку експлуатаційної надійності, розгляд класифікації дефектів і аварійних процесів в силових трансформаторах для підвищення ефективності заходів по оцінці їх стану, що в кінцевому результаті веде до підвищення експлуатаційної надійності силових трансформаторів.

У роботі вирішуються наступні завдання:

- дослідження життєвого циклу трансформатора;

- розрахунок показників експлуатаційної надійності для груп трансформаторів;
- аналіз ушкоджуваності трансформаторів

Методи дослідження. У кваліфікаційній роботі застосовані: теорія надійності технічних систем, методи математичної статистики та теорії імовірності.

Наукова новизна роботи і значимість отриманих результатів полягає у вдосконаленні методів кількісного розрахунку показників надійності трансформаторів з обліком умов експлуатації, і складається в наступному:

1. Розроблено комп'ютерна модель розрахунку кількісних показників експлуатаційної надійності.
2. Вперше систематизовано закони розподілу часу відмов та статистичні дані о показниках експлуатаційної надійності трансформаторів.

Практична цінність полягає в наступному:

1. Отримано залежності для розрахунку експлуатаційної надійності трансформатор.
2. Визначено об'єктивні значення кількісних показників експлуатаційної надійності на основі фактичних даних експлуатації, необхідні для вдосконалення їх проектування, технології виготовлення і системи технічного обслуговування і ремонту.

Перелік публікацій автора за темою дослідження :

Рассадкіна М. В., Дехтяренко Д. С. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024» 31 жовтня 2024 року. Житомир: Поліський національний університет, 2024.- С 72-73.

Рассадкіна М. В., Дехтяренко Д. С. КОНТРОЛЬ СТАНУ ТА ВИДИ ДІАГНОСТИКИ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ.

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024» 31 жовтня 2024 року. Житомир: Поліський національний університет, 2024.- С 72-73.

Дехтяренко Д. С. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИЧИНИ ВИХОДУ З ЛАДУ ОЛИВНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «СТУДЕНТСЬКІ ЧИТАННЯ – 2024» 31 жовтня 2024 року. Житомир: Поліський національний університет, 2024.- С 72-73.

РОЗДІЛ 1

ОСНОВНІ НЕСПРАВНОСТІ І ПРИЧИНИ ВИХОДУ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА З ЛАДУ

1.1 Стан парку трансформаторного обладнання

Розвиток специфіки української електроенергетики в нинішній час вимагає експлуатації значної кількості силових трансформаторів з максимальним терміном служби, який в 1,5-2 рази перевищує їх розрахунковий ресурс. У таких умовах покращення обслуговування сервісної системи трансформаторів, які виходять з ладу стає як проблема підтримки працездатності даних трансформаторів, так і завданням збереження на належному рівні надійності електропостачання в загалом.

Щоб оцінити парковий (груповий) ресурс всього масиву силових трансформаторів як у рамках галузі в цілому, так і в рамках тих чи інших енергетичних об'єднань, потрібно знати витрати на трансформатор, щоб продовжити його термін служби, тому життєвий цикл трансформатора продовжують до паркового ресурсу тільки після проведення профілактичного ремонту трансформаторів. У даний час ресурс конкретного силового трансформатора продовжується на підставі так званого «комплексного обстеження» – трудомісткої, наукомісткої та дорогою операції, однак цей спосіб може бути непотрібним, тому що не обов'язково знати все дані про трансформатор.

Для того щоб визначити парковий (груповий) ресурс потрібно знати усереднені дані про характеристики надійності. Тому, ґрунтуючись тільки на діючих нормативних документах, не можна отримати розширене визначення про зношені трансформатори. Технологія «комплексного обстеження», дає можливість мати потрібні дані, занадто повільна (дані про весь парк старіючих трансформаторів надходять протягом 15 - 20 років) і відносно дорога. Усунути таке протиріччя можна двома шляхами: перший – узагальнення існуючого методу при «комплексному обстеженні» і експлуатацією великого терміну служби

трансформаторів; другий – реалізація нових підходів, сформульованих, зокрема, в роботах [2,3,4].

На сьогодні, за даними експлуатації силових трансформаторів напругою 110 кВ і вище, та 40% обладнання підстанцій напругою 110- 220 кВ прослужили понад 25 років, 35 % - 15-25 років, близько 25% - менше 15 років [1]. За даними експлуатації відомо, що найбільший відсоток технологічних порушень трансформаторного обладнання доводиться на період його експлуатації від 20 до 30 років. Своєчасне проведення капітальних ремонтів продовжують термін служби трансформатор. Велика частина технологічних порушень пов'язана з ушкодженнями маслонаповнених вводів, обмоток і пристроїв регулювання.

У даний час є програми обстеження стану обладнання з метою з'ясування можливостей продовження його терміну служби. Це вимагає розвитку відповідних методів та засобів контролю та діагностики стану. Система технічної діагностики своєчасно виявляє можливі та приховані дефекти трансформаторів, а також виявляє причини їх виникнення, визначає необхідність та обсяг ремонту. Система діагностики, запобігаючи аварійним відмовам, дає можливість здійснити прогнозування подальшої безаварійної роботи силових трансформаторів протягом певного проміжку часу. Виявлений у ході діагностики дефект оцінюють, локалізують та усувають. Методи та засоби діагностики постійно удосконалюються.

1.2 Аналіз ушкоджуваності та основні несправності трансформатора

Забезпечення надійної роботи трансформаторів необхідно, раніше всього, для попередження катастрофічних наслідків/результатів, як наприклад, олівні (рідинні) відходи або пожежі, що виникають, в дефектах трансформатора.

Для уникнення таких дефектів в трансформаторах зміцнюють баки, пристрій мембрани, усунення витікання рідини, впроваджують автоматизоване пожежогасіння, швидкодіючі захисні системи. Запитання транспортабельності вимагають ретельного опрацювання при підготовці до

перевезення і конструювання, тому що трансформатори необхідно перевозити у зібраному вигляді, тому що транспортні габарити обмежені, щоб не допустити появи дефектів, які згодом можуть привести до аварії. У удосконалених силових трансформаторах слабкою ланкою залишається перемикаючий пристрій (ПП) не зважаючи на застосовувані до нього заходи.

Основні несправності трансформаторів наведено у таблиці 1.1. Один з найчастіше ушкоджуючих елементів трансформатора є обмотки ВН. Дефекти відбуваються через ізоляцію, в результаті чого з'являється електричний пробій між витками, що веде до виходу з ладу трансформатора.

Ушкодження трансформаторів, як правило, є наслідком порушення правил експлуатації, аварійних та позаштатних режимів роботи трансформатора, зношеності ізоляції обмоток та інше. Досвід показує, що у 70% випадків ушкодження виникають в результаті незадовільного ремонту, монтажу і експлуатації, все інші випадки несправності силових трансформаторів - це внаслідок заводських дефектів. Основні ушкодження падають на обмотки, відводи, введення і перемикаючі пристрої.

Серйозні несправності трансформаторів виникають при пошкодженні магнітопроводу, внаслідок порушення ізоляції між окремими листами електротехнічної сталі.

Ознаки несправності роботи силових трансформаторів:

- Перевантаження трансформатора
- Висока температура трансформаторного приміщення
- Низький рівень оливи в трансформаторі
- Внутрішні ушкодження трансформатора
- Ненормальне гудіння в трансформаторі
- Вібрують крайні листи магнітопроводу трансформатора
- Виникають замикання між фазами і витками
- Трансформатор працює при підвищеному напрузі
- Потріскування всередині трансформатора
- Пробій обмоток трансформатора і обрив в них

- Ненормальна вторинна напруга трансформатора
- Обрив заземлення

Таблиця 1.1 - Основні несправності

Елемент трансформатор	Можливі несправності	Причини виникнення несправностей
Обмотки	Виткове замикання	Старіння ізоляції, постійні перевантаження, динамічні зусилля при коротких замиканнях
	Замикання на корпус (пробою), міжфазні короткі замикання	Старіння ізоляції, зволоження оливи або зниження її рівня, внутрішні ізовнішні перенапруги, деформація обмоток внаслідок проходження великих струмів короткого замикання
	Обрив	Відгорання вивідних кінців обмоток із-за низької якості з'єднання або електродинамічних зусиль при короткому замиканні
Перемикач регулювання напруги	Відсутність контакту	Порушення регулювання перемикача
	Оплавлення контактної поверхні	Термічний вплив на контакти струмів короткого замикання
	Нещільне прилягання рухомого контакту	Ослаблення контактних з'єднань перемикача
Введення	Електричний пробій на корпус	Тріщини в ізоляторах введів, зниження рівня оливи в трансформаторі
Магнітопровід	«Пожежа сталі»	Порушення ізоляції між листами або стяжними болтами

Бак і арматура	Протікання оливи з зварних швів, фланців і крана	Порушення цілості зварних швів, щільності фланцевих з'єднань, пошкодження прокладки крана в місці з'єднання з фланцем
----------------	--	---

1.3 Причини виходу трансформаторів з ладу

Сьогодні поломка удосконалених трансформаторів складає близько 0,2 % , вона порівняно з випусками трансформаторів 80-х років – перевищує 1% [1]. Основні ушкодження силових трансформаторів в експлуатації - це ушкодження:

- обмоток;
- високовольтних вводів;
- пристроїв РНН.

Причинами ушкоджень є:

- розвиток дефектів під впливом експлуатаційних факторів;
- помилкові або недостатні дії при монтажі, ремонті та експлуатації.

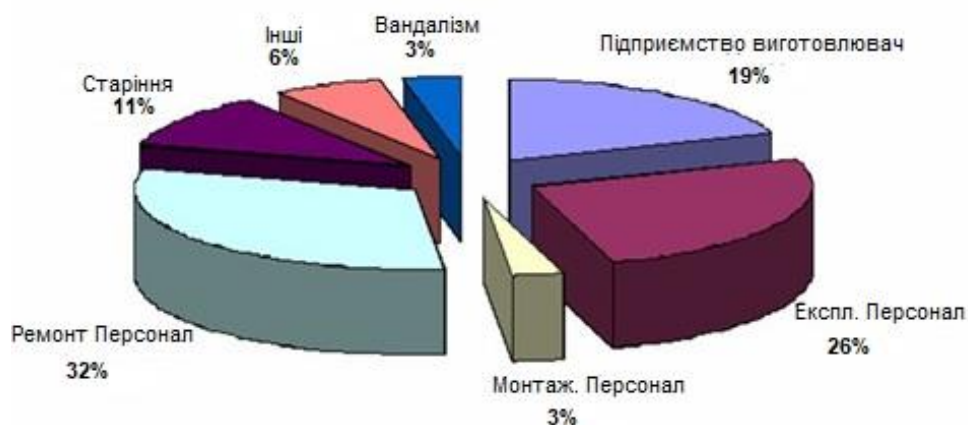


Рисунок 1.1 Причини ушкодження трансформатора

На роботу трансформатора впливають не тільки ненормальні режими роботи енергосистеми, а й сильні дії ззовні. Перерахуємо основні впливу і їх наслідки.

Комутаційні і грозові перенапруги, що приводять до ушкоджень, які відбуваються через нестачу електричної міцності. Різке збільшення напруги, що викликає перезбудження трансформаторів, небезпечне для ізоляції і призводить до підвищеного нагрівання не тільки сердечника, а й конструкційних деталей, стикається з ними.

Струми короткого замикання, що впливають ударними механічними впливами на обмотки. Небезпечне вплив зі сторони мережі є вплив на трансформатори струмів коротких замикань, викликають ушкодження і деформацію обмоток при їх динамічній нестійкості.

При включенні струму намагнічування призводять до пошкодження обмоток. через механічні та електричні перехідні процеси. Причиною кидка струму намагнічування сердечника може бути включення силового трансформатора з мережі. Так, для трансформатора потужністю 1000 МВА блоку АЕС на мить через кидок струму при включенні на сторони ВН для генераторів створюється режим форсування збудження. Дуже багато залежить від конструкції сердечника, через залишковою в сердечнику трансформатора викликає кидок струму при включенні. Розробляються способи зниження та ліквідації кидків струму [2,3,4].

Перевантаження трансформатора по струму. Також тривалість служби силового трансформатора впливає по причини старіння режим навантаження. У спекотний час року небезпечний вплив надають теплові перевантажень, які стають причиною виходу з ладу герметичних вводів ВН.

Найбільш нагріті верхні шари оливи нагрівають дані введення в нижній частині. У результаті таких ушкоджень утворюється жовтий наліт всередині покритишки. Найбільш часто пошкоджується виткова ізоляція 10 випадків (22%), причиною виникнення несправності можуть бути ізоляційне старіння, перевантаження, динамічні зусилля, що виникають при струмах короткого замикання.

Друге місце серед причин ушкоджень займають введення 8 випадків (17%), основні несправності пов'язані з зволоженням і забрудненням ізоляції

негерметичних вводів, що призводить до розвитку теплового та електричного пробою ізоляції введення, а також несправності пов'язані з відкладенням, випадки течії оливи з вводів через гумові прокладання.

Третє місце займають по ушкоджуваності обмотки 7 випадків (15%). Найбільш часто обмотки виходять з ладу по причині поганих контактних з'єднань та виткових КЗ.

Наступні причини ушкодження займають недоліки ПП (перемикаюче пристрій), які починаються з 14 років експлуатації. Максимальне кількість ушкоджень перемикаючих пристроїв від 15-23 років експлуатації трансформаторів. Несправності пов'язані з відсутністю контакту і оплавленням контактної поверхні.

Не рідко, трансформатори відключаються в результаті недоліків релейного захисту. Останнім часом спостерігається зростання таких відмов, які, швидше всього, пов'язано з нестачею кваліфікованих релейників і великим плином кадрів в групах РЗіА.

1.4 Життєвий цикл силових трансформаторів

Забезпечення системного підходу до створення, виробництва експлуатації і утилізації таких складних об'єктів, як трансформатор неможливо без автоматизованих комп'ютерних систем, що підтверджується численними розробками у цій області.

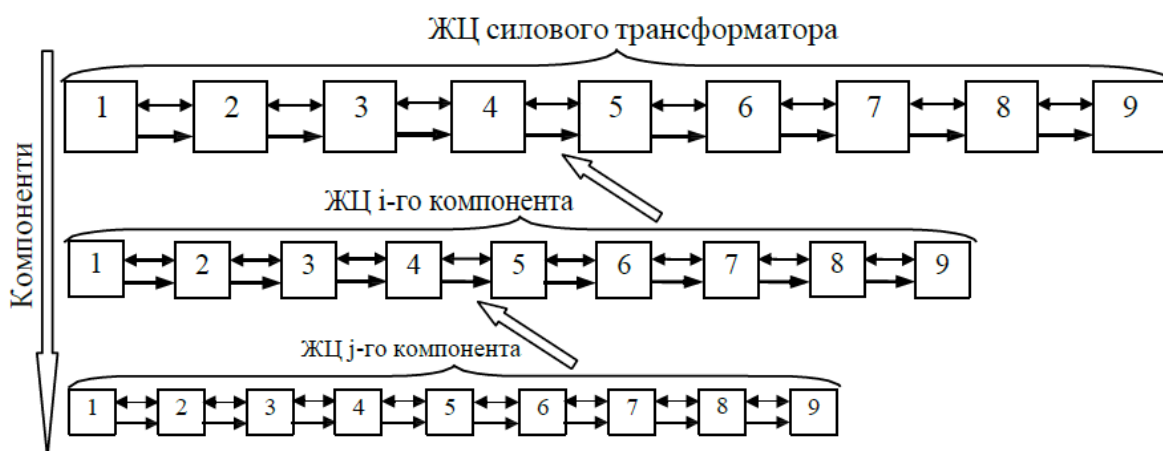


Рисунок 1.2 - ЖЦ силового трансформатора і його компонентів

1 - планування; 2 - дослідні роботи; 3 - проектування; 4 - технологічне опрацювання; 5-виготовлення, виробництво; 6- транспортування; 7 - монтаж; 8 - експлуатація; 9 - утилізація; $\leftrightarrow$ - інформаційний потік і зворотні зв'язку; $\rightarrow$ - матеріальний потік

Сучасні системи автоматизованого проектування (САПР) охоплюють ЖЦ від ідеї проєктованого виробу до виробництва. При проєктуванні трансформаторів прагнуть задовольнити вимогам стандартів і специфікацій з оптимізацією по одному або декільком критеріям.

На етапі технологічної підготовки виробництва (ТПП) - одному з найбільш важко формалізованих етапів створення нової техніки, також прагнуть отримати толерантне рішення, виходячи з проєктних альтернатив, отриманих на попередньому етапі. Однак при цьому остаточним рішенням, утвореним підсумовуванням досягнутих на кожному з етапів властивостей, часто не враховуються інші значні показники. Наприклад, екологічна безпека, яка важлива на наступних етапах ЖЦ. Очевидно, що при створенні нових видів об'єктів повинні використовуватися статистичні дані, накопичені на етапі експлуатації.

Таким чином, проектування силових трансформаторів повинно здійснюватися з урахуванням взаємозв'язку та взаємодії всіх етапів його ЖЦ. Тому доцільно говорити про проектування повного життєвого циклу силового трансформатора.

Під життєвим циклом розуміється сукупність процесів, вироблених від етапу визначення мети обладнання у конкретному виробництві до покращення даних потреб і утилізації продукту.

Першим етапом життєвого циклу вважається планування, яке характеризується формуванням концепції.

Другим етапом дослідницьких робіт є новизна, де розробляються варіанти початкової роботи для визначення виду силового трансформатора, а також рекомендації по виявленню завдання.

Третім етапом є конструювання – творче визначення силового трансформатора. Помилки, що вкралися на цих початкових етапах, вважаються невинними, вони «руйнують» весь життєвий цикл силового трансформатора.

На наступному етапі відбувається технологічне опрацювання конструкції, триває розгляд інших проектних замін. Даний етап є один з найбільш важко реалізованим.

П'ятий етап - це виготовлення і виробництво, який характеризується вузловим виробництвом силового трансформатора, його складання в загальне ціле. На цьому етапі перевіряються теоретичні результати попередніх етапів, а також по фінансовим витрат ресурсів роблять вибір силового трансформатора, так як на попередніх етапах можливість прийняти неправильний вибір виходячи з витрат відсутній.

Шостим етапом - розроблений тип силового трансформатора транспортується замовнику і як правило, транспортування і перевезення в зібраному вигляді здійснюється по шляхам залізниці.

Сьомим етапом для експлуатації силового трансформатора є монтаж.

Восьмий етап - експлуатація (функціонування) трансформатора, цей етап є самим тривалим, де і виробляють (дають) остаточну оцінку теоретичним дослідження і результатам виробництва. При необхідності його модернізації, вдосконалення, вирішивши відповідне завдання всіх попередніх етапів. Технічне обслуговування та ремонт має суттєве значення в даному етапі. При завершенні терміну служби силового трансформатора, по причині старіння функціонування силового трансформатора стає неможливим. Невідповідність до вимог по надійності і безпеки проводить до зняття трансформатора з експлуатації та утилізація. При ліквідації силового трансформатора необхідно досягти позитивного ефекту як з екологічної, так і з економічною крапки зору.

Висновки по першому розділу

Оцінка стану і надійність силового трансформатора здійснюється методом системного аналізу терміну служби трансформатора. Підвищення надійності

роботи є головною метою обладнання і як що цьому не слідувати то може відбутися значний збиток і шкода народному господарстві і т.д. [5].

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА КЛАСИФІКАЦІЙ ДЕФЕКТІВ У ТРАНСФОРМАТОРІ ТА МОДЕЛІ ЇХ РОЗВИТКУ

2.1 Основні небезпечні впливи на трансформатор

Силові трансформатори є основними елементами електричних мереж та систем, що надають на них внутрішні та зовнішні дії. Перерахуємо небезпечні впливу, які впливають на трансформатор та їх подальші наслідки.

Грозові і комутаційні перенапруги, які викликають ушкодження в ізоляції при недостатньо електричній міцності.

Недостатня компенсація реактивної потужності і регулювання напруги в мережах 500-750 кВ є спадом виробництва електрики і створює проблеми в режимах малих навантажень та підтримці дозволених рівнів напруги. У зв'язку з недостатньою компенсацією на ПЛ 500 кВ зростання напруги може досягти 550 кВ, від цього відбувається значне збільшення напруги, що веде до тривалому перезбудження магнітопроводу.

Ще один несприятливий фактор у сучасних мережах 330-750 кВ – невикористання пристроїв РПН (або використання його виключно для сезонних перемикачів). У такій ситуації додається ще 3-5% напруги і вона стає небезпечнішою.

Струми КЗ, які надають ударні механічні впливу на обмотки. Сильним впливом вважається вплив мережі на трансформатор струмів КЗ, які можуть

спричинити деформацію обмоток через динамічну нестійкості, такі дефекти трансформаторів займають значне місце. За розрахунками приблизно 1,7 % автотрансформатори 1 раз в рік піддаються 220-500 кВ небезпечному впливу струму КЗ який є найбільш небезпечним для автотрансформаторів вважається з електродинамічної стійкістю [6, 7].

Струми намагнічування при включенні, що викликають дефекти обмоток через електричні і механічні перехідні процеси. Причиною кидка струму при намагнічуванні сердечника є включення трансформатора в мережа. З цього випливає, що при включенні з боку ВН трансформатора блоку АЕС потужністю 1000 МВА на декілька секунд для генераторів створюється режим форсування збудження. Насамперед це залежить від залишкової індукції в осерді трансформатора, а також від конструкції сердечника. У даний час відбувається розробка методів по ліквідації і зниження кидків струму.

Сейсмічні дії на трансформатор. Останнім часом велика увага приділяється сейсмостійкості потужним трансформаторам, удосконалення способів і методів випробування їх на сейсмостійкість. Прикладом таких трансформаторів з підвищеною сейсмостійкістю є трансформатори для Рогунської ГЕС, які були спроектовані ПЗ «Запоріжтрансформатор», які розраховані до 9 балів сейсмічності.

2.2 Аналіз існуючих класифікацій дефектів в трансформаторі

Дефекти в силовому трансформаторі класифікуються по:

- а) по періоду становлення: раптовий, млявий і т.д.;
- б) по місцю знаходження: торцеві котушки обмотки ПН, нижня ярмова балка магнітопроводу;
- в) за функціональною ознакою: підвищені поля розсіювання, значні циркулюючі струми і т.п.;
- г) по відхиленням характеристик матеріалів від нормованих значень, і порушень технологічних процесів: задирки листів електротехнічної сталі, порушення геометричних розмірів охолодних каналів обмоток,

неправильне виконання транспозиції обмоток і ін.

У автоматизованих режимах діагностування типологія ушкоджень зобов'язана сприяти методичному залученню різних дослідницьких способів з метою більше надійного і економного їх розкриття та рівня загрози, а також з метою гранично чіткої локалізації зони недоліку.

Одним з перших статей, що включають систематизацію ушкоджень, націлену з їхньої визначення, є керівний документ (КД) [13], описуючий технологію хроматографічного розбору газів в трансформаторній оливі. Усі дефекти поділяються на дві великі групи: теплові та електричні. Електричні дефекти у свою чергу бувають: часткові розряди з низькою щільністю, часткові розряди з високою щільністю і розряди великої потужності (дугові). У цьому КД є і недоліки, які тягнуть за собою протиріччя, що складається з набору рекомендацій по виявленню дефектів, спрямованих на ідентифікацію відхилень від нормальної роботи трансформатор. Усі дефекти діляться на 3 групи. У першу групу входять перегріву струмопровідних частин та перегріву елементів конструкції остова. У другу групу входять дефекти пов'язані з жорсткою ізоляцією, які з'являються шляхом перегріву і дефекту жорсткої ізоляції, викликані електричним впливом. Третя група включає часткові, іскрові і дугові розряди в оливі.

У [14] зображена досить зрозуміла схема-конструкція видів дефектів силового трансформатор. за цією схемою дефекти складаються із: зовнішніх, раптових, зносових та які розвиваються. Недоліками силового трансформатора можуть бути: не виразно виділені пошкодження конструкції і елементи СТ; складне встановлення методології хроматографічного аналізу на подібну структуру ушкоджень.

У кінцевому підсумку, в [12] представлена своя класифікація дефектів (Рис. 2.2), яка найменш аргументована згідно подальшому судженню:

- неточний термін "тверда, ізоляція"; у трансформаторі ізоляція класифікується на головну і поздовжню: перша - забезпечує ізоляцію між обмотками, магнітної системою і баком, друга - виключає електричні

замикання всередині кожною обмотки;

- дефекти дублюються для кожною конструктивної системи трансформатора.

2.3 Аналіз видів дефекту

Аналіз видів дефектів показує, що їх можна поділити на три групи за часом розвитку:

- повільно розвиваються дефекти з часом розвитку більше року;
- швидко розвиваються дефекти з часом розвитку менше року;
- раптові відмови з часом розвитку від часток секунди до кількох годин.

У кількісному відношенні частка різних дефектів змінюється. Якщо для трансформаторів, що працюють у рамках нормативного ресурсу, частка швидко що розвиваються дефектів і раптових відмов не перевищує 35- 40 %, то для зістареного обладнання частка дефектів що розвиваються повільно знижується до 40 % за рахунок збільшення дефектів що розвиваються швидко - 40 % і раптових відмов - 20%.

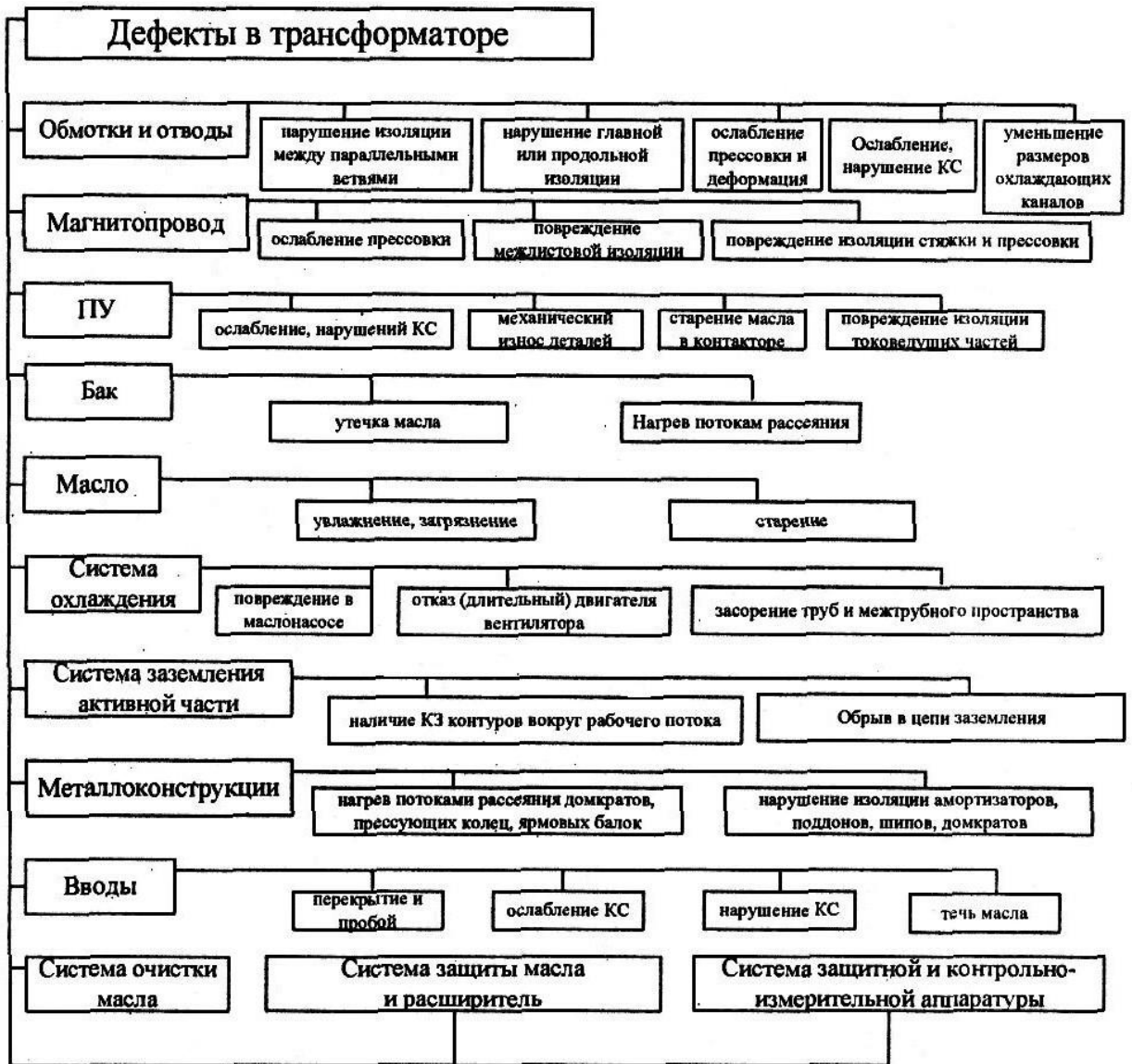


Рисунок 2.1 Дефекти в трансформаторі

Дефекти, що повільно й швидко розвиваються, при своєчасному їх виявленні зазвичай вдається усунути, і при цьому фізичний ресурс трансформатора не змінюється. Раптові відмови частіше наводять до незворотних змін, і навіть своєчасне виявлення та усунення таких дефектів знижує фізичний ресурс трансформатора.

Таблиця 2.1 Аварійність трансформаторів із різним строком експлуатації

Термін експлуатації	% відмов
До 10 років	15
Від 10 до 20 років	30
Від 20 до 30 років	29

Від 30 до 40 років	18
Понад 40 років	8

Найбільше кількість відмов відбувається саме в період нормальної експлуатації, і основна кількість трансформаторів не «дотягує» до зносових відмов.

Причиною високою аварійності трансформаторів в період «нормальної» експлуатації є, мабуть, рівень капітальних ремонтів (на 12-му і 24-м року експлуатації).

Саме тому так гостро для силових трансформаторів встала проблема переходу від ремонтів по терміну експлуатації до ремонту за станом.

Таблиця 2.2 - Стан трансформаторів, працюючих з перевищенням нормативного ресурсу

Не вимагає втручання	30%
Почастішання контролю	30%
Ремонт окремих вузлів	23%
Капітальний ремонт	15%
Негайне втручання	2%

Як видно з даних таблиці, 83 % трансформаторів цілком працездатні. Однак проблеми діагностики стають для таких трансформаторів значно більше гостро.

Цей же шлях придатний і для переходу від ремонту по терміну експлуатації до ремонту за станом. Як видно з аналізу аварійності, кількість трансформаторів, виробляючих свій фізичний ресурс, визначається станом твердої ізоляції, не перевищує (за різним джерелам) 7-20%.

Визначити залишковий ресурс шляхом обстеження трансформатора можна з достатнім ступенем точності.

Але при цьому ніхто не в стані гарантувати його працездатність, так як

зародження і розвиток дефекту може відбутися в будь-який момент, і при цьому час розвитку дефекту може опинитися менше періодичності контролю.

Для рішення цієї проблеми необхідно застосування систем автоматичного або безперервного контролю.

2.4 Контроль стану трансформатор. Види діагностики

У будь-яких різних режимах і зовнішніх впливів силовий трансформатор може експлуатуватися роками (є випадки, коли силовий трансформатор працював на протягом 40 років і більше). Обов'язково повинні проводитися заходи за оцінкою стану трансформатора, які виробляються на виробництві.

Для того щоб досліджувати силовий трансформатор організують межі, які обмовляються в рамках нормативно-технічної і конструкторської документацією. Необхідність заміни обладнання та його термін служби визначають в наступних випадках:

- вихід з ладу обладнання;
- при великому навантаженні на обладнання, що веде до фізичному зносу;
- витрати на економічні затрати.

У цьому випадку необхідно провести повний та попередній аналіз за станом трансформатора, а також його подальше використання. Перерахуємо деякі методи, які стежать за контролем трансформатора та його станом.

Зовнішні дослідження включають: контроль приладів та пристроїв вимірювання; контроль рівня, тиск, температура та колір оливи; оцінка оливи, газовий захист, автоматика, сигналізація; огляд за станом вводів, ізоляторів, кабелів і контактних з'єднань, ошинівки.

Контроль виробляється оглядом і спеціальними обладнанням, приладами. Одним з найбільш ефективних контролів над станом обладнання вважається тепловізорний контроль, який включає в себе термографію. Термографію

використовують за наявності або виявлення якого-небудь пошкодження, несправності і відповідно робляться припущення про дефект в обладнанні, наприклад: руйнування ізоляції шпильок може привести до нагрівання стінок бака силового трансформатора; збільшення і підвищення температури; нагрівання обмоток приводить до руйнування і деструкції ізоляції; виткового замикання в обмотках обладнання; можливе шламоутворення при підвищенні температури при роботі силового трансформатора в режимі холостого ходу; при низькій температурі труб радіаторів можливість появи корозії труб і шламоутворення; нагрівання розширювача герметичного маслорозширювача високоевольтного вводу можливий при виникненні короткозамкнутого контуру всередині розширювача; потрапляння вологи та порушення герметичності прокладок маслорозширювача; нерівномірність температури приводить до порушення циркуляції оливи в ньому.

Огляд стану маслоочисних та маслосбірних пристроїв проводиться за допомогою зміни кольору індикаторного силікагелю, який при вбиранні вологи рожевіє і набуває яскравого фарбування.

Періодично і ретельно контролюють стан систем охолодження, РПН, маслорозширювачів, тому як порушення в роботі пристроїв РПН і ПБВ складають 14-24 %, а елементів системи охолодження - 8,6 %. Головними і основними вузлами, де утворюються дефекти в трансформаторі, є пристрої регулювання напруги. Через поганий стан контактів РПН можливий швидкий розвиток аварії.

На трансформатор впливають зовнішні впливи, такі як вібрація. При вібрації можливі порушення бака трансформатора, фундаменту, жорсткості установки. У режимі навантаження збільшується вібрація силового трансформатора, що може привести до погіршення запресування обмоток і магнітопроводу. Резонансні коливання, викликані вентиляторами і маслорозширювачами призводять до розпресування або дефекту збирання магнітопроводу. При переході від режиму холостого ходу до режиму навантаження вібрація бака силового трансформатора зменшується, значить,

вібраційні дефекти відсутні.

Результати, отримані при проведенні зовнішнього дослідження, виробляють карту огляду, у якому показують аналіз деталей, елементів обладнання, а також його стан. Дефекти, які виявили, записуються черговим персоналом. Здійснення ресурсної діагностики необхідно проводити регулярно.

Другим рівнем дослідження вважається контроль внутрішнього стану трансформатора. На цьому етапі діагностики ставиться більше точна мета: визначити фізичний, економічний, екологічний та моральні зноси, обґрунтування збільшення терміну служби трансформатора, знайти внутрішні дефекти та ушкодження.

Найбільш небезпечним внутрішнім дефектом в трансформаторі є часткові розряди, які виникають між обмоткою і бар'єрної ізоляцією, це свідчить про те, що циркуляція оливи погіршується. Слід перевірити оливу і систему охолодження. Якщо перешкоди часткових розрядів перевищує в 5 раз, то слід побоюватися розвиваючого дефекту.

У ресурсну діагностику входять три етапи перевірки: лабораторний – фізико-хімічний аналіз оливи та хроматографічний аналіз розчинених газів; тестовий - випробування і контроль; аналітичний - діагностика стану.

У результати лабораторних випробувань оливи входять 2 області його експлуатації: область нормального стану і область ризику.

Нормальний стан оливи відповідає інтервалу від граничних значень його характеристики після заливання до значень, які обмежують область нормального стану оливи в експлуатації. Стан оливи, що гарантує надійну роботу трансформатора мінімально, визначається контролем трьох показників - пробивної напруги, кислотного числа та температури спалаху в закритому тиглі [15].

2.5 Експлуатаційна надійність трансформатора

Надійність є самим важливим показником якості роботи трансформатора, який визначає її безвідмовну роботу в певний проміжок часу. При широкому застосуванні електричних машин в різних системах електроприводів і автоматичного регулювання виробничими процесами технічний рівень виробництва в значною ступеня визначається надійністю цих машин. І, як слідство, різного роду дефекти і пошкодження, приводять до великих збитків.

Надійність енергетичної системи є комплексною властивістю та визначається як здатність енергосистеми виконувати функції по виробництву, передачі, розподілу і постачання споживачів електричною енергією у необхідній кількості та нормованої якості шляхом взаємодії генеруючих установок, електричних мереж і електроустановок споживачів, в тому числа: [17]

- задовольняти в будь-який момент часу загальний попит на електроенергію;
- протистояти збуренням, викликаним відмовами елементів енергосистеми, включаючи каскадне розвиток аварій і наступ форс- мажорних умов;
- відновлювати свої функції після їх порушення.

Остання функція як здатність енергосистеми повертатися до усталеного режиму роботи після різного роду збурень характеризує стійкість енергосистеми.

Усі питання надійності електричних машин можна умовно підрозділити на два основних види: заводську конструкційну надійність машини і експлуатаційну її надійність.

Конструкційна надійність будь-якої електричної машини в цілому залежить від кількості та якості застосованих у ній вихідних активних та конструкційних матеріалів, від конструкції машини, якості виготовлення і надійності її основних частин або деталей. Для покращення конструкційної надійності електричної машини необхідно підвищення якості вихідних матеріалів, збільшення точності та покращення якості виготовлення деталей

та вдосконалення технології складання машин. Однак найважливішим із цих заходів є підвищення якості і нагрівостійкості корпусної ізоляції і обмоткових проводів, оскільки багато ушкоджень в електричних машинах в процесі їх експлуатації відноситься до обмоток трансформаторів та їх ізоляції, а також вдосконалення вузлів трансформаторів.

Слід відзначити, що конструкційна надійність електричної машини є основний характеристикою її якості, яка в значною мірою визначає надалі її високу експлуатаційну надійність. Остання представляється достатньо складною проблемою по причині труднощі самого визначення цього поняття і обмеженості статистичних відомостей по експлуатації різних електричних машин.

У процесі експлуатації великої кількості однорідних технічних виробів, таких, як електричні машини, у них періодично з'являються випадкові несправності у роботі чи вимушені зупинки. Маючи в своєму розпорядженні статичні дані про відмови в роботі машин і використовуючи теорію ймовірностей і методи математичної статистики, можна встановити деякий середній час безвідмовної роботи цих машин між двома наступними одна за одною несправностями чи відмовими у роботі. Це середній час справності або відмови служить одним з важливих кількісних показників експлуатаційної надійності машини.

На експлуатаційну надійність електричних машин надає вплив ряд факторів. Найголовнішими з них є наступні:

- а) якість активних та конструкційних матеріалів, що використовуються при виготовленні цих машин;
- б) якість виготовлення машин;
- в) умови навколишнього середовища при експлуатації машин;
- г) неправильне застосування машин по їх виконанню, пусковим і робочим характеристикам;
- д) відсутність належного догляду за машинами і недостатня якість їх ремонту.

У процесі експлуатації електричних машин під дією робочої температури відбувається погіршення, механічних і електричних властивостей ізоляції обмоток, або теплове старіння ізоляції. Отже, для підвищення надійності машин потрібно підвищити нагрівостійкість ізоляції та знизити місцеві нагрівання її по відношенню до середньої температури обмотки, виміряною по опору.

Концепція надійності електричної машини тісно пов'язано з поняттям її довговічності і терміном служби. Термін служби машини - календарна тривалість її експлуатації до моменту, обумовленого в технічній документації.

Надійність – властивість об'єкта зберігати у часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції у заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування.

Надійність є складною властивістю, яке в залежності від призначення об'єкта та умов його застосування складається з поєднань властивостей: безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності і збереження. Працездатність - стан виробу, при якому він здатний виконувати задані функції з параметрами, встановленими вимогами технічної документації [16].

- Об'єкт - предмет певного цільового призначення, аналізований в період проектування, виробництва, експлуатації, вивчення, дослідження та випробувань на надійність. Об'єктами можуть бути як системи, так і їхні елементи.

- Безвідмовність - властивість об'єкта безперервно зберігати працездатний стан в перебіг деякого часу.

- Довговічність - властивість об'єкта зберігати працездатний стан до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту.

- Ремонтпридатність - властивість об'єкта, що полягає в пристосуванні до попередження і виявлення причин виникнення відмов (ушкоджень), по підтримці і відновлення працездатного стану шляхом проведення технічного

обслуговування і ремонтів.

- Зберігання – властивість об'єкта зберігати значення показників безвідмовності, довговічності і ремонтпридатності в перебіг часу до і після зберігання і (або) транспортування.

- Працездатний стан (працездатність) - стан об'єкта, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідає вимогам нормативно- технічної і (або) конструкторській документації.

- Граничний стан - стан об'єкта, при якому його подальше застосування по призначенню неприпустимо або недоцільно або відновлення його справного або працездатного стану неможливо або недоцільно.

- Відмова – подія, яка полягає у порушенні працездатності об'єкт.

У складних технічних виробках і системах застосовують резервування – спосіб підвищення надійності. Резервування - це застосування додаткових коштів і (або) можливостей з метою збереження працездатного стану об'єкта при відмові одного або кількох його елементів. Резерв - сукупність додаткових коштів і (або) можливостей, використовуваних для резервування.

Показник надійності - кількісна характеристика одного або кількох властивостей, складових надійності об'єкта [18].

- Імовірність безвідмовної роботи – ймовірність того, що у заданому інтервалі часу не виникає відмови виробу.

- Напрацювання на відмова - середнє значення напрацювання ремонтваного виробу між відмовами. Може застосовуватися також термін «середній час безвідмовний роботи».

- Середня напрацювання до першої відмови - середня значення напрацювання виробів з партії до першого відмови. Для неремонтованих виробів цей термін рівнозначний терміну «середня напрацювання до відмови».

- Інтенсивність відмов - ймовірність відмови неремонтованого виробу в

одиницю часу після цього моменту часу за умови, що відмова до цього моменту не виникала.

Закони розподілу випадкових величин практично можуть бути отримані: шляхом аналітичного дослідження і шляхом обробки даних експерименту. У першому у разі закон розподілу знаходять шляхом аналізу фізичної природи якогось явища або процесу і певних математичних операцій. У другому випадку проводиться збір необхідних експериментальних даних (статистики). Цю статистику можна отримати або в результаті спеціально поставленого експерименту, або в результаті спостережень. Статистична обробка накопиченої інформації дозволяє отримати аналітичну залежність шуканого закону розподілу ймовірностей.

Експериментальне визначення закону розподілу випадкової величини грає особливу роль: як би глибоко і ретельно не було проведено аналітичне дослідження, в результаті якого отримано закон розподілу, остаточний висновок можна зробити, тільки базуючись на експеримент. Шляхом статистичного дослідження можуть бути отримані будь-які функції розподілу та будь-які числові характеристики випадкових величин. Говорячи більш конкретно, це будуть статистичні еквіваленти, оцінки, звані статистичними функціями розподілу і статистичними числовими характеристиками.

Забезпечення надійний роботи трансформаторів необхідно, поперше всього, для попередження катастрофічних наслідків/результатів, коли наприклад, масляні (рідинні) відходи або пожежі, що виникають в дефектах трансформаторів. Щоб уникнути таких дефектів у трансформаторах зміцнюють баки, пристрій мембрани, усувають витікання рідини, автоматизують пожежогасіння, впроваджують швидкодіючі захисні системи. Питання транспортабельності вимагають ретельного опрацювання під час підготовки до перевезення і конструювання, тому що трансформатори необхідно перевозити у зібраному вигляді, коли транспортні габарити обмежені, щоб не допустити появи дефектів, які можуть призвести до аварії. У удосконалених силових трансформаторах слабкою ланкою залишається

перемикаючий пристрій (ПП) не зважаючи на застосовувані до нього заходи.

Висновки по другому розділу

Забезпечення надійний роботи трансформаторів необхідно, поперше всього, для попередження катастрофічних наслідків/результатів його роботи.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

3.1 Розробка алгоритму математичної моделі оцінки надійності

Оцінку експлуатаційної надійності СТ найбільш доцільно проводити імовірісно-статистичним методом. Для реалізації цього методу необхідно сформувати масив вихідних даних. Як дані будемо використовувати значення напрацювань СТ. Згідно ДСТУ напрацювання - це тривалість або обсяг роботи виробу [11].

З метою подальшого дослідження автором зібрано експлуатаційну інформація по 45 силових трансформаторів.

Як було визначено раніше, найбільша кількість відмов доводиться на перший час експлуатації трансформатора. Надійність СТ у початковий період експлуатації визначає його подальшу роботу і вимагає більше детального дослідження.

Початкові параметри:

1. t - напрацювання до відмови (год.);
2. n - загальне число спостерігаючих значень випадкової величини;
3. n_i – кількість значень випадкової величини в кожному інтервалі;
4. k - число інтервалів статистичного розподілу;
5. Δt - кордони інтервалів;

Вихідні параметри:

1. Інтенсивність відмов λ
2. Напрацювання на відмову $a(t)$
3. Середнє напрацювання на відмову T_{cp}
4. Ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$
5. Середній час безвідмовної роботи T

Одним з важливих способів отримання інформації надійності технічних виробів є збір і статистична обробка даних про знос і відмови, що відбулися в процесі експлуатації. Вирішуються наступні завдання:

1. Визначення виду функції густини розподілу або інтегральної функції розподілу.
2. Обчислення параметрів отриманого розподілу.
3. Встановлення з допомогою критеріїв згоди ступеня збігу емпіричного з передбачуваним теоретичним розподілом.

Закони розподілу випадкових величин практично можуть бути отримані: шляхом аналітичного дослідження і шляхом обробки даних експерименту.

Процедура знаходження математичної моделі закону складається з двох етапів: висунування гіпотез і перевірки відповідності висунутих гіпотез наявним даним.

Найбільш поширеними теоретичними розподілами є нормальний розподіл, експонентний, логарифмічно-нормальний, Вейбулла та гамма-розподіл.

Для підбору виду теоретичного розподілу, який збігається в найбільшій ступені з отриманим емпіричним, частіше всього застосовується метод максимуму правдоподібності чи метод найменших квадратів, причому останній застосовується для визначення параметрів розподілу при повних вибірках.

Для оцінки ступеня збігу емпіричної та теоретичної кривих розподілу застосовуються так звані критерії згоди: критерій Пірсона чи критерій Колмагорова. В критерії Колмагорова вихідні дані видаються в вигляді упорядкованої статистичної сукупності. Мірою близькості зіставних розподілів є величина максимальної розбіжності гіпотетичної і статистичної інтегральних функцій.

Оцінка по критерію Пірсона (аналітичний метод). Процес аналітичної оцінки закону розподілу розбивається на два етапу: побудова гістограм і кумулятивних прямих і перевірку допустимості прийнятого закону розподілу відмов по критеріям згоди.

Гістограма, складена з прямокутників, які апроксимується кривою, по виду якої попередньо встановлюється закон розподілу шляхом візуального порівняння з теоретичними кривими.

Графік накопичених частот та відповідна йому кумулятивна крива будуються за даними таблиці, яку необхідно заповнити за даними відмови трансформатор. Накопичені частоти виходять в результаті послідовного складання наступних один за одним частот. Кумулятивна крива має більше плавний характер, чим гістограма.

Далі перевіряються збіг емпіричної кривої розподілу з обраною теоретичною за критерієм Пірсона. Отримані значення критерію порівнюються з табличними значеннями для відповідної довірчої ймовірності і сила ступенів свободи. Якщо розраховане значення менше табличного, то гіпотеза про ідентичності емпіричного і теоретичного законів застосовується, в зворотному випадку і гіпотеза відкидається і перевіряється інший закон.

3.2 Обробка результатів спостереження для трансформаторів

За даними, отриманими в ході преддипломної практики в ПАТ «Житомиробленерго», були зібрані дані про відмовами силових трансформаторів

Таблиця 3.1 - Статичні дані про напрацювання на відмову силових трансформаторів

250	700	2600	4850	8300
260	1240	2600	4900	8620
300	1300	3000	5000	10000
350	1400	3070	5020	11570
430	1590	3200	6000	13990
500	1650	3600	6150	15150
550	1920	3850	6400	16580
600	2100	4350	7400	18500
650	2250	4560	8150	20900

У безлічі даних легко знаходиться мінімальний член ряду - 250 год і максимальний - 20900 год

Розмах ряду складає $t_{\max} - t_{\min} = 20900 - 250 = 20650$

Весь діапазон значень випадковий величини t_i ($n = 45$) розбиваємо на інтервали. Для зручності розрахунків приймаємо інтервали рівними.



Рисунок 3.1 Алгоритм математичної моделі оцінки надійності

Зразкова величина інтервалу Δt визначаємо по формулі:

$$\Delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{1 + 2,3 \lg 45} = 4390.$$

Приймаємо ширину інтервалу рівну 2000.

$$\Delta t = 2000$$

Для кожного інтервалу проведемо підрахунки і уявимо їх в табл.

Таблиця 3.2 - Обробка статистичних даних

	Інтервал	Δt	n_i	$P_i = \frac{n_i}{n}$	t_i	$P_i \cdot t_i$	$\sum \left(\frac{n_i}{n} \right)$	$\frac{n_i}{\Delta t \cdot 10^{-6}}$	$\left[P_i (t_i - M(t))^2 \right]$
1	0-2000	2000	16	0,36	1000	356	0.36	178	6074469
2	2000-4000	2000	9	0,20	3000	600	0.56	100	1800000
3	4000-6000	2000	7	0,16	5000	778	0.71	78	3888889
4	6000-8000	2000	3	0,07	7000	467	0.8	33	3251750
5	8000-10000	2000	4	0,09	9000	800	0.84	44	7185607
6	10000-12000	2000	1	0,02	11000	244	0.91	11	2685468
7	12000-14000	2000	1	0,02	13000	289	0.91	11	3753822
8	14000-16000	2000	1	0,02	15000	333	0.93	11	4997334
9	16000-18000	2000	1	0,02	17000	378	0.96	11	6421467
10	18000-20000	2000	1	0,02	19000	422	0,98	11	8021378
11	20000-22000	2000	1	0,02	21000	467	1	11	9799067
Σ			45			5133			57879251

Статистична дисперсія $D(t)$ буде дорівнює:

$$D(t) = \left[P_i (t_i - M(t))^2 \right] = 57879521 \text{ з.}$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma(t) = \sqrt{D(t)} = \sqrt{57879521} = 7610 \text{ з.}$$

Коефіцієнт варіації:

$$V(t) = \frac{\sigma(t)}{M(t)} = \frac{7610}{5133} = 1,48$$

Часто в статистичних дослідження використовують наступні характеристики: середньоквадратична помилка визначення середнього арифметичного (математичне очікування):

$$M(t) = \frac{\sigma(t)}{\sqrt{n}} = \frac{7610}{\sqrt{45}} = 1134 \text{ з.}$$

Середньоквадратична помилка визначення середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta\sigma(t) = \frac{\sigma(t)}{\sqrt{2n}} = \frac{7610}{\sqrt{90}} = 802 \text{ з.}$$

Тоді округляючи значення відхилень отримаємо

$$M(t) = 5133 \pm 1134 \text{ з.}$$

У результаті отриманих розрахункових даних будуємо гістограму напрацювання на відмову, яка представлена на рис. 3.2

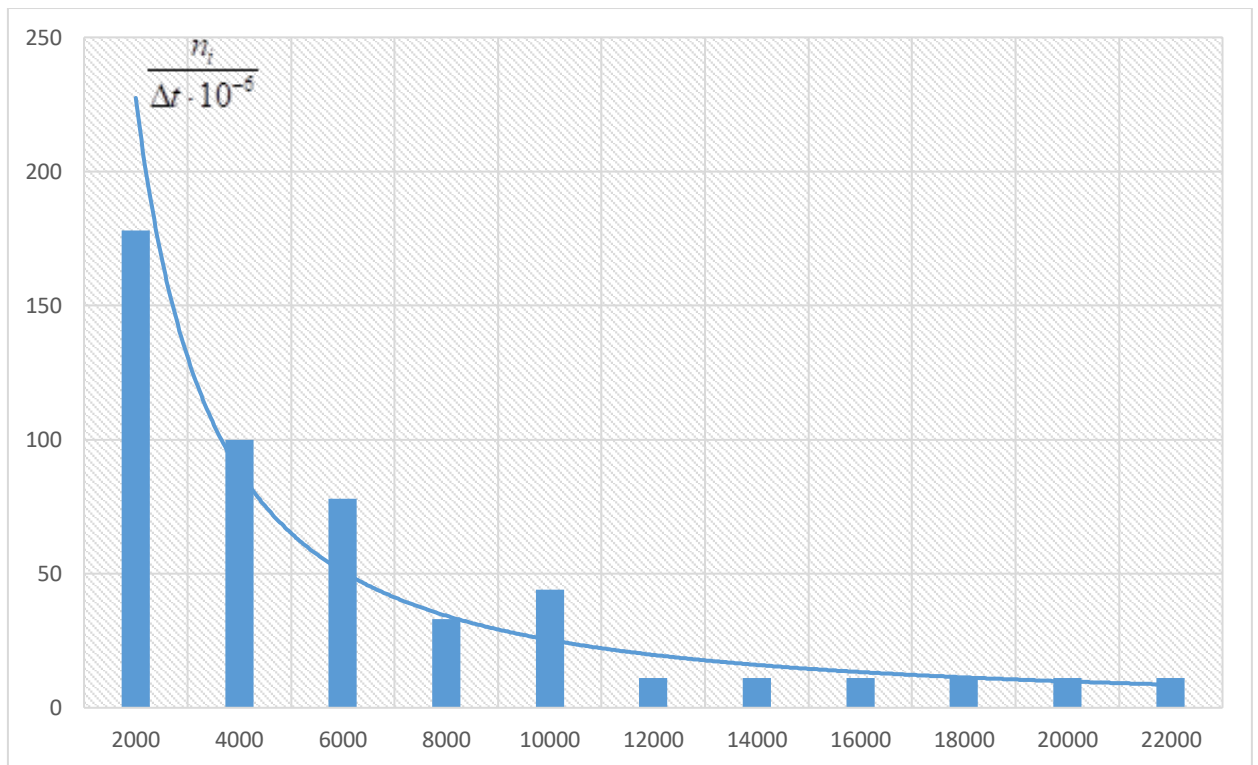


Рисунок 3.2. Гістограма розподілу з вирівнюючою кривою.

З характеру гістограми можна припустити, що досліджувана випадкова величина розподілена по експоненційному закону. Це доводить також майже повний збіг по величині математичного очікування і середньоквадратичного відхилення випадкової величини t . На гістограмі, наведеною на рисунку 3.2, побудована вирівнююча крива розподілу, представляюча собою графік.

Функція (табл. 3.2), яка, зберігаючи істотні особливості статистичного

розподілу, вільна від випадкових неправильностей ходу гістограми.

Прийнявши в якості математичного очікування напрацювання на відмову його оцінку (статистичне середнє) $M(t)=5133$ г, можна написати: $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$.

Оскільки при експоненційному законі розподілу $\lambda = \frac{1}{M(t)} = \text{const}$, то

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) = 0.00019 \cdot e^{-0.00019t}$$

При підборі теоретичної кривий розподілу між нт. і статистичним розподілом неминучі деякі розбіжності. При цьому необхідно знати, пояснюються чи ці розбіжності тільки випадковими обставинами, пов'язаними з обмеженою кількістю достовірних даних, або вони є суттєвими і пов'язаними з тим, що підібрана крива погано вирівнює дані розподілу.

Встановити це можна з допомогою критерію згоди Пірсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{[n_i - nP'(t_i)]^2}{nP'(t_i)}$$

де k - число інтервалів статистичного розподілу, $k = 11$;

n_i - кількість значень випадкової величини у кожному інтервалі;

n - загальна кількість значень випадкової величини, що спостерігаються, $n = 45$;

$P'(t_i)$ - теоретична ймовірність потрапляння випадкової величини в i -ий інтервал.

Значення ймовірностей потрапляння випадкової величини в i інтервал наведені в табл.3.3. Вони чисельно рівні збільшення функції розподілу на інтервалі: $P'(t_i \leq t \leq t_i + 1) = F(t_i + 1) - F(t_i)$.

Таблиця 3.3 - Теоретичне значення ймовірностей

	t_i	λt_i	$e^{-\lambda t_i}$	$P'(t_i)$	$nP'(t_i)$	$\sum_{i=1}^k \frac{(n_i - nP'(t_i))^2}{nP'(t_i)}$
1	0-2000	0	1,00	0,32	14,23	0,22
2	2000-4000	0,38	0,68	0,22	9,73	0,05
3	4000-6000	0,76	0,47	0,15	6,65	0,02
4	6000-8000	1,14	0,32	0,10	4,55	0,53
5	8000-10000	1,52	0,22	0,07	3,11	0,25

6	10000-12000	1,9	0,15	0,05	2,13	0,60
7	12000-14000	2,28	0,10	0,03	1,46	0,14
8	14000-16000	2,66	0,07	0,02	1,00	0,00
9	16000-18000	3,04	0,05	0,02	0,68	0,15
10	18000-20000	3,42	0,03	0,01	0,47	0,61
11	20000-22000	3,8	0,02	0,01	0,32	1,46
		4,18	0,02			$\sum = 4.04$

Розподіл χ^2 залежить від параметра R – числа ступенів свободи.

Число ступенів свободи дорівнює кількості інтервалів k за вирахуванням числа незалежних умов S , накладених на частоти. Для експоненційного закону розподілу випадкової величини кількість зв'язків $S = 2$. Визначаємо $R = 11 - 2 = 9$. У довідковій літературі для довірчої ймовірності $Q = 0,9$ та числа ступенів свободи $R = 9$ знаходимо значення $\chi^2 = 10.64$.

Розраховане значення $\chi^2_{роз} = 4,04 \leq 10,64$, отже, гіпотеза про експоненційний розподіл відмов приймається.

До найчастіше вживаним критеріям згоди належить також критерій Колмагорова, у якому мірою розбіжності між теоретичним і емпіричним розподілами розглядають максимальне значення абсолютної величини різниці між емпіричною функцією розподілу і відповідною теоретичною функцією розподілу.

Схема застосування критерію Колмогорова:

- Будуються емпірична функція розподілу $F'(t)$ та передбачувана теоретична функція розподілу $F(t)$.
- Визначається міра розбіжності між теоретичним та емпіричним розподілом за формулою:

$$D = \max |F'(t) - F(t)|$$

та знаходиться значення

$$\lambda' = D\sqrt{n}.$$

Якщо обчислене значення λ' виявиться більшим за критичний λ_α , визначеного на рівні значущості, то нульова гіпотеза про те, що випадкова величина X має заданий закон розподілу, відкидається (односторонній критерій). Якщо $\lambda_\alpha \leq \lambda$, то вважають, що гіпотеза не суперечить досвідченим даним.

Величину D знаходять з графіків $F'(t)$ і $F(t)$ (Рис.3.3). Для побудови інтегральної емпіричної функції розподілу $F'(t)$ використовують накопичена частота $\frac{\sum n_i}{n}$. Для побудови теоретичної функції розподілу використовується вираз цієї функції:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-0.00019t}.$$

З рисунка 3.3 видно, що максимум $D = 0.07$. Далі визначаємо величину $\lambda' = 0,07\sqrt{45} = 0,47$. Із статистичних таблиць отримаємо $\lambda_\alpha = 0,984$. Оскільки $\lambda' \leq \lambda_\alpha$, наша гіпотеза приймається, тобто. можна вважати, що дані підпорядковуються розподілу.

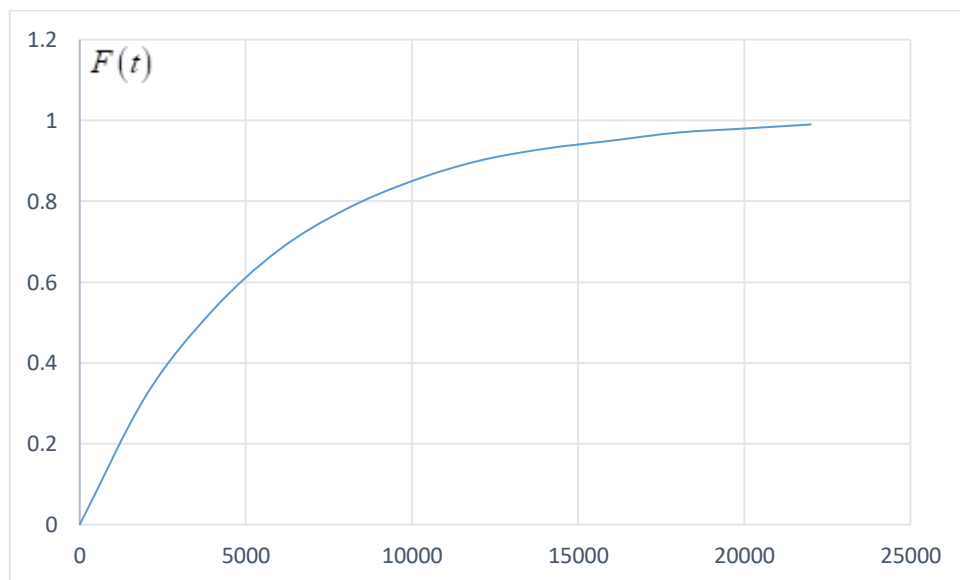


Рисунок 3.3. Графік теоретичної функції розподілу

3.3. Розрахунок показників надійності трансформаторів

Визначимо ймовірність безвідмовної роботи і середнє напрацювання на відмову трансформатора за час t_i 8000, 14000, 20000 год, якщо інтенсивність відмов $\lambda = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$. Закон розподілу відмов - експонентний.

При експоненційному законі розподілу справедливі співвідношення:

$$P(t) = e^{-\lambda t}; f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}; \lambda = \text{const}$$

Звідси маємо

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda} = \frac{10^4}{0,19} = 5263, \text{ год}$$

$$P(4000) = \exp\left[-\frac{4000}{5263}\right] = 0,468$$

$$P(10000) = \exp\left[-\frac{10000}{5263}\right] = 0,150$$

$$P(18000) = \exp\left[-\frac{18000}{5263}\right] = 0,033$$

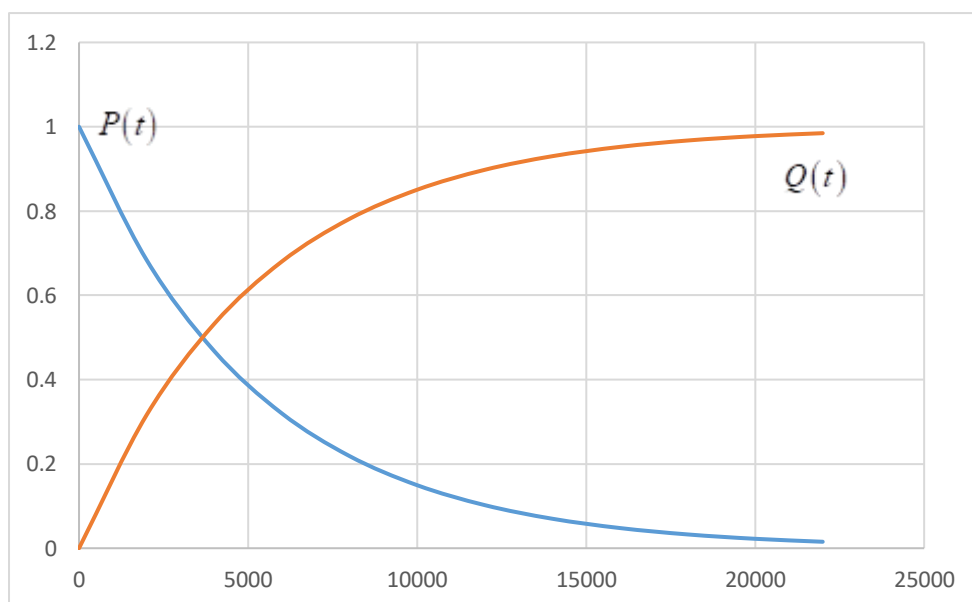


Рисунок 3.4. Графіки безвідмовної роботи та ймовірності відмови

Визначаємо ймовірність відмови:

$$Q_{4000} = 1 - 0,468 = 0,532$$

$$Q_{10000} = 1 - 0,150 = 0,850$$

$$Q_{18000} = 1 - 0,033 = 0,933$$

В результаті отриманих розрахункових даних будуємо графік залежності ймовірності безвідмовної роботи та відмов від часу для трансформатора який зображений на рис. 3.4

Висновки по третьому розділу

Таким чином, зі збільшенням часу експлуатації трансформатора ймовірність безвідмовної роботи знижуватиметься згідно кривої рис. 3.4

ВИСНОВКИ

Дана магістерська робота присвячена питанням дослідження роботи силових трансформаторів, які включають оцінку експлуатаційної надійності по даними напрацювання на відмову, класифікацію та дослідження дефектів, аварійних процесів у силових трансформаторах, а також розробка рекомендацій при проектуванні та ремонті.

Проектування силових трансформаторів має здійснюватися з урахуванням взаємозв'язку та взаємодії всіх етапів його життєвого циклу. Проведено розрахунок надійності на всіх етапах життєвого циклу трансформатора і дано чітке уявлення, які етапи вимагають ретельного уваги. Дослідження роботи трансформаторів, а саме повного життєвого циклу та оцінки експлуатаційної надійності є важливим завданням при проектуванні, експлуатації і вдосконалення системи технічного обслуговування і ремонту. Це дозволяє підвищити якість, надійність трансформаторів, а також суттєво знизити витрати, пов'язані з усуненням раптових відмов і постановкою на позапланові ремонтно-нововідновлювальні роботи.

При аналізі імовірнісної характеристики інтенсивності відмов силового трансформатора можна дати рекомендацію по обмеженню експлуатації трансформатора терміном, коли на інтервалі деградації інтенсивність відмов не перевищуватиме інтенсивності відмов періоду приробітку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кизим М. О., Лелюк О. В. Аналіз стану електроенергетичного сектора України //БІЗНЕСІНФОРМ № 2 '2020 www.business-inform.net
2. Кирик В.В. Рибка О.О. Аналіз стану та технічної відповідності електричних мереж ОЕС України вимогам ENTSO-E //Гідроенергетика України, 3—4/2021, ISSN 1812-9277
3. Дар К.Е. Статистические данные по аварийности энергетического оборудования распределительных устройств 220 кв и выше / К.Е. Дар, В.Н. Таран //Вісники НТУ ХП. – 2010.– Вісник № 45.– С. 111- 115.
4. Плешков П. Г. Організація системи моніторингу силових трансформаторів / П. Г. Плешков, В. Ф. Мануйлов, І. В. Савеленко // Наукові записки : зб. наук. пр. - Кіровоград : КНТУ, 2010. - Вип. 10, ч. 2. - С. 250-255.
5. Філімоненко Н. М., Філімоненко К. В. Аналіз надійності енергосистем із огляду на наявність в їхньому складі силових трансформаторів//Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля № 5 (269) 2021
6. Богачов В.С. Підвищення якості енергії у мережах електроживлення споживачів //ЕЛЕКТРО. 2011. № 1. - С. 47-51.
7. ДСТУ 3466-96 Якість електроенергії. Терміни та визначення..
8. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення.
9. С. В. Казанський Керування надійністю електропостачання в умовах ринкових відносин // Енергетика та електротехніка./ Наукові праці ВНТУ, 2017, № 4
10. Фокін Ю.А., Файницький О.В., Дементьєв Ю.А., Алієв Р.С. Розвиток принципів оцінки структурно-функціональної надійності різних об'єктів електроенергетичних систем // Вісник МЕІ. 1999. № 1. - С. 55-59.
11. Карташев І.І., Фокін Ю.А. Методи оцінки надійності складних електричних систем // Електрика. 1991. № 6.

12. Казанський С. В. Надійність електроенергетичних систем : навч. посіб. / С. В. Казанський, Ю. П. Матєєнко, Б. М. Сердюк. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 216 с. – ISBN 978-966-622-453-1..

13. Адамова С. В. ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ХАРГ// Таврійський державний агротехнологічний університет/ Науковий вісник ТДАТУ Вип. 8, том 2

14. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВПЛИВИ НА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ В АПК// Попова І.О., Сідельніков Б.Ю., Щербаков С.В. Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного , м. Мелітополь

15. Попова І.О. ПРИЧИНИ І НАСЛІДКИ ПОШКОДЖЕНЬ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ СІЛЬСЬКИХ СПОЖИВЧИХ ПІДСТАНЦІЙ / І.О. Попова, С.Ф. Курашкін, В.С. Попядухін // Збірник наукових праць Переяслав-Хмельницького державного педагогічного університету імені Григорія Сковороди. – Вип. 314. – С. 618-622.

16. Курашкін С.Ф. МЕХАНІЗМ ПОШКОДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА./ Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки. // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Вип.186. –Харків: ХНТУСГ, 2017. – С.62-63.