

MR-5755

621.311.1
M154

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
«Методи та засоби діагностики обмежувачів перенапруг 750 кВ»

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕС-21м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електричні станції»
(шифр + назва напрямку підготовки, спеціальності)

Ткачук А. Г.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., професор каф. ЕСС
Рубаненко О.Є.
(прізвище та ініціали)

« 07 » 06 2024 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. ЕССЕМ
Вадченко О.В.
(прізвище та ініціали)

« 07 » 06 2024 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., проф. Комар В. О.
(прізвище та ініціали)
« 07 » 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електричні станції

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

11.03 2024 року

З А В Д А Н Н Я **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ткачук Андрій Геннадійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. Методи та засоби діагностики обмежувачів перенапруг 750 кВ
керівник роботи к.т.н., проф., професор каф. ЕСС Рубаненко О.Є.

затверджена наказом вищого навчального закладу від 11.03.2024 року № 81

2. Строк подання студентом роботи 05 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи:

Перелік літературних джерел за тематикою роботи.

Вихідні дані для проведення обчислювальних експериментів:

Обмежувач перенапруг типу ОПН -750 кВ (Дані пошкоджуваності по діагностичним параметрам: $U_{опор}$ -12%; $U_{зал}$ -12%; Q -8%; $I_{вип}$ -8%; Z -8%; ΔT -28%; $I_{провід}$ -28%)

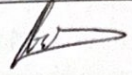
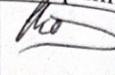
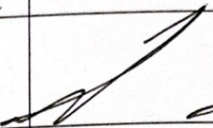
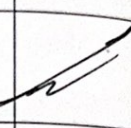
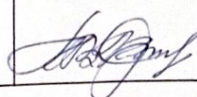
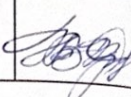
4. Зміст текстової частини:

1. Вступ. 1. Аналіз предмету діагностування; 2. Дослідження пошкоджуваності ОПН 750 кВ; 3. Визначення залишкового ресурсу ОПН; 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; 5. Економічна частина; Висновки; Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1-4 Актуальність. Мета та задачі; 5-6 Недоліки та особливості ОПН; 8. Режим короткого замикання ОПН; 9-10 Методи діагностування ОПН; 11 Визначення залишкового ресурсу ОПН; 12 Результати розрахунків коефіцієнта залишкового ресурсу ОПН; 13 Структура нейромережі ОПН; 14 Залежності значень функцій належності від параметрів; 15 Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Рубаненко О.Є., к.т.н., проф. професор кафедри ЕСС		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О. В. д.п.н., проф., завідувач каф. БЖДПБ		
Економічна частина	Остра Н. В., к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС		

7. Дата видачі завдання 16 січня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи		Примітки
		початок	кінець	
1	Аналіз предмету діагностування	17.01.24	20.01.24	визн
2	Дослідження пошкоджуваності ОПН 750 кВ	21.01.24	01.03.24	визн
3	Визначення залишкового ресурсу ОПН	02.03.24	22.03.24	визн
4	Економічна частина	23.03.24	15.04.24	визн
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	16.04.24	01.05.24	визн
6	Оформлення пояснювальної записки	02.05.24	12.05.24	визн
7	Виконання графічної/ілюстративної частини та оформлення презентації	13.05.24	21.05.24	визн
8	Перевірка МКР на плагіат. Попередній захист МКР	22.05.24	24.05.24	визн
9	Рецензування МКР	25.05.24	01.06.24	визн
10	Захист МКР	За графіком		визн

Студент

(підпис)

А. Г. Ткачук

Керівник роботи

(підпис)

О.Є. Рубаненко

АНОТАЦІЯ

УДК 621.311.1

Ткачук Андрій Геннадійович «Методи та засоби діагностики обмежувачів перенапруг 750 кВ». Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Вінниця : ВНТУ. 2024. 75 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 21 назв; рис.: 21; табл. 12.

В магістерській кваліфікаційній роботі було досліджено призначення, конструкцію, особливості експлуатації обмежувачів перенапруг на 750 кВ. Також виконано аналіз методів та засобів діагностики ОПН 750 кВ в процесі експлуатації.

Розроблено математичну модель загального залишкового ресурсу ОПН з використанням нечіткого моделювання. Отримана нейро-нечітка модель дозволяє визначити значення коефіцієнта загального залишкового ресурсу трансформатора струму в залежності від значень вхідних параметрів – коефіцієнтів залишкових ресурсів по кожному з контрольованих діагностичних параметрів

В розділі охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях розроблено рекомендації для персоналу, що обслуговує пристрої ОПН.

Ключові слова: діагностика, обмежувачі перенапруг, залишковий ресурс, нейро-нечітка модель.

ABSTRACT

Tkachuk Andrii Hennadiiovych "Methods and means of diagnostics of 750 kV surge arresters". Master's qualification thesis in specialty 141 - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics. Vinnytsia: VNTU. 2024. 75 c.

In Ukrainian. Bibliography: 21 titles; Figures: 21; Table 12.

In the master's qualification work the purpose, design, features of operation of surge arresters for 750 kV were investigated,

design, features of operation of overvoltage arresters for 750 kV were investigated. The methods and means of diagnostics of 750 kV surge arresters in operation were also analyzed.

A mathematical model of the total residual life of the surge arrester was developed using fuzzy modeling. The obtained neuro-fuzzy model allows determining the value of the coefficient of the total residual life of the current transformer depending on the values of the input parameters - the coefficients of residual life for each of the controlled diagnostic parameters

In the section of labor protection and safety in emergency situations, recommendations for personnel servicing arrester devices are developed.

Keywords: diagnostics, surge arresters, residual life, neuro-fuzzy model.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
АНАЛІЗ ПРЕДМЕТУ ДІАГНОСТУВАННЯ	7
1.1 Конструкція металооксидних ОПН.....	7
Висновки до першого розділу	18
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖУВАНOSTІ ОПН 750 кВ.....	19
2.1 Проведення аналізу можливих стратегій діагностування для обмежува- чів перенапруг	19
2.2 Режим короткого замикання високовольтних ОПН.....	20
2.3 Випробовування короткого замикання (скидання тиску).....	26
2.4 Вибір стратегії та алгоритму діагностування опорно-стрижньових ізоля- торів	34
Висновки до другого розділу.....	36
3 ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ОПН	38
3.1 Ймовірнісна математична модель коефіцієнта залишкового ресурсу ОПН	38
3.2 Нейро-нечітка модель ОПН	44
Висновок до третього розділу	52
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	53
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....	53
4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	53
4.1.2 Електробезпека	57
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	59
4.2.1 Мікроклімат	59
4.2.2 Виробниче освітлення	60
4.2.3 Виробничий шум	61
4.2.4 Виробнича вібрація	62

4.2.5 Фактори умов праці	63
Висновки до четвертого розділу	65
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	66
5.1 Техніко-економічне обґрунтування	66
5.2 Визначення капіталовкладень	67
Висновок до п'ятого розділу	71
ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73
ДОДАТКИ	76

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОПН – обмежувач перенапруг

ЕЕС – електроенергетична система;

ЕО – електрообладнання;

ЕС – електрична станція

МО – металооксид;

ОІП – обмежувач імпульсних перенапруг;

ПС – підстанція

ПУЕ – правила улаштування електроустановок

ВСТУП

Актуальність теми дослідження методів та засобів діагностування обмежувачів перенапруг 750 кВ зумовлена тим, що в наш час діють вимоги керівних документів щодо необхідності встановлення обмежувачів перенапруг поряд з силовими трансформаторами та автотрансформаторами зі сторони високої, середньої та низької напруг. Комутаційні та грозові перенапруги викликають спрацювання ОПН, зменшуючи їх ресурс. Тому зростають струми витоку через ізоляцію ОПН. Враховуючи умови експлуатації ОПН, експлуатація ОПН вимагає контролювати технічний стан ОПН та виявляти погіршення технічного стану ОПН на ранній стадії розвитку дефекту.

Пошкодження або вихід з ладу силових трансформаторів, шунтових реакторів, вимірювальних трансформаторів напруги та іншого підстанційного обладнання під час грозових перенапруг призводить до додаткових витрат на ремонт та зменшує надійність транспортування електричної енергії [1].

Тому в наш час розробляються та впроваджуються в експлуатації методи та засоби як періодичного так і безперервного контролю технічного стану ОПН. Одним з таких засобів є безпроводний реєстратор спрацювань ОПН з індикацією струму витоку серії «ОПН-ВІЗОР-II LR». Цей бездротовий реєстратор спрацювання «ОПН-Візор-II (LR)» призначений для індикації повного струму провідності та реєстрації кількості спрацювань ОПН при перенапругах, а також для індикації аварійного стану ОПН у режимі їх експлуатації без розриву струмопроводного ланцюга. Дальність зв'язку базового модуля з датчиками становить близько 10000 м в зоні прямої видимості, і близько 3000 м в умовах відкритих розподільних пристроїв з багатьма бетонними або сталевими перешкодами. В наш час в Україні виробляють ОПН [2].

Наприклад, ТОВ «СЛАВЕНЕРГОПРОМ» зараз релоковане з м. Славенськ Донецької області у м Черкаси.

Так як відмова ОПН (обмежувач перенапруг нелінійний) може привести до серйозної аварії в системі електропостачання, то нормативні документи вимагають періодичних профілактичних випробувань обмежувачів.

На підставі результатів таких випробувань може бути зроблений висновок про придатність або непридатність ОПН до подальшої експлуатації

Отже тема МКР та досліджень методів визначення технічного стану ОПН актуальна.

Метою роботи є вдосконалення системи діагностування ОПН під час прийнятно-здавальних робіт та експлуатації.

Згідно поставленої **мети** в роботі вирішено наступні **задачі**:

- 1_Дослідити конструктивні особливості металооксидних ОПН
- 2_Вибрати діагностичні параметри для визначення поточного стану ОПН
- 3_Дослідити пошкоджуваність ОПН
- 4_Розробити алгоритм діагностування
- 6_Розробити математичну модель коефіцієнта залишкового ресурсу ОПН
- 7_Вибрати діагностичне обладнання

Об'єктом дослідження є процеси зміни технічного стану ОПН.

Предметом досліджень є методи та засоби визначення технічного стану ОПН

Методи дослідження. В роботі використані методи теорії діагностування високовольтного обладнання, нечітких множин та нейронних мереж.

Наукова новизна отриманих результатів. Отримав подальший розвиток метод визначення технічного стану ОПН.

Практичне значення полягає у наведених прикладах розрахунку залишкового ресурсу ОПН.

Апробація результатів роботи і публікації. Основні наукові результати доповідались на наукових конференціях ВНТУ

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які складають основний зміст магістерської роботи, отримані автором самостійно.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТУ ДІАГНОСТУВАННЯ

Традиційні одноколонкові ОПН в фарфоровому і полімерному корпусах з внутрішнім повітряним включенням мають ряд недоліків. Один з них — нерівномірний розподіл НЕП в поздовжньому напрямі, а також високий рівень НЕП в поперечному ((радіальному) напрямі. Високий рівень поля в радіальному напрямі веде до внутрішніх часткових розрядів в повітрі між внутрішньою стінкою корпусу і зовнішньою поверхнею металооксидних варисторів, що є серйозною проблемою для ОПН такої конструкції [3].

1.1 Конструкція металооксидних ОПН

З метою наочності матеріалу з численних варіантів були вибрані лише деякі приклади, на яких демонструється основний принцип дії обмежувача. Детальніша інформація міститься в 2-ій частині.

Відмова від іскрових проміжків, що мали місце при роботі з карбідокремнієвими обмежувачами, значно спростила конструкцію ОПН. Поява деяких конфігурацій ОПН з корпусом з полімерних матеріалів стала можливою лише після впровадження безіскрових металооксидних апаратів. Значний крок вперед полягає в тому, що в металооксидному обмежувачі "активним" являється тільки один елемент, а саме, колонка металооксидних резисторів. До резисторів пред'являються відповідно підвищені вимоги, так як усі функції, розподілені в іскрових обмежувачах між різними його компонентами, тепер виконують резистори. Вони повинні мати підвищену стійкість до старіння, піддаватись дії тривалої робочої напруги, витримувати відділяєму в процесі роботи енергію і обмежувати струм до безпечних величин, забезпечуючи стабільну роботу системи. Саме тому удосконаленню конструкції металооксидних ОПН і технології їх виготовлення (виготовлення металооксидних ОПН залишається все ще більш трудомістким, ніж виготовлення карбідно-кремнієвих обмежувачів) надається велике значення. Цьому присвячена окрема глава в 2-ій частині.

У нашому розділі мова піде тільки про конструктивні особливості металооксидних ОПН.

На рис. 1.1 в розрізі показаний конструктивний елемент металооксидного ОПН у фарфоровому корпусі для високовольтних ліній. Колонка МО-резисторів разом з опорною конструкцією є активним елементом обмежувача. Колонка складається з окремих, щільно прилеглих один до одного резисторів. У переважній більшості металооксидні резистори мають форму циліндра (рис. 1.2.) [4].

Від їх діаметру залежить енергоємність і електричне навантаження. Його розмір коливається від 30 мм для мереж середньої напруги до 100 мм для високовольтних ліній і спеціального призначення, де потрібна особливо висока енергоємність¹. При підвищених вимогах активний елемент складається з декількох колонок, тобто ОПН має декілька паралельних МО-резисторів.

.Висота МО-резисторів варіюється від 20 мм до 45 мм. Це залежить від технології виготовлення і від використовуваного при цьому устаткування та інструментів. У будь-якому випадку її не можна збільшувати довільно, оскільки при нарощуванні висоти (так само як і при збільшенні діаметру) важко контролювати однорідність матеріалу в процесі виробництва. Ця обставина впливає не тільки на енергоємність резистора, але і на дотримання технічних параметрів, закладених в специфікації.

Напруга, що залишається, на кожен міліметр висоти стержня при грозовому розряді із струмом 10 кА — так звана 10 кА-на залишкова напруга — знаходиться в діапазоні від 450 В/мм для типового ОПН з металооксидним опором для мереж середньої напруги (32 мм в діаметрі) до 280 В/мм для аналогічного ОПН (70 мм в діаметрі) для застосування в мережі 420 кВ.

У останньому згаданому прикладі опір висотою 45 мм має 10 кА залишкову напругу близько 12,5 кВ. Для забезпечення рівня захисту від грозового розряду в 823 кВ згідно з прикладом з мал. 2 знадобиться рівно 66 резисторів. Висота стержня при цьому складе 3 метри, тобто не зможе розміститися ні в

одному корпусі, отже, обмежувач необхідно виконати як мінімум з двох елементів.

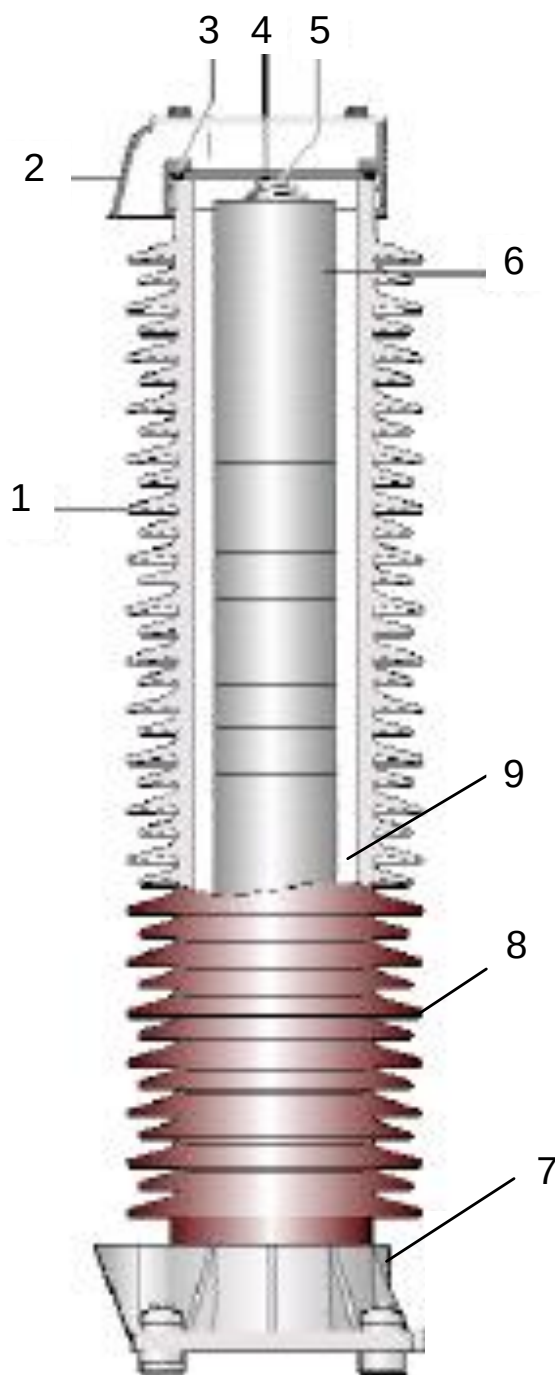


Рисунок 1.1 — Будова ОПН

На рис. 1.1 введено наступні позначення 1-ізолятор; 2. Фланець з газовим поворотним соплом; 3. Ущільнення; 4. Редукційна мембрана; 5. Пружина

стискання; 6. Метало оксидний резистор (нелінійний); 7. Алюмінієвий фланець; 8. Фарфоровий корпус; 9. Опорна пластина.

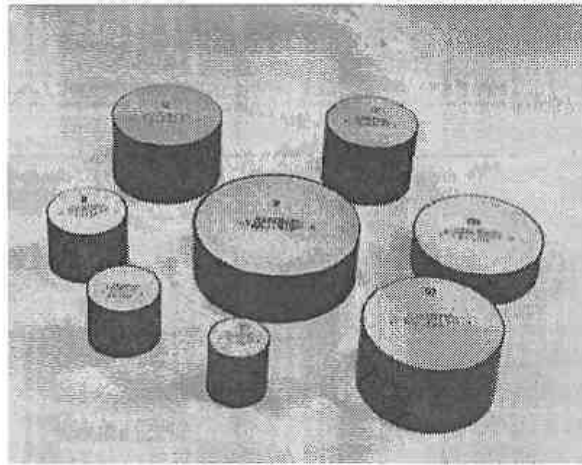


Рисунок 1.2 — Металооксидні резистори

Довжина активного елементу підганяється до довжини корпусу за допомогою металевих наповнювачів. У простих випадках для цього використовують алюмінієві трубки, які для вирівнювання поверхневого тиску закривають кришками. Можна скористатись і повнотільними алюмінієвими блоками, які знижують температуру і одночасно підвищують термічну енергоємність ОПН.

Сполучені таким чином між собою металооксидні резистори необхідно закріпити усередині корпусу. Це робиться для зручності транспортування і на той випадок, якщо ОПН матиме похиле положення в процесі експлуатації, щоб забезпечити при цьому стабільний осьовий контакт і забезпечувати струмові навантаження, що виникають в процесі експлуатації. На рис. 8 представлений один із варіантів застосування ОПН. Декілька утримувачів з полімерного матеріалу, армованого скловолокном (GFK), утворюють навколо колонки резисторів своєрідну конструкцію у вигляді клітки. Кріпильні пластини, розташовані на рівній відстані один від одного, — теж із скловолокнистої пластмаси — перешкоджають, з одного боку, вигину утримувачів, з іншого — обмежують прогин усієї конструкції у бік корпусу. Розташована на верхньому кінці

стержня нажимная пружина (при необхідності їх може бути декілька) надійно утримує активний елемент в корпусі.

До електричних і механічних властивостей усієї кріпильної конструкції пред'являються високі вимоги. Вона має бути спроектована і виготовлена так, щоб ні за яких умов експлуатації вона не викликала часткові електричні розряди. Окрім механічної міцності, вона повинна мати хорошу стійкість до високих температур, до великого значення струму витоку, а також низькою займистістю, тобто володіти властивістю самогасіння.

До недавнього часу корпуси для ОПН робили виключно, а для високовольтних ліній переважно і в наші дні — як показано на рис. 8 — з фарфору¹. На кінцях корпус має алюмінієві фланці², які кріпляться за допомогою ущільнюючої маси³. Якщо фланці з алюмінію призначені для застосування на відкритому повітрі, то їх лакування необов'язкове.

В якості ущільнюючої маси добре зарекомендував себе сірчаний цемент. Разом з цілком прийнятними механічними властивостями він володіє, в порівнянні з портландским цементом, перевагами в технології виготовлення : не викликаючи корозії, він без проблем зчіплюється з алюмінієм і легко піддається обробці, оскільки практично відразу після заливки досягає заданої міцності.

При вдалому виборі конструкції і форм фарфорових наконечників і фланців ущільнююча маса завжди механічно міцніша фарфору. Це означає, що міцність фарфору при визначені максимально допустимих механічних дій на корпус обмежувача використовується повністю.

Електроізоляційний фарфор випускається різного сорту, рекомендації по механічній міцності для кожного сорту містяться,. Для корпусів ОПН застосовують, як правило, кварцовий фарфор і глиноземний фарфор або алюмооксидний ("С 120"). Самі високі механічні властивості має глиноземний фарфор, у якого питома міцність в два рази вища в порівнянні з кварцовим фарфором. Підвищенню механічної міцності сприяє глазур, яка наноситься не лише на зовнішні, але і на внутрішні поверхні. На міцність корпусу впливає,

звичайно ж, і форма ізоляторів. Велике значення має також товщина стінок і діаметр виробу. Чим вище напруга в системі, а, отже, вище вимоги до міцності, тим більше діаметр ізолятора¹.

На відміну від цього, колір глазури не має ніякого технічного значення. Найпоширеніший — коричневий (RAL 8016), в англо-американському регіоні перевага віддається світло-сірому тону (аналогічний RAL 7004). Теоретично можна обґрунтувати вплив кольору на внутрішню температуру ОПН на основі різної термічної міри емісії і абсорбції, але цей ефект настільки незначний, що ним можна нехтувати.

Окрім захисту активної частини від дій довкілля, корпус ОПН повинен мати достатню довжину шляху витоку. Для цього застосовують обребрення, конструкція якого дуже різноманітна. Рекомендації по конфігурації ребер містяться в нормативах, обов'язкові для виробників. Найпоширеніші типи екранів "великий-маленький" або чергування профіля і стандартного профіля (рис. 1.3). Для вибору типу екрану не існує жорстких рекомендацій. Перевагами профілю, що чергується, є хороший захист верхніх струмопровідних шляхів і вдале співвідношення довжини шляху витоку до загальної довжини ізолятора, що дозволяє зменшити розміри самого обмежувача при заданих вимогах відносно довжини шляху витоку. У випробуваннях з штучним сольовим туманом (рекомендації по проведенню випробувань) він краще екранує, чим стандартний профіль. Останній володіє кращою самоочисткою при практичному використанні і тому являється переважним. При сумнівах у виборі профілю екрану слід звернутися до досвіду застосування в умовах цієї місцевості.

Пояснення до рис. 1.1 слід закінчити описом системи ущільнення. Вона є найбільш важливим компонентом для будь-кого ОПН — найбільш поширеною причиною виходу обмежувачів з ладу, що підтверджує спеціальна література і самі енергетики вважають, являється негерметичність. Ущільнююча система повинна вирішувати три задачі, які важко з'єднати разом: по-перше, вона повинна впродовж усього терміну служби ОПН, тобто від 25 до 30 років, надійно захищати його від проникнення вологи, по-друге, вона має одночасно

бути пристроєм для швидкого скидання тиску в тих окремих випадках, коли ОПН сильно переобтяжений і фарфоровий корпус може тріснути від надтиску усередині корпусу. І нарешті, в цьому місці повинен забезпечуватися надійний перехід струму від фланців до колонок металооксидних резисторів.

Пояснення до рис. 1.1 слід закінчити описом системи ущільнення. Вона є найбільш важливим компонентом для будь-кого ОПН — найбільш поширеною причиною виходу обмежувачів з ладу, що підтверджує спеціальна література і самі енергетики вважають, являється негерметичність. Ущільнююча система повинна вирішувати три задачі, які важко з'єднати разом: по-перше, вона повинна впродовж усього терміну служби ОПН, тобто від 25 до 30 років, надійно захищати його від проникнення вологи, по-друге, вона має одночасно бути пристроєм для швидкого скидання тиску в тих окремих випадках, коли ОПН сильно переобтяжений і фарфоровий корпус може тріснути від надтиску усередині корпусу. І нарешті, в цьому місці повинен забезпечуватися надійний перехід струму від фланців до колонок металооксидних резисторів.

На прикладі, приведеному на рис. 1.3, ущільнююча система складається з ущільнюючого кільця і мембрани для скидання тиску. Обидва елементи парні, тобто встановлені з обох боків корпусу. Кільце ущільнювача встановлюється на торцевій стороні фарфорового корпусу. В цьому випадку маса ущільнювача не грає великої ролі. На перший план виходить вимога ретельної обробки торцевої поверхні корпусу з наступним контролем якості [4 ,5].

Підвищені вимоги необхідно пред'являти до матеріалу кілець ущільнювачів. Так, наприклад, натуральний каучук виявився непридатним, оскільки з часом він втрачає еластичність. Основною вимогою до матеріалу є його стійкість до озону, з чим успішно справляються сучасні полімерні матеріали.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд а ОПН з фарфоровим корпусом для високовольтних ліній

Використовувана в ОПН даної конструкції мембрана для скидання тиску виконана з високоякісної сталі або нікелю, і має товщину всього декілька десятих міліметра. Зробити мембрану, яка б впродовж 30 років успішно застосовувалася і при цьому не піддавалася корозії, — ось завдання в частині розробки і забезпечення якості нових матеріалів. Мембрана прижимається до кільця

ущільнювача за допомогою упорного металевого кільця, пригвинченого до фланця. Слід мати на увазі, що матеріали, що дотикаються, повинні мати електрохімічну сумісність. Інакше неминуче з'явиться щілинна корозія, і як наслідок, розгерметизація.

Перевага мембрани для скидання тиску¹ полягає в її моментальному спрацьовуванні при перевантаженні обмежувача. Перевантаження обмежувача являється надзвичайно рідкісним явищем², однак, навіть при достатньому запасі міцності ОПН повністю виключати її не можна. Можливими причинами цього можуть стати, наприклад, грозові розряди або перехід напруги з однієї системи вищої напруги на іншу з нижчою напругою, при обриві дроту або замиканнях при танцях проводів, якщо ЛЕП має декілька рівнів напруги. У кожному з таких випадків має місце перевантаження одного або декількох металооксидних резисторів конкретного ОПН. Утворюється напівдуга, яка за частки секунди перетворюється всередині корпусу в повну дугу між фланцями. Через неї протікає струм короткого замикання мережі, виникаючого в місці установки ОПН. Як наслідок спостерігається різкий підйом тиску усередині корпусу. Мембрани спрацьовують за декілька мілісекунд і забезпечують надійне скидання тиску, не даючи корпусу тріснути. Гарячі гази під сильним тиском з великою швидкістю виходять через продувальні отвори [6]. Вирвавшись назовні, обидва газові потоки об'єднуються і переміщують гарячу усередині корпусу дугу назовні, де вона продовжує горіти зовні корпусу до відключення. Екстремальне термічне навантаження може привести до поломки фарфорового ізолятора³, не викликаючи більше тяжких наслідків, так як ушкодження ізолятора відбувається практично без тиску.

Якщо дуга згасне усередині корпусу під дією діючих в мережі процесів до спрацьовування мембран для скидання тиску або тиск в результаті дуже незначного аварійного струму підніматиметься порівняно повільно (останнє має місце в компенсованих мережах), то розвантажувальні мембрани спрацюють частково — утворюються тільки складки — що викличе розгерметизацію корпусу. Це спеціально передбачено для того, щоб несправний обмежувач не

виявився під тиском понад 1 бар. Таким чином, значно знижується ризик при демонтажі дефектного ОПН.

Основні компоненти металооксидного ОПН описані на прикладі обмежувача високої напруги з фарфоровим корпусом. Залишилося згадати ще про деякі деталі, що відносяться до ОПН високої напруги.

Як вже було сказано вище, при певній довжині колонки металооксидних резисторів ОПН не може складатися тільки з однієї частини. Максимально допустима, з техніко-економічної точки зору, довжина фарфорового корпусу складає близько двох метрів. Тому для мережі з глухим заземленням 245 кВ ОПН може складатися з двох модулів, за умови, що вимоги відносно шляху струму витoku порівняно невеликі.

Для вищих рівнів напруги ОПН складається з декількох частин, наприклад, для мережі в 420 кВ, доцільно брати ОПН з двох частин, для вищої напруги — з трьох, чотирьох і навіть п'яти. Обмежень у бік збільшення кількості немає, якщо, звичайно, ОПН зберігає необхідні механічні властивості. На рис. 1.4 та 1.5 представлена будова ОПН [].

Починаючи від розміру в півтори і до двох метрів, а також у випадку ОПН, що складається з декількох колон резисторів, виникає необхідність в екрануючих кільцях. Вони служать для рівномірного розподілу напруги по усій довжині обмежувача зверху вниз, на яке впливає ємність по відношенню до землі. Без таких заходів металооксидні резистори на верхньому, зверненому до лінії, кінці ОПН піддаються вищому навантаженню. Наслідки цього і взаємозалежність усіх діючих процесів детально викладені в 2-ій частині. Екрануючі кільця відрізняються по діаметру і по висоті кріплення.

Основне правило свідчить: чим більший діаметр і довші розтяжки, тим рівномірніше розподіляється напруга. Необхідно назвати дві головні причини, примушуючі розробників обидва ці розміру зводити до мінімуму:

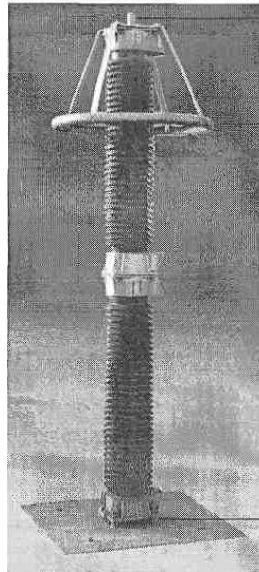


Рисунок 1.4 – ОПН високої напруги, що складається з двох частин

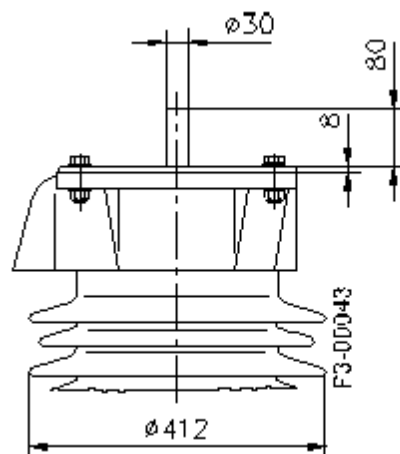


Рисунок 1.5 – Будова ОПН

Діючі стандарти на спорудження високовольних ліній¹ строго регламентують мінімальні відстані між жилами різних фаз. Ці вимоги відносяться і до відстані між двома екрануючими кільцями сусідніх обмежувачів. Чим менше самі кільця, тим менше відстані між сусідніми ОПН, що визначає і відстань між осередками [7].

Розтяжки теж не можна робити довільної довжини, так як необхідно враховувати вимоги до напруги усередині порожнього корпусу ОПН. Якщо

зробити довжину занадто великою, то під час імпульсних випробувань виникають пробої ізоляції від екрануючого кільця через найближчий фланець на землю або безпосередньо на землю.

У мережах високої напруги обмежувачі мають, як правило, не глухе заземлення, а включаються в один ланцюг з лічильниками, контрольними іскровими розрядниками або вимірювачами струму витоку. З цією метою обмежувач встановлюється на ізоляційні опори. Функцію заземлення виконують контрольні апарати. Опори мають бути розраховані таким чином, щоб сприймати ті, що виникають в процесі експлуатації ОПН довготривалі або короточасні перенапруження. З електричної точки зору опора повинна перешкоджати пробою ізоляції при стрибках напруги між паралельними контрольними пристроями і власною індуктивністю заземленого кабелю.

Висновки до першого розділу

Сьогодні виробляється найширший спектр сучасних обмежувачів із прямим литтям корпусної силіконової ізоляції на активну частину для будь-якого виду застосування. В останні десятиліття вони зарекомендували себе як дуже надійні апарати, що здійснюють захист елементів електричних мереж.

Вони захищають електрообладнання, вартість якого незрівнянно вища порівняно з їхньою власною, і гарантують високу надійність та безперебійність систем електропостачання. Можна відзначити, що ОПН виступають як гарантований захист обладнання від пробоев через високих перенапруг.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖУВАНOSTІ ОПН 750 кВ

2.1 Проведення аналізу можливих стратегій діагностування для обмежувачів перенапруг

На енергетичних підприємствах надійність експлуатації ОПН може бути забезпечена двома шляхами.

Традиційні одноколункові ОПН в фарфоровому і полімерному корпусах з внутрішнім повітряним включенням мають ряд недоліків. Один з них — нерівномірний розподіл НЕП в поздовжньому напрямі, а також високий рівень НЕП в поперечному ((радіальному) напрямі. Високий рівень поля в радіальному напрямі веде до внутрішніх часткових розрядів в повітрі між внутрішньою стінкою корпусу і зовнішньою поверхнею металооксидних варисторів, що є серйозною проблемою для ОПН такої конструкції [8].

Модуль ОПН послідовно - паралельної конструкції

Запатентована конструкція модуля ОПН фірми "Тайко Електронікс Боуторп" є беспустотною конструкцією, в якій полімерний корпус відливається безпосередньо на варисторну колонку і фітинг, охоплені сткловолоконною оболонкою. Вживані варисторні диски ((ZnO) мають прекрасні електричні характеристики. Полімерний корпус випробуваний в камері соляного туману і надійний в будь-яких погодніх умовах.

Матеріал корпусу. Матеріал полімерного корпусу був розроблений на підставі 40-річного досвіду в області матеріалознавства. Характеристик и ОПН наведені на рис. 2.1-2.2.

Полімерний корпус ОПН з запатентованого матеріалу компанії "Тайко Електронікс Боуторп" має прекрасну стійкість до ерозії і трекінгу, а також оптимальну зовнішню форму. Уся гамма полімерних корпусів була випробувана в повному об'ємі на вибухобезпечність.



Рисунок 2.1 – ОПН високої напруги, що складається з двох частин

Мають відмінну гідрофобність і вибухобезпечність



Рисунок 2.2 – Аналіз стійкості до ерозії трекінгу (випробування “TERT”)

2.2 Режим короткого замикання високовольтних ОПН

Правильно обраний ОПН може відхиляти імпульси напруги практично нескінченно, у разі, якщо енергія, яку необхідно розсіяти, відповідає можливостям цього типу обмежувача. У разі якщо обмежувач повинен розсіяти більше енергії, ніж передбачено даним типом, він "жертвує собою", ініціюючи внутрішнє к.з. Найчастіше ОПН приєднані за схемою фаза-земля і в разі спрацювання замикаються на землю, миттєво перериваючи напругу на фазі та,

таким чином, захищаючи інше обладнання, під'єднане до тієї самої фази. Вхідний захист ініціює спрацювання вимикача для усунення перевантаження, і аварійний обмежувач потім може бути замінений [9].

Зазвичай кожухи ОПН виготовляли з порцеляни. Однак, наразі превалює тенденція, а часто навіть віддається перевага, застосуванню силіконових ізоляторів для виготовлення ОПН у всіх системах напруг. Серед причин використання силікону замість порцеляни, згадується потенційно краща здатність силікону витримувати режим короткого замикання, що підвищує безпеку іншого обладнання та персоналу, за умови правильного проєктування.

Помилково однак вважати, що краща здатність проведення короткого замикання автоматично досягається шляхом заміни порцелянових кожухів на полімерні. У минулому помилково вважалося, що всі обмежувачі з полімерними кожухами, незалежно від конструкції, здатні витримувати величезні струми короткого замикання. Це не так, і конструкція ОПН має бути ретельно розроблена для кожного спеціального типу.

Порожниста трубна конструкція.

Трубна конструкція включає окремий кільцевий газовий проміжок між активними частинами та зовнішнім ізолятором. Якщо не вжити заходів, то існує ймовірність того, що обмежувачі, які містять певний об'єм газу (як порцелянові так і полімерні), можуть вибухнути через збільшення внутрішнього тиску, спричиненого нагріванням від дуги короткого замикання. Це призводить до того, що ці обмежувачі мають бути обладнані пристроєм для скидання тиску, який швидко випустить назовні певну кількість газу. Такі обмежувачі зазвичай забезпечені пристроями, розташованими внизу і вгорі на кожному блоці, що спрацювують, щойно внутрішній тиск перевищить певну величину. Іонізований газ потім виходить з обмежувача, і коли два газові потоки зустрінуться, внутрішня дуга переключиться на зовнішній бік, у такий спосіб запобігаючи збільшенню внутрішнього тиску та уникаючи нищівного руйнування кожуха.

Ця конструкція добре відома і зрозуміла. Незважаючи на це, навіть якщо сам кожух не вибухає, досвід показує, що існує ризик, що фланцеві кришки, вентиляційні канали, порцелянові спідниці або інші зовнішні деталі можуть бути зміщені зі своїх місць і відкинуті. Зниження такого ризику має бути передбачено під час проектування і, природно, перевірено за допомогою випробувань.

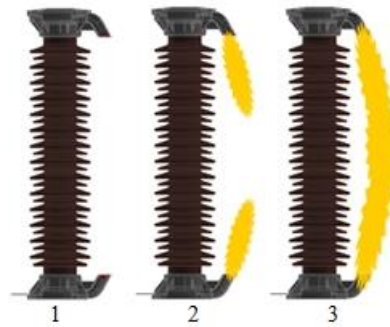


Рисунок 2.3 –Принцип дії пристрою скидання тиску ОПН з порцеляновими кожухами ABB типу EXLIM і силіконовими кожухами HS PEXLIM трубної конструкції

На рис. 2.3 показано: 1 - обмежувач перенапруги у звичайному стані; 2 - обмежувач перенапруги перебуває в режимі внутрішнього короткого замикання, пластини скидання тиску відкриті й газ починає виходити через вентиляційні канали; 3 - два газові потоки зустрічаються і внутрішня дуга перемикається назовні.

У світі все ще експлуатується багато силіконово-карбідних (SiC) ОПН з іскровим проміжком і порцеляновими кожухами, спроєктованими з великим внутрішнім об'ємом газу. Оскільки за статистикою ризик виходу з ладу старих ОПН більший, вони повинні розраховуватися на максимальний ризик руйнування. Далі, при розширенні систем, може виникнути необхідність удосконалення з'єднаних з ними ОПН, якщо результат перевищує запроектовану потужність і збільшує ризик руйнування, факт, якому часто не надається значення. ОПН, виготовлені навіть у 1970 році, можуть не мати необхідних пристроїв

скидання тиску, що забезпечують безпечну роботу в умовах внутрішнього короткого замикання. Навіть якщо такі пристрої є, немає впевненості в тому, що вони нормально функціонують у разі, якщо потужність к.з. на лінії була збільшена з моменту початкового встановлення і наразі є вищою за запроектовані параметри обмежувача. Такі ОПН з великою часткою ймовірності не відповідають сьогоdnішнім вимогам до безпеки коротких замикань і можуть руйнівno спрацьовувати в разі порушення їхньої нормальної роботи, заподіюючи ушкодження супутньому обладнанню і наражаючи на небезпеку ризику персонал, що перебуває в безпосередній близькості.

Закрита або обгорнута конструкція.

Імпульсні обмежувачі перенапруги в цій категорії включають "монолітний" (частково або повністю) полімерний кожух, що закриває внутрішній збір і повністю захищає активні компоненти за допомогою твердого матеріалу. Конструкція характеризується відсутністю прямого шляху виходу назовні дуги під час внутрішнього короткого замикання. Типові рішення включають скловолоконну оболонку безпосередньо на стовпці блоків або окрему трубу, в якій розташовані окисдовані цинком блоки. Потім на цю внутрішню збірку компонентів встановлюється м'який полімерний ізолятор (попередньо відлитий або відлитий за місцем кріплення), часто разом з заповненням жировим або гелевим вільних просторів.

Внутрішня дуга, що виникає в момент перевантаження, прагне швидко пробити шлях крізь твердий матеріал, що оточує блоки з окисдованого цинку ZnO. Після цього дуга легко пробиває отвір у зовнішньому кожусі з м'якого полімеру для виходу назовні та виводить газу.

Для отримання високої механічної міцності оболонка/труба повинні бути виконані досить надійно, що в свою чергу може призвести до ще більш міцної конструкції, беручи до уваги сили, що виникають при короткому замиканні.

Внутрішній надлишковий тиск може значно збільшитись перед пробиванням твердого матеріалу, що може призвести до небезпеки вибуху з поширенням уламків на великій території. Для попередження руйнування кожуха використовуються різні місцеві конструктивні рішення, наприклад пази в трубі. При використанні скловолоконної оболонки альтернативним рішенням може бути пристрій вигинів спеціальної форми для ослаблення певних слабких місць для полегшення пробою. Ці ослаблені місця мають на меті забезпечити скидання тиску і перенаправити внутрішню дугу назовні, оберігаючи таким чином від вибуху.

Може виникнути питання щодо остаточної ефективності таких рішень щодо їх здатності постійно діяти як запланованими, незалежно від моменту та місця виникнення внутрішньої дуги. Особливо у випадку, якщо пристрій надто закритий і тиск досягає великого значення, трубна конструкція має бути доповнена пристроєм скидання тиску.

Відкрита або ґраткова конструкція. Ця конструкція може складатися з витків скловолокна, скловолокнистих штоків або скловолокнистих ґрат/сітки, в які обернуть стовпець блоків [10].

Відмінною рисою цього типу конструкції є те, що конструкція не повністю оточена твердими матеріалами. Натомість, тіло м'якого полімерного матеріалу безпосередньо оточує внутрішні компоненти. Такі конструкції немає замкнутого газового простору. У разі перевантаження ОПН через перевищення параметрів його розрахункової здатності виникне внутрішня дуга. Завдяки відкритій конструкції, дуга проб'є отвір або пропалить вихід крізь полімерний матеріал, і разом із супутніми газами вирветься назовні. Тому окремі пристрої скидання тиску не потрібні для конструкції цього типу.

Незважаючи на це, пристрій не повинен бути надто відкритим, інакше існує ризик витіснення дугою фрагментів твердого внутрішнього матеріалу – блоків окису цинку та металевих деталей. Особливо це може бути актуальним у разі довгого блоку ОПН у комбінації з великими струмами короткого замикання.

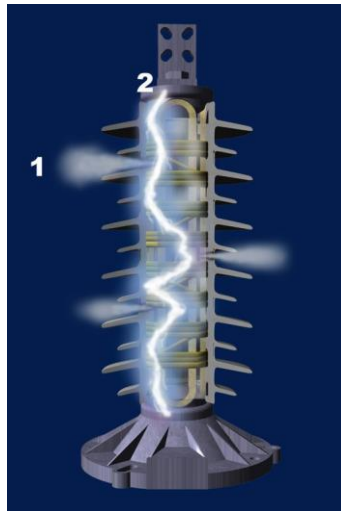


Рисунок 2.4 –Принцип дії "скидання тиску" для безпосередньо залитої конструкції ОПН відкритого типу для обмежувачів типу PEXLIM компанії АВВ.

На рис.2.4 показано: 1 - ОПН виникло коротке замикання і газ починає виходити через м'який силіконовий кожух; 2 - газові потоки викликають зовнішнє іскрове перекриття та внутрішня дуга благополучно виходить назовні. Одночасно обмотка утримує внутрішні компоненти.

Компанія АВВ застосовує унікальну, запатентовану конструкцію для своїх обмежувачів перенапруги PEXLIM для ізоляції блоків ZnO кожного модуля під попередньою компресією в сітку зі скловолокна, посилену витками, закріпленими між двома ярмами, які мають форму електродів. Особливе вогнетривке волокно намотується на витки, що і формує конструкцію відкритої оболонки модуля. Після цього зовнішній силіконовий кожух безпосередньо відливається на внутрішні компоненти та формує монолітний, герметичний кожух по всій довжині ізолятора. В результаті, ОПН набуває безпечної герметичності, високої механічної міцності, відмінних характеристик короткого замикання, завдяки волоконній ізоляції, що оберігає від пошкодження внутрішні компоненти при протіканні процесу вибуху.

Велику дослідницьку роботу було проведено компанією АВВ для визначення кількості волокна та кута волоконного намотування для забезпечення безперервного та безпечного витримування струмів короткого замикання. Висновком досліджень стала необхідність використання обмотки із цим типом конструкції довгих модулів, що використовуються при високих напругах.



Рисунок 2.5 – Успішне випробування короткого замикання обмежувача перенапруг PEXLIM із обмоткою



Рисунок 2.6 – Невдале випробування короткого замикання обмежувача без обмотки

2.3 Випробовування короткого замикання (скидання тиску)

Стандартні процедури випробувань короткого замикання основних типів обмежувачів перенапруги враховують, що може статися при відмові блоків ZnO з індивідуальними конструкціями для зменшення ризику пошкодження

навколишнього обладнання та травм персоналу. Однак залишається різниця у вимогах між останніми виданнями двох найбільш поширених стандартів обмежувачів: IEC60099-4 та IEEE C62.11. Ці відмінності можуть бути узагальнені таким чином:

IEC 60099-4

- Порядок проведення випробування добре визначений для різних конструкцій та типів кожухів.
- Включає випробування струмами високої, середньої та низької величини.
- Точна відмінність щодо спеціальних вимог, особливо стосовно полімерних обмежувачів.

IEEE C62.11

- Аналогічна процедура випробувань та характер аварій (плавка вставка/дротяний запобіжник), визначений для обмежувачів станційного та проміжного класів з порцеляновими та полімерними кожухами. Потрібне випробування лише високим та низьким струмами.
- Різні процедури для обмежувачів розподільчого класу з порцеляновими та полімерними кожухами. Вимагає різні режими відмови для високого, середнього та низького випробувального струму тільки для обмежувачів з полімерним кожухом, призначених для розподільних мереж.

IEEE C62.11 - знаходиться у процесі перегляду відповідно до перерахунку на вимоги IEC. Останній стандарт IEC більш оновлений, ніж відповідний стандарт IEEE, оскільки містить доповнення та визначення, які ще не були оброблені, включені до IEEE.

У IEC 60099-4 визначено дві основні конструкції: "Конструкція А" та "Конструкція Б". Вони відрізняються щодо відносного обсягу газового каналу, який проходить в поздовжньому напрямку обмежувача (рис. 2.7).

Обмежувачі "Конструкції А" мають газовий канал., що проходить вздовж усієї довжини обмежувача та займає $\geq 50 \%$ внутрішнього об'єму, віль-

ного від внутрішніх активних елементів. Зазвичай, ці обмежувачі мають порцелянові кожухи або полімерні кожухи з порожнистим композитним ізолятором і кільцевим газовим проміжком, тобто. обмежувачі трубної конструкції [11].

Обмежувачі "Конструкції Б" мають суцільну конструкцію без газового об'єму або мають заповнення газового об'єму $< 50\%$ внутрішнього об'єму, вільного від внутрішніх активних елементів. Зазвичай це обмежувачі з монолітними полімерними кожухами без окремих пристроїв скидання тиску, тобто. відкритої, решіткової, закритої або обгорнутої конструкції.

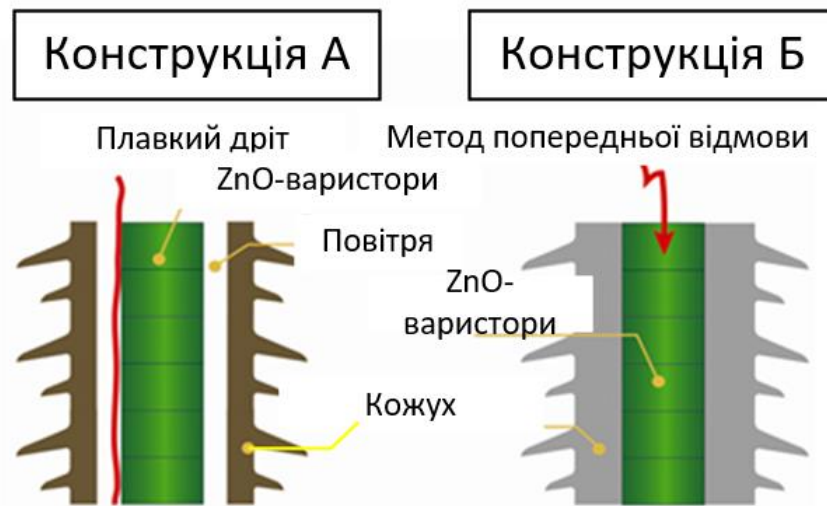


Рисунок 2.7 – Порівняння режимів ініціації короткого замикання.

Порядок проведення випробовування. Дія обмежувача перенапруги під час короткого замикання багато в чому визначається статистичним ризиком і ймовірністю. Тому одне випробування, як би воно не було вдалим чи невдалим, не може гарантувати повторюваність у сервісі. З цієї причини компанія АВВ проводить велику кількість послідовних випробувань короткого замикання в процесі розробки конструкції, перш ніж ухвалити остаточне рішення. Таким чином, збільшується ймовірність очікуваної запроєктованої функції об-

межувача. Важливою частиною цього є проведення розглянутих як вирішальними випробувань на найдовшому кожусі блоку, так як перевірка більш коротких кожухів не відповідає робочим характеристикам повної довжини.

Протягом кількох років велися жваві дискусії про те, чи повинен випробувальний струм короткого замикання ініціюватися плавким проводом, що проходить вздовж поверхні блоку ZnO, плавким проводом, що проходить через просвердлений отвір у центрі блоків ZnO, або бути викликаний попередньою відмовою (електричним навантаженням). Випробування короткого замикання ґрунтується на найгірших сценаріях протікання процесу, але в той же час перевірка повинна представляти найбільш релевантний сценарій відмови без пред'явлення занадто жорстких вимог до конструкції.

Для обмежувачів "Конструкції А" зазвичай прийнято, що плавкий провід, що знаходиться в газовому об'ємі вздовж усієї поверхні стовпця блоків ZnO, є найбільш релевантним сценарієм відмови. Для цієї конструкції, ймовірність відмови, ініційованої в газовому просторі, значно більша, ніж у блоках ZnO і, таким чином, ця конструкція головним чином повинна довести свою здатність справлятися з ударною хвилею, викликаною внутрішньою дугою.

Для обмежувачів з полімерним кожухом "Конструкції Б", більш висока ймовірність відмови ініціюється в блоках ZnO і плавкий дріт вздовж поверхні блоків не використовується, оскільки він не може представляти найгірший сценарій для цієї конструкції (занадто простий). Таке випробування може призвести до помилкового прийняття в експлуатацію обмежувачів. небезпечні з точки зору процесу короткого замикання. З іншого боку, плавкий дріт, пропущений через просвердлені в блоках отвори, навпаки, є занадто жорстким сценарієм для обмежувачів такого типу, оскільки надзвичайно неправдоподібно, що блоки ZnO полімерного обмежувача, що відмовив, такої конструкції будуть пробиті. Тому необхідно рекомендувати метод попередньої відмови обмежувачів з полімерними кожухами "Конструкції Б", який серед інших альтернатив є компромісом, що дозволяє провести одночасно жорсткі та реалістичні випробування та автоматично досліджувати можливі впливи однорідності

матеріалу. Однорідний блок ZnO може термічно відмовити ближче до центру, порівняно з неоднорідним блоком, який потенційно слабший ближче до краю. Незалежно від цього, метод електричного навантаження (попередньої відмови) зазнає робочих параметрів більш реально для цього типу обмежувачів.

Вимоги до організації самої схеми випробування також чітко описані та специфіковані в ІЕС 60099-4 таким чином, щоб створити найгірший сценарій для конкретної конструкції.

Випробувальні струми.

Раніше було прийнято, що обмежувач, який відповідає певному класу струму та враховує здатність скидання тиску, автоматично відповідає всім класам нижчого струму. Згодом було з'ясовано, що це відбувається не завжди і конструкція може мати сірі зони, якщо вона перевірена тільки на максимально можливу амплітуду струму. Дуже довгі блоки можуть ефективно перемикає дугу назовні при надзвичайно великих струмах, але зазнати повної невдачі при слабких струмах. Для виключення цієї невизначеності ІЕС 60099-4 вимагає перевірку обмежувачів не тільки найбільшим струмом короткого замикання (100%), але й струмами, що мають величини приблизно 25% і 50% від максимального значення.

Крім того, має бути проведене випробування слабким струмом.

Стандарт ІЕС, далі детально описує вимоги до тривалості та амплітуди струму, що прикладається при випробуванні конкретної конструкції. Зокрема, вимоги допускають перевірку обмежувачів на повній довжині, що є істотним до створення реального процесу короткого замикання.

Оцінка випробування. Основними критеріями допуску є відсутність сильного руйнування та мимовільне згасання відкритих мов полум'я протягом 2 хвилин. Однак на практиці вважалося утопічним мати такі жорсткі вимоги, як, наприклад, "залишити повну цілісність" або "не повинна бути зруйнована жодна частина" для критерію допуску обмежувачів перенапруги, що проходять випробування коротким замиканням. Це призвело б до вибракування обмежувачів як не пройшли випробування, навіть якщо всі інші характеристики були

позитивні. Тому ІЕС 60099-4 допускає можливість випадання назовні керамічних фрагментів (ZnO блоки або фарфор) вагою до 60 грам, вентиляційних кришок та м'яких частин полімерних матеріалів.

Можна уявити, що м'які полімерні матеріали взагалі не можуть завдати або завдати дуже незначної шкоди у разі їх викиду. Компанія АВВ, проте, налягає дуже критично до прийняття стандарту, в якому дозволяється викид твердого матеріалу вагою 60 грамів на значну від обмежувача відстань.

Факт того, що фрагменти твердих матеріалів, таких як порцеляна або блоки ZnO, які вилетіли за випробувальну огорожу, не мають будь-якої небезпечної кінетичної енергії, розглядається як компроміс.

Недоліком є те, що не зазначено, які фрагменти можуть бути викинуті під час випробування. Керамічний уламок вагою 60 грам, що летить з великою швидкістю, може завдати серйозної шкоди або травми.

Тому необхідно зробити відмінність у поняттях "не роздроблений" і "не вибухаючий". Таким чином, навіть якщо фрагменти важать менше 60 грам, додатковим критерієм має бути те, що відсутній вибух, що супроводжується сильним викидом твердого матеріалу за межі зони випробування. Наприклад, якщо обмежувач вибухнув з такою силою, що керамічний матеріал повністю перетворився на уламки, що важать менше 60 грам, які розлетілися за межі зони випробування, не може бути зарахований, з чистою совістю, як вдало пройшов випробування.

Лічильники імпульсів напруги знаходяться в тому ж контурі.

У системах з напругою, що перевищує приблизно 100 кВ, лічильники імпульсів напруги часто встановлені послідовно з ОПН. Основною причиною для застосування лічильників імпульсів напруги в сучасних обмежувачах типу ZnO без іскрового проміжку, є перевірка чи не піддається окрема лінії передачі або фаза більшій кількості перенапруг, що призводить до спрацьовування обмежувача - наприклад, грозові імпульси на лінії. Якщо це так, то поряд з установкою обмежувачів застосування превентивних лічильників - вимірювання можуть бути гарантовані для обмеження кількості імпульсів напруги. Раптові

збільшення в розрахунковому діапазоні може також вказувати на внутрішню відмову обмежувача, у цьому випадку обмежувач повинен бути перевірений додатково. Лічильники імпульсів напруги іноді доповнені обладнанням для вимірювання струмів витоку (загальних та/або резистивних), з метою моніторингу та діагностики стану обмежувача та його фізичної придатності для подальшого обслуговування.

Природно, ці лічильники імпульсів напруги/монітори повинні бути з'єднані послідовно з ОПН для того, щоб вони могли заміряти ті ж імпульси напруги і струми, які відчують обмежувачі. Це означає, що вони повинні піддаватися впливу тих самих струмів короткого замикання у разі перевантаження обмежувача. Проте, в даний час у стандартах немає жодних вимог до будь-якого виду перевірки або випробування здатності цього пристрою безпечно витримувати навантаження, яке може отримати обмежувач. У зв'язку з тим, що неможливо передбачити точний момент виникнення навантаження, постає питання: наскільки вони безпечні під час проходження струмів короткого замикання?

Для того, щоб генерувати необхідний вхід до реєстраційного контуру з проходженням струму імпульсу напруги в землю, одна з двох базових конструкцій використана в лічильниках наявних на ринку в даний час:

- вбудовані блоки ZnO та/або іскровий проміжок. У деяких випадках вони також захищають секцію вимірювання від ушкоджень під час дії великих струмів.
- вбудований трансформатор імпульсного струму. У деяких випадках для вимірювання струму витоку входить окремий трансформатор струму нульового потоку.

Перша конструкція з блоком ZnO або іскровим проміжком має перевагу завдяки своїй простоті та низьким витратам. Вони, однак, мають недолік, що виражається у додаванні додаткової залишкової напруги в захисний контур, сформований обмежувачем і лічильником, що призводить до збільшення напруги захищеного об'єкта на кожному імпульсі напруги. Але загалом, з точки

зору безпеки короткого замикання, ризик вибухової відмови в момент проходження великого короткого замикання при генерації напруги через блоки ZnO та або іскровий проміжок, може бути надмірний, що веде до відмови та наступної внутрішньої дуги. Результатом може бути швидке викидання внутрішніх компонентів, незважаючи на наявність пристрою, що має деяку додаткову функцію скидання тиску. Здебільшого ці пристрої повністю герметизовані та укладені в капсули для уникнення попадання вологи, що може знизити безпеку їхньої роботи під час короткого замикання.

У другій конструкції використовується тороїдний трансформатор струму, з'єднаний з первинною прохідною обмоткою. Тому не генерується ніякої напруги, ні при проходженні струму імпульсу напруги, ні при короткому повному замиканні в момент перевантаження обмежувача. І тут ризик руйнівного вибуху відсутня.

Асортимент лічильників імпульсів напруги/моніторів EXCOUNT компанії АББ цієї конструкції та їхня виключна безпека при короткому замиканні була добре верифікована при випробуванні.

Застосування кондукторів відповідного розміру EXCOUNT гарантує, що вони також залишаються цілими, що користувач повинен брати до уваги при виборі з'єднувальних кабелів.

Незважаючи на конструкцію, деяка форма контролю короткого замикання має проводитися для верифікації роботи лічильників. Відсутність такої вимоги в стандартах вважається серйозним недоліком, оскільки вибух лічильника може завдати такої ж шкоди, як вибух обмежувача.

Фактично, беручи до уваги те, що лічильники імпульсів напруги монтуються на рівні очей і, найчастіше, оператор, який знімає показання лічильника, повинен стояти безпосередньо перед лічильником, це може зробити його, з точки зору травм персоналу, навіть більш небезпечним, ніж обмежувач.

Одним помітним винятком є монітор імпульсів напруги компанії АББ типу EXCOUNT-II який, маючи безпечну конструкцію, дозволяє знімати показання за допомогою пристрою дистанційного контролю.

Здавалося б, відрегульовані лічильники можуть бути призначені для того ж навантаження, що і обмежувач, що вони повинні бути перевірені таким же чином і за такими ж прийнятними критеріями, наприклад, перевірка послідовності за допомогою різних струмів короткого замикання використовуваних і відповідних за критеріями, щоб не було сильного руйнування або вибуху і язики відкритого полум'я повинні мимоволі загасати протягом 2 хвилин.

2.4 Вибір стратегії та алгоритму діагностування опорно-стрижньових ізоляторів

Порівняння ефективних методів контролю ОПН наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Порівняння ефективних методів контролю ОПН в експлуатації

Метод	Переваги	Недоліки
Метод фуксинової проби під тиском	Дозволяє визначати критерії відбракування по дефекту ВМП для інших методів контролю	руйнівний метод – не можливий без руйнування ізолятора
Ультразвукова структурометрія та дефектометрія (УЗНК)	Низька умовна ймовірність невиявленої несправності при контролі; дозволяють виявити майже всі можливі види дефектів ОПН (в т.ч. ВМП); дозволяють спрогнозувати можливість утворення зон розтріскування в подальшій експлуатації; дозволяють контролювати ОПН в будь-яких багатоеlementних конструкціях	вимагає відключення обладнання; велика трудомісткість; виконується експлуатаційний контроль тільки небезпечних перерізів та армованих частин ізолятора, а не всього об'єму фарфорової частини (не дозволяє виявити виробничі або/та експлуатаційні дефекти, якщо вони розташовані в середній частині ізолятора) не дозволяє виявити дефекти, пов'язані з механічною втомою фарфору

продовження табл.2.1

Контроль засобами ІЧТ (метод термографії)	висока продуктивність (не трудомісткий); не потребує відключення; дозволяє виявити внутрішні дефекти, пов'язані з ВМП; не має обмежень по класу напруги обладнання	відносно висока умовна ймовірність невиявленої несправності; вимагає зволоженого стану дефектних внутрішніх об'ємів ОПН; ефективний лише при незначних конвекційних потоках повітря; майже не дозволяє виявити дефекти ОМАП, ЗАСП, МД, пов'язані з механічною втомою фарфору
Візуальний контроль зовнішнього стану	не трудомісткий; не потребує відключення обладнання; не потребує матеріальних затрат	дозволяє виявляти тільки явно видимі тріщини ОПН, не дозволяє виявити внутрішні дефекти; має найбільшу умовну ймовірність невиявленої несправності при контролі
Вібро-акустичний метод	не трудомісткий; порівняно з контролем зовнішнього стану; дозволяє виявити внутрішні дефекти; не потребує спеціальної кваліфікації персоналу для випробувань	низька умовна ймовірність невиявленої несправності при контролі; дозволяє виявити тільки розвинені дефекти великих розмірів; вимагає відключення обладнання; непридатність методу для випробувань ізоляторів в багатoelementних конструкціях та в конструкціях без вільного доступу до нижнього фланцю
Метод акустичної емісії (АЕ)	Низька умовна ймовірність невиявленої несправності при контролі; дозволяє виявити дефекти пов'язані з механічною втомою фарфору; менш трудомісткий порівняно з УЗНК; не потребує спеціальної кваліфікації персоналу, який виконує випробування	обмеження використання методу типом та класом напруги обладнання; вимагає відключення обладнання; необхідність багаторазового випробувального навантаження; метод значно менш продуктивний ніж метод термографії та візуальний контроль зовнішнього стану; навантаження на верхню частину ізолятора малоінформативне; дефект ВМП виявляється лише при значному ушкодженні фарфору; виявляються тільки нестабільні тріщини, які зростають при механічному навантаженні.

Алгоритм діагностування ОПН наведений на рис. 2.7

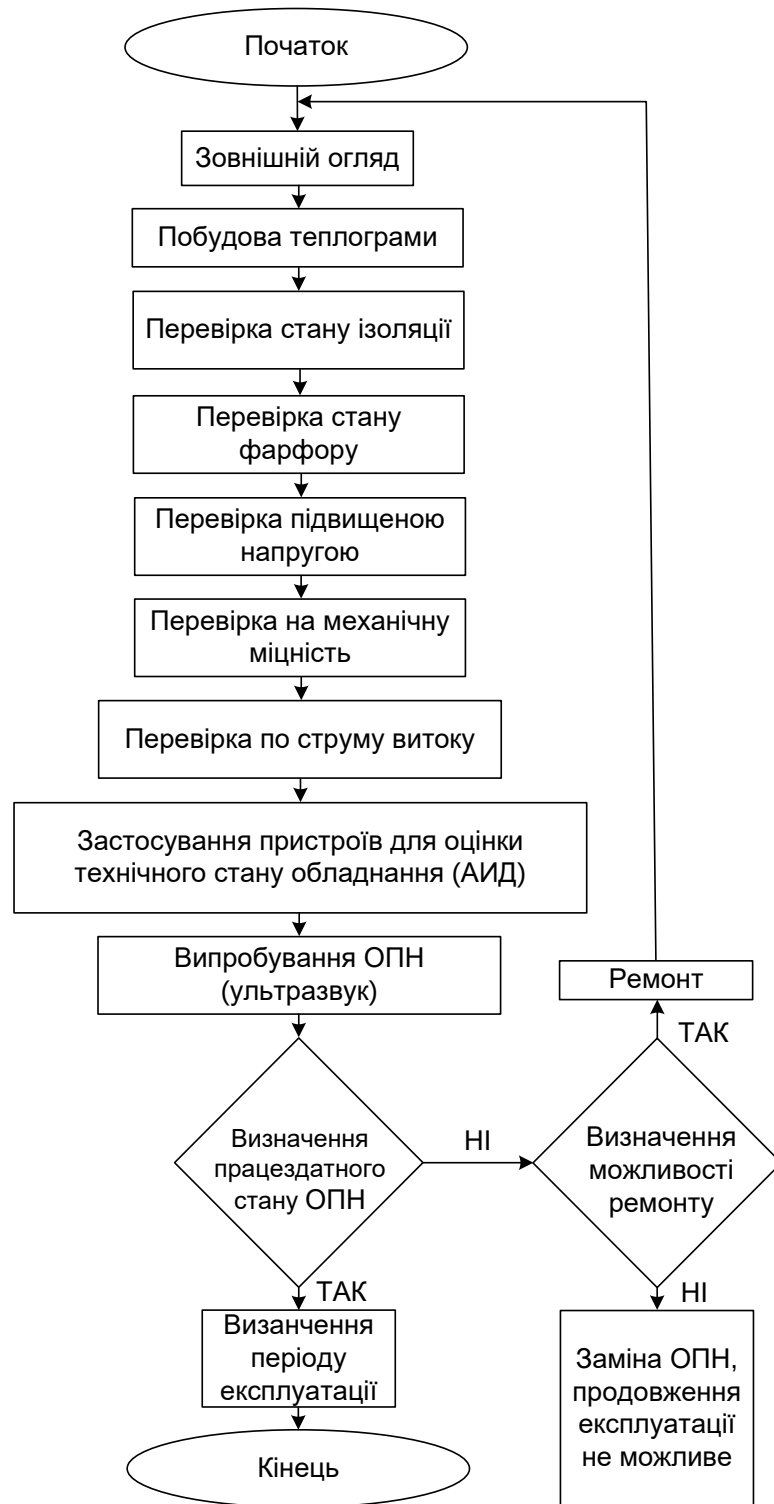


Рисунок 2.7 – Алгоритм діагностування ОПН

Висновки до другого розділу

ОПН, що мають значний внутрішній об'єм газу, повинні бути забезпечені швидкодіючими та ефективними пристроями скидання тиску. Обмежу-

вачі з полімерними кожухами суцільної конструкції не можуть бути надто відкритими або занадто закритими, тому що їх вибух може резульовуватися в сильному розсіюванні уламків на великій території. Так само супутнє обладнання, таке як лічильники імпульсів напруги/монітори, не повинні проектуватися з нижчим рівнем безпеки, ніж обмежувачі з якими вони з'єднані.

З ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ОПН

3.1 Ймовірнісна математична модель коефіцієнта залишкового ресурсу ОПН

До показників надійності можна віднести: інтенсивність відмов λ , 1/рік; період нормальної експлуатації, T_0 , років (годин); імовірність безвідмовної роботи [11]:

- за час t (годин)

-

$$P(t) = 1 - \lambda \cdot t; \quad (3.1)$$

- за час T_0 (годин)

-

$$P(T_0) = 1 - \lambda_0 \cdot T_0. \quad (3.2)$$

Найбільше допустиме значення інтенсивності відмов λ_0 та найменше допустиме значення періоду нормальної експлуатації регламентуються нормативно-технічною документацією. Державним стандартом на ізолятори з висковольтного фарфору передбачаються наступні основні показники надійності:

1. Для ізоляторів, випущених до 1972 року:

$$T_0 = 20 \text{ років} = 175200 \text{ годин}; \lambda_0 = 1 \times 10^{-6} \text{ 1/годину};$$

$$\lambda_0 \times T_0 = 0,1752 \Rightarrow P(T_0) = 0,8248 \text{ відносних одиниць.}$$

2. Для ізоляторів, випущених в 1973 – 1979 роках:

$$T_0 = 25 \text{ років} = 219000 \text{ годин}; \lambda_0 = 5 \times 10^{-7} \text{ 1/годину};$$

$$\lambda_0 \times T_0 = 0,1095 \Rightarrow P(T_0) = 0,8905 \text{ відносних одиниць}$$

3. Для ізоляторів, випущених в 1980 – 2003 роках:

$$T_0 = 25 \text{ років} = 219000 \text{ годин}; \lambda_0 = 1 \times 10^{-7} \text{ 1/годину};$$

$$\lambda_0 \times T_0 = 0,0219 \Rightarrow P(T_0) = 0,9781 \text{ відносних одиниць.}$$

4. Для опорних ізоляторів, які були виготовлені після 01.01.2003 р. відповідно до ГОСТ Р 52034-2003 [21]:

$$T_0 = 30 \text{ років} = 263000 \text{ годин; } \lambda_0 = 1 \times 10^{-8} \text{ 1/годину;}$$

$$\lambda_0 \times T_0 = 0,0026 \Rightarrow P(T_0) = 0,9974 \text{ відносних одиниць.}$$

Безпосередню оцінку показників надійності дає статистика відмов в експлуатації, причому для отримання достовірних висновків необхідно:

- вести роздільну статистику по «класах» виробів (до ізоляторів одного «класу» відносяться вироби одного типу, виробника та періоду випуску);
- вести облік, як конкретних дефектів фарфору, які стали причиною виходу з ладу ізоляторів в експлуатації, так і обставин, що спричинили відмову.

До технологічних ознак якості ОПН можна віднести: відсутність у виробках неприпустимих (критичних) дефектів типу порушень цілісності матеріалу та відповідність фізико-хімічних, фізико-механічних властивостей та структури матеріалу нормативним вимогам.

На основі отриманих результатів діагностування приймається одне з рішень:

1) продовжити експлуатацію ОПН відповідно до планової системи технічного обслуговування й ремонтів. При цьому контрольовані параметри повинні відповідати вимогам нормативних документів;

2) продовжити експлуатацію ОПН з більш частими перевірками технічного стану (відхилення від норми деяких параметрів вимагають оцінки швидкості розвитку процесу на відносно тривалому відрізку часу, який може виявитись меншим за встановлений відповідними нормативами);

3) перейти до наступного рівня дослідження для визначення складу й обсягу ремонту ОПН, оскільки є дефекти, що не дозволяють продовжити експлуатацію без їх усунення шляхом ремонту ОПН з його розбиранням.

Спеціалізована діагностика й ревізія здійснюються персоналом спеціалізованих ремонтних підрозділів або організацій. Цей рівень має велике значення для оцінки вірогідності результатів попередніх досліджень, їхнього вдосконалювання й поповнення БД і БЗ. У той же час ефективність цих заходів залежить від раніше отриманих результатів. За результатами діагностування приймається рішення про можливість та доцільність подальшої експлуатації ОПН [12].

Тому:

1. Інформаційна підтримка діагностування ОПН скорочує час, що витрачається на дослідження технічного стану, ревізію й ремонт ОПН, а також на виявлення та локалізацію можливих несправностей і дефектів, що розвиваються в ОПН.

2. Для підвищення ефективності інформаційної підтримки потрібно застосовувати нові методи подання й обробки необхідної різномірної інформації.

3. Використання математичного апарату нечітких чисел дозволяє ідентично представляти й обробляти різні види кількісної і якісної, неповної, невизначеної, суперечливої й іншої інформації.

4. Інформаційні системи підтримки сприяють зменшенню обсягу робіт по діагностиці ОПН, пов'язаних з відключенням ОПН, підвищенню надійності й економічності електропостачання. У рамках проведених досліджень вдається поряд із спрощенням оцінки впливу дефектів упорядкувати рішення проблем, що виникають у життєвому циклі ОПН, який ще не перейшов у категорію непрацездатних.

Системи контролю ОПН, що існують на даний час використовують у своїх розрахунках відомі математичні моделі ОПН, однак ці моделі мають досить суттєвий недолік – вони не можуть визначити і врахувати функціональні зв'язки між багатьма з їх контрольованих діагностичних параметрів одночасно, в одній математичній моделі. Задача ускладнюється в умовах неповноти початкових даних, коли частина параметрів відома на момент розрахунків, на-

приклад, з причин необхідності проведення додаткових досліджень. Для встановлення таких зв'язків дуже конструктивною технологією є нечітке моделювання.

Таблиця 3.1 – Причини виведення з експлуатації ОПН

Діагностичний параметр		Кількість ре- монтованих ОПН, що мають по- занормоване значення діагностич- ного параме- тра	
Позна- чення	Назва параметра	штук	%
$U_{опор}$	опорна напруга	3	12
$U_{зал}$	залишкова напруга	3	12
Q	уявний частковий розряд	2	8
$I_{вит}$	Розподіл струмів витоку по модулях ОПН	2	8
Z	Ізоляція високовольт- ного виводу відносно за- земленного фланця	2	8
ΔT	різниця температур між окремими модулями ба- гатомодульного ОПН	7	28
$I_{провід}$	Струм провідності через ізоляцію	6	24

Таке моделювання дозволяє одержувати більш достовірні результати в порівнянні з результатами роботи існуючих систем діагностування.

Проаналізувавши дані таблиці 3.1 та літературні джерела розроблено схему, яка показує залежний, або не залежний вплив діагностичних параметрів на коефіцієнт загального залишкового ресурсу ОПН (рис.3.1).

Якщо в результаті аналізу даних, наданих представниками цеху ремонтів ОПН, з літературних джерел чи за даними служби ізоляції і т.п. буде зібрана інформація щодо деяких причини виведення в ремонт ОПН. В таблиці 3.1 під контрольованим діагностичним параметром розуміємо параметр, відхилення якого від норми сприяло виведенню ОПН в ремонт або враховулось при виведенні ОПН в ремонт.

На рис. 3.1 не показано взаємний вплив одного контрольованого діагностичного параметра на інший, а лише показано у взаємозалежний чи не у залежний спосіб ці параметри впливають на коефіцієнт загального залишкового ресурсу ОПН.

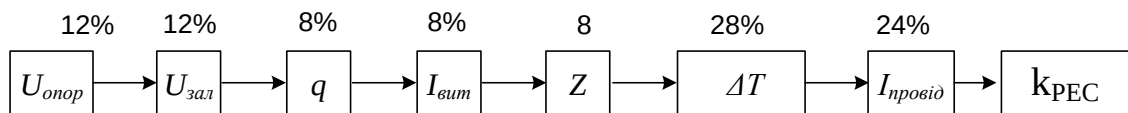


Рисунок 3.1 – Структурна схема моделі коефіцієнта залишкового ресурсу ОПН

На рис. 3.1 над параметром показана відсоткова кількість виявлених дефектних ОПН за даним параметром, яка наведена у відсотках від загальної кількості ОПН.

На рис.3.1 послідовно позначені блоки з параметрами, відхилення яких від норми сприяло виведенню ОПН в ремонт,.

З метою отримання узагальненого показника залишкового ресурсу ОПН, який вираховує значення всіх діагностичних параметрів та їх вплив, пропонується від відомих значень діагностичних параметрів перейти до відповідних

цим значенням коефіцієнтів залишкових ресурсів по кожному діагностичному параметру. Ці коефіцієнти визначаються у відносних одиницях за виразом (3.3) і тому характеризують сумарне напруцювання ОПН від моменту контролю його технічного стану до переходу у граничний стан коли діагностичний параметр досягає граничного значення, тобто залишковий технічний ресурс [12,13]. Коефіцієнт залишкового ресурсу k_i по i -му діагностичному параметру:

$$k_{i1} = \left| \frac{x_{i1,гран} - x_{i1,ном}}{x_{i1,гран} - x_{i1,поч}} \right|, \quad (3.3)$$

де: $x_{i1,гран}$ – граничне нормативне значення i_1 -го діагностичного параметра, $x_{i1,ном}$ – значення i_1 -го діагностичного параметра на момент контролю, $x_{i1,поч}$ – початкове значення i_1 -го діагностичного параметра (на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту), i_1 – діагностичний параметр.

Так для ОПН на клас напруги 750 кВ параметр $tg(\delta)$ паперово – масляної ізоляції після ремонту дорівнював 0,25 а на момент контролю дорівнював 0,35, граничне значення цього параметру – 1,0 [6]. Тому коефіцієнт залишкового ресурсу $k_{tg(\delta)}$ по діагностичному параметру $tg(\delta)$ визначається за виразом (3.4):

$$k_{tg(\delta)} = \left| \frac{1.0 - 0.35}{1.0 - 0.25} \right| = 0.867 (в.о.), \quad (3.4)$$

У відповідності до рис. 3.1 коефіцієнт загального залишкового ресурсу ОПН визначається за виразом (3.5):

$$k_{заг.рес} = k_{U_{опр}}^{P_{U_{опр}}} \cdot k_{U_{зал}}^{P_{U_{зал}}} \cdot k_q^{P_q} \cdot k_{I_{вум}}^{P_{I_{вум}}} \cdot k_Z^{P_Z} \cdot k_{\Delta T}^{P_{\Delta T}} \cdot k_{I_{пров}}^{P_{I_{пров}}}. \quad (3.5)$$

де: $k_{U_{opr}}^{P_{U_{opr}}}, k_{U_{зал}}^{P_{U_{зал}}}, k_q^{P_q}, k_{I_{вит}}^{P_{I_{вит}}}, k_Z^{P_Z}, k_{\Delta T}^{P_{\Delta T}}, k_{I_{пров}}^{P_{I_{пров}}}$ – відомі на момент розрахунку

значення коефіцієнтів залишкового ресурсу відповідно по параметрам – ймовірності відхилень значень діагностичних параметрів від граничних допустимих нормованих значень з урахуванням загальної кількості відхилень всіх діагностичних параметрах;

Так, у відповідності до табл.5.2: $P_{U_{opr}}=0,12$ в.о., $P_{U_{зал}}=0,12$ в.о., $P_q=0,08$ в.о., $P_{I_{вит}}=0,08$ в.о., $P_Z=0,08$ в.о., $P_{\Delta T}=0,28$ в.о., $P_{I_{пров}}=0,24$ в.о.

3.2 Нейро-нечітка модель ОПН

Теорія нечітких множин була створена досить давно, проте активно застосовуватись вона почала в наш час. Її перевагами є те, що вона оперує нечіткими вхідними даними, зв'язки між якими заздалегідь невідомі, не завжди відома їх точність і правдивість [11].

Формування початкових навчальних даних було проведено наступним чином. Для одинадцяти вхідних параметрів моделі, які змінювались випадковим чином від 0 до 1, був визначений коефіцієнт загального залишкового ресурсу ОПН (за виразом 5.9). Для зручності застосування даних і спрощення поточних розрахунків у системі комп'ютерної математики MATLAB вхідні параметри моделі приводились до відносних одиниць їх відхилення від норми. Одинадцять вхідних параметрів моделі – коефіцієнти залишкового ресурсу. ОПН, які відповідають одинадцяти діагностичним параметрам. Кількість параметрів може бути більшою.

Повна таблиця містить 3012 розглянутих варіантів сполучень діагностичних параметрів та відповідних їм значень загального залишкового ресурсу ОПН. Далі у 83 рядках цієї таблиці були скореговані значення коефіцієнту залишкового ресурсу ОПН шляхом опитування незалежних експертів: кваліфікованих представників цеху ремонту ОПН служби ремонтів високовольтного обладнання, служби підстанцій, служби ізоляції, діагностування та грозозахисту, монтажною та інших організацій.

$$\begin{aligned}
& \text{ЯКЩО } k_{U_{opr}} \in \text{"нормальне"} \text{ } T A k_{U_{зал}} \in \text{"нормальне"} \text{ } T A k_q \in \text{"нормальне"} \text{ } T A k_{I_{вит}} \in \text{"нормальне"} \\
& \quad T A k_z \in \text{"нормальне"} \text{ } T A k_{\Delta T} \in \text{"нормальне"} \text{ } T A k_{I_{пров}} \in \text{"нормальне"} \text{ } T O \\
& \quad k_{\text{заг.зал.рес}} = 0.099 \cdot k_{U_{opr}} + 0.111 k_{U_{зал}} + 0.234 \cdot k_q + 0.056 \cdot k_{I_{вит}} + 0.015 \cdot k_z + 0.185 \cdot k_{\Delta T} + 0.298 \cdot k_{I_{пров}} + 0.002. \\
& \text{ЯКЩО } k_{U_{opr}} \in \text{"незначне відхилення"} \text{ } T A k_{U_{зал}} \in \text{"незначне відхилення"} \text{ } T A k_q \in \text{"незначне відхилення"} \\
& \quad T A k_{I_{вит}} \in \text{"незначне відхилення"} \text{ } T A k_z \in \text{"незначне відхилення"} \text{ } T A k_{\Delta T} \in \text{"незначне відхилення"} \\
& \quad T A k_{I_{пров}} \in \text{"незначне відхилення"} \text{ } T O \\
& \quad k_{\text{заг.зал.рес}} = 0.09 \cdot k_{U_{opr}} + 0.11 k_{U_{зал}} + 0.134 \cdot k_q + 0.156 \cdot k_{I_{вит}} + 0.215 \cdot k_z + 0.085 \cdot k_{\Delta T} + 0.198 \cdot k_{I_{пров}} + 0.102. \\
& \text{ЯКЩО } k_{U_{opr}} \in \text{"передаварійне"} \text{ } T A k_{U_{зал}} \in \text{"передаварійне"} \text{ } T A k_q \in \text{"передаварійне"} \\
& \quad T A k_{I_{вит}} \in \text{"передаварійне"} \text{ } T A k_z \in \text{"передаварійне"} \text{ } T A k_{\Delta T} \in \text{"передаварійне"} \\
& \quad T A k_{I_{пров}} \in \text{"передаварійне"} \text{ } T O \\
& \quad k_{\text{заг.зал.рес}} = 0.199 \cdot k_{U_{opr}} + 0.101 k_{U_{зал}} + 0.034 \cdot k_q + 0.056 \cdot k_{I_{вит}} + 0.215 \cdot k_z + 0.085 \cdot k_{\Delta T} + 0.199 \cdot k_{I_{пров}} + 0.01. \\
& \text{ЯКЩО } k_{U_{opr}} \in \text{"аварійне"} \text{ } T A k_{U_{зал}} \in \text{"аварійне"} \text{ } T A k_q \in \text{"аварійне"} \\
& \quad T A k_{I_{вит}} \in \text{"аварійне"} \text{ } T A k_z \in \text{"аварійне"} \text{ } T A k_{\Delta T} \in \text{"аварійне"} \\
& \quad T A k_{I_{пров}} \in \text{"аварійне"} \text{ } T O \\
& \quad k_{\text{заг.зал.рес}} = 0.225 \cdot k_{U_{opr}} + 0.111 k_{U_{зал}} + 0.275 \cdot k_q + 0.099 \cdot k_{I_{вит}} + 0.115 \cdot k_z + 0.185 \cdot k_{\Delta T} + 0.298 \cdot k_{I_{пров}} + 0.02.
\end{aligned}$$

Фрагмент результатів розрахунків приведений в табл. 3.2.

Відкориговані дані були використані в якості навчальних даних при моделюванні в системі комп'ютерної математики MATLAB. Для цього використувався пакет Fuzzy Logic Toolbox. За допомогою ANFIS редактора з використанням гібридного навчального алгоритму та використовуючи алгоритм нечіткого висновку Сугено [3] була отримана нейро-нечітка модель коефіцієнту залишкового ресурсу ОПН (з використанням методу субкластеризації). Структура отриманої нейро-мережі показана на рис.3.2.

Для кожної вхідної змінної нейрон-моделі використовувались по чотири лінгвіністичні терми з Гаусовими функціями належності вираз (3.6) [3]:

$$k_{\text{рес.}il} = f(x_{il}; \sigma_{il}; c_{il}) = e^{\frac{-(x_{il} - c_{il})^2}{2 \cdot \sigma_{il}^2}}, \quad (3.6)$$

де: σ_{il} та c_{il} – числові параметри, σ_{il}^2 – в теорії ймовірності називається дисперсією розподілу [14], а другий параметр c_{il} – математичним очікуванням, i_l – вхідний параметр нейро-нечіткої моделі, який відповідає діагностичному параметру, x_{il} – значення i_l -го вхідного параметра моделі.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків коефіцієнта залишкового ресурсу ОПН

Діагностичні параметри							Коефіцієнт залишкового ресурсу ОПН
$k_{U_{опр}}$, в.о.	$k_{U_{зал}}$, в.о.	k_q , в.о.	$k_{I_{вип}}$, в.о.	k_Z , в.о.	$k_{\Delta T}$, в.о.	$k_{I_{пров}}$, в.о.	
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	1	1	1	1	1	0
...	...	...	...	...	...	...	...
0,928	0,932	0,934	0,923	0,9128	0,939	0,928	0,928063
1	1	1	1	1	0,08	0,92	0,65345
1	1	1	1	1	0,07	0,93	0,6448454
1	1	1	1	1	1	0,09	0,264454
1	1	1	1	1	1	0,08	0,248545
...	...	...	...	...	...	...	...
1	1	1	1	1	1	1	0,924454
1	1	1	1	1	1	1	0,927545
1	1	1	1	1	1	1	0,93454
...	...	...	...	...	...	...	...
0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,9405454
0,6	0,5	0,8	0,4	0,7	0,5	0,8	0,6141545
0,2	0,5	0,3	0,4	0,7	0,5	0,5	0,446545
0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,7	0,5	0,4929454

Це такі терми, як: «нормальні» значення діагностичного параметру, «незначні відхилення» значення діагностичного параметру, «передаварійні» значення діагностичного параметру, «аварійні» значення діагностичного параметру.

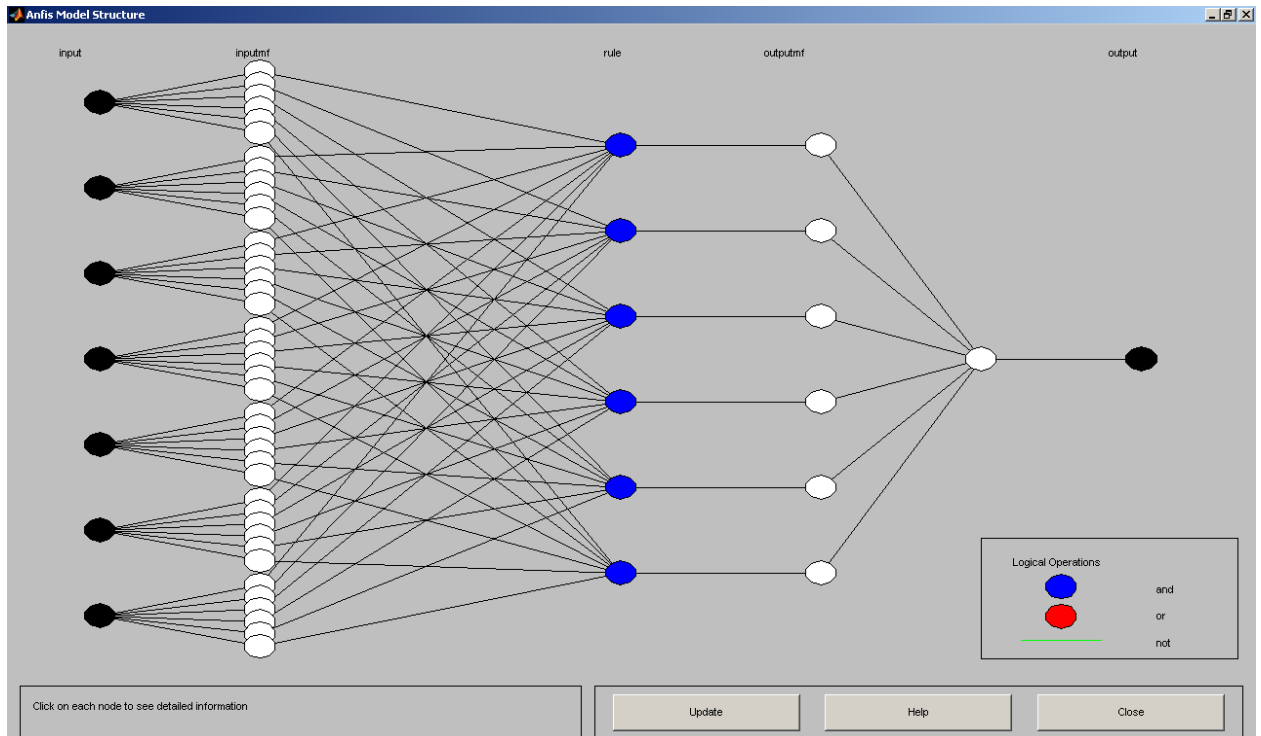


Рисунок 3.2 – Структура ANFIS-мережі ОПН

Для знаходження значення коефіцієнта загального залишкового ресурсу використовуємо нечітку нелінійну авторегресійну модель коефіцієнта загально залишкового ресурсу ОПН. Ця модель встановлює нечітке нелінійне перетворення між значеннями коефіцієнтів залишкового ресурсу по діагностичним параметрам та загальним коефіцієнтом залишкового ресурсу ОПН (3.7).

$$k_{\text{заг.зал.рес}} = (U_{\text{опор}}, U_{\text{зал}}, Q, I_{\text{вит}}, Z \Delta T, I_{\text{прovid}}) \quad (3.7)$$

де: F – нечітке функціональне перетворення.

Модель загального залишкового ресурсу ОПН реалізована у вигляді ANFIS-мережі з використанням прикладних програм Fuzzy Logic Toolbox системи MathLab.

Призначення шарів цієї мережі.

Шар 1 визначає нечіткі терми діагностичних параметрів. Кожний вузол цього шару є адаптивним з функцією належності $\mu_{A_i}(x)$ де x – вхід вузла i . A_i –

лінгвіністична нечітка змінна яка асоціюється з цим вузлом.

З таблиці 3.3 вводимо параметри функцій належності (рис. 3.3), які дозволяють обчислити коефіцієнт загального залишкового ресурсу ОПН.

Таблиця 3.3 – Параметри висновків правил нейро-нечіткої моделі ОПН

Номер правила, j_2	$a_{j2,1}$	$a_{j2,2}$	$a_{j2,3}$	$a_{j2,4}$	$a_{j2,5}$	$a_{j2,6}$	$a_{j2,7}$	$a_{j2,8}$	c_{j2}
1	0.09943	.009774	.009213	0.09896	0.09896	0.09896	0.09896	0.09896	0.09896
2	16.66	-16.36	0.01225	0.09188	0.09188	0.09188	0.09188	0.09188	0.09188
3	-31.97	33.52	0.09652	0.06312	0.06312	0.06312	0.06312	0.06312	$1.74 \cdot 10^{-8}$
4	136.5	-0.6256	-1.699	0.1138	0.1138	0.1138	0.1138	0.1138	0.1138

З рис. 3.2 видно, що під час формування структури нейро-нечіткої моделі ОПН було задано одинадцять входів та один вихід цієї моделі. Кожний з одинадцяти входів має по чотири терми. Тобто кожна множина можливих значень входних параметрів моделі умовно поділена на чотири підмножини: «нормальні» значення входного параметру, «незначні відхилення» значення входного параметру, «передаварійні» значення входного параметру, «аварійні» значення входного параметру. Степінь належності кожного значення входного параметру до відповідної цьому параметру множини значень визначається дзвоноподібною функцією належності. Модель призначена для знаходження числового значення коефіцієнта загального залишкового ресурсу ОПН, тому має один вихід. Це числове значення знаходиться шляхом рішення лінійного

рівняння, яке описує залежність коефіцієнта загального залишкового ресурсу ОПН від вхідних параметрів.

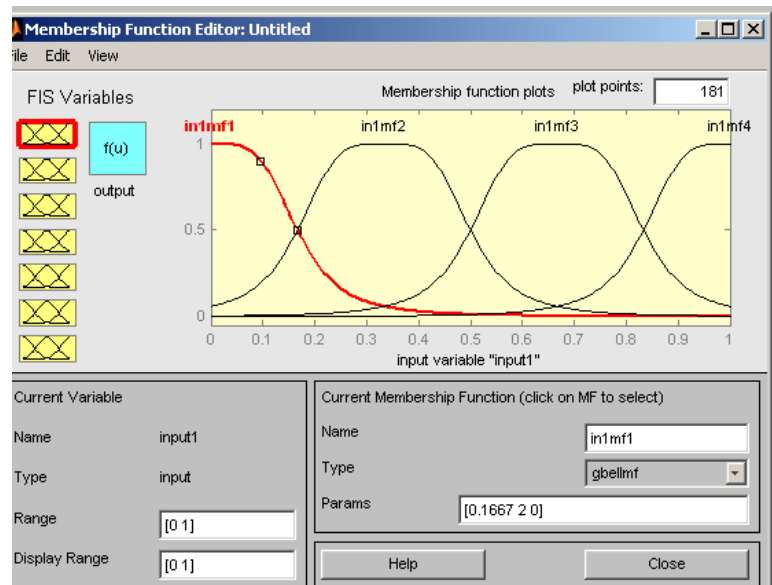


Рисунок 3.3 – ОПНедення параметрів функції належності

На рис. 3.4 показані: діапазон можливих значень коефіцієнта загального залишкового ресурсу ОПН $k_{заг.рес} = 0 \div 1$ в.о., параметри рівняння висновку першого правила: 0.0994, 0.0097, 0.0093, 0.096, 0.098, 0.096, 0.098.

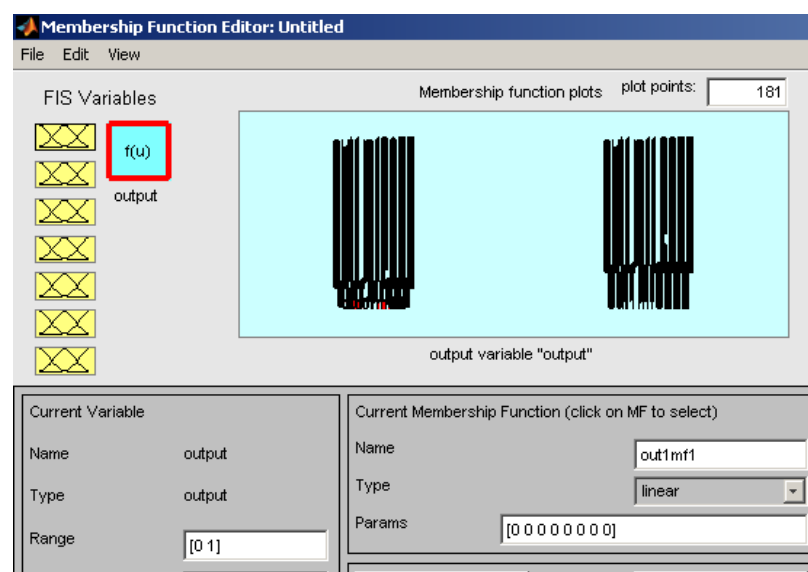


Рисунок 3.4 – Введення параметрів рівняння висновку правила

З файлу з розширенням .dat вводимо вибірку навчальних даних (рис.3.5).

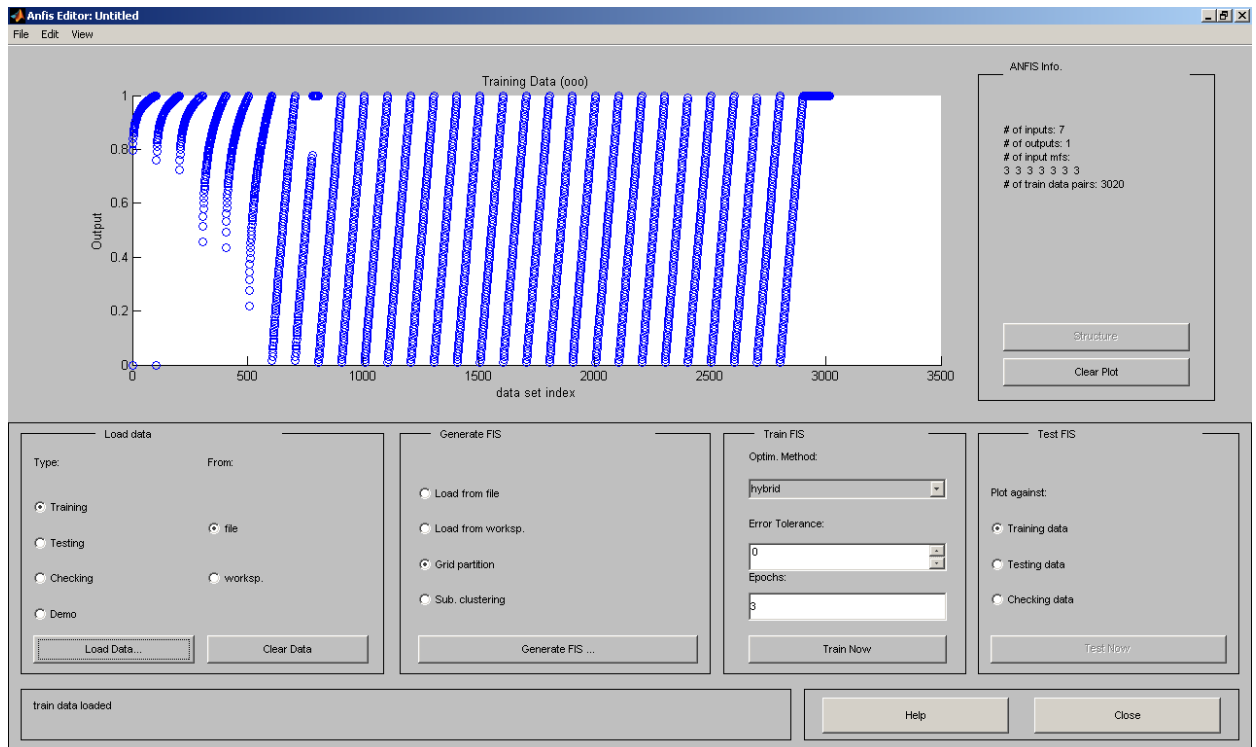


Рисунок 3.5 – Введення вибірки навчальних даних з файлу

Далі навчаємо модель. Навчання передбачає 30 епох. Результати навчання показані на рис. 3.6. Ознакою припинення навчання є незмінність середньоквадратичної похибки навчання. На рис. 3.6 показано, що середньоквадратична похибка навчання, яке тривало 30 епох, дорівнює 0.011 в.о.

Отримана нейро-нечітка модель дозволяє визначити значення коефіцієнта загального залишкового ресурсу високовольтного ОПН в залежності від значень вхідних параметрів – коефіцієнтів залишкових ресурсів по кожному з контрольованих діагностичних параметрів. Так: якщо кожний з коефіцієнтів залишкового ресурсу діагностичних параметрів буде дорівнювати 0,5 в.о., то коефіцієнт загального залишкового ресурсу дорівнює 0,64 в.о. (рис.3.6), якщо кожний з коефіцієнтів залишкового ресурсу діагностичних параметрів буде дорівнювати 1 в.о., то коефіцієнт загального залишкового ресурсу (з похибкою 1%) дорівнює 1,01 в.о. (рис.3.7), якщо кожний з коефіцієнтів залишкового ресурсу діагностичних параметрів буде дорівнювати 0 в.о., то коефіцієнт

загального залишкового ресурсу (з похибкою $3,16 \cdot 10^{-80}\%$) дорівнює 0 в.о.
(рис.3.8 - 3.9),

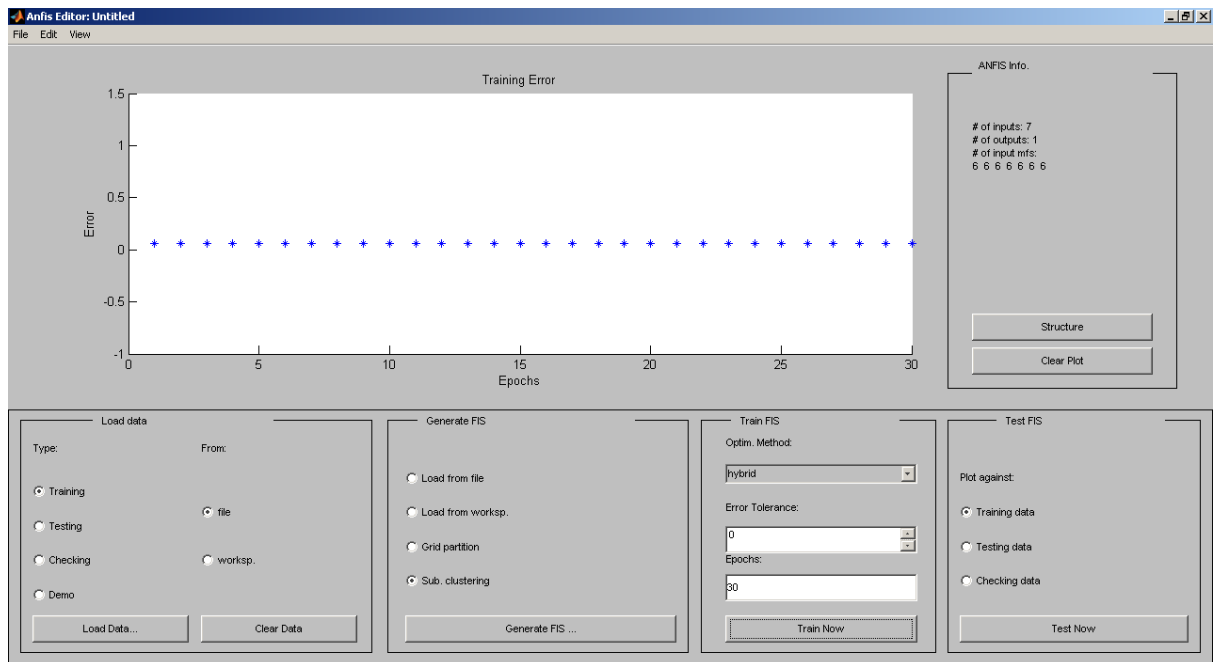


Рисунок 3.6 – Навчання моделі ОПН

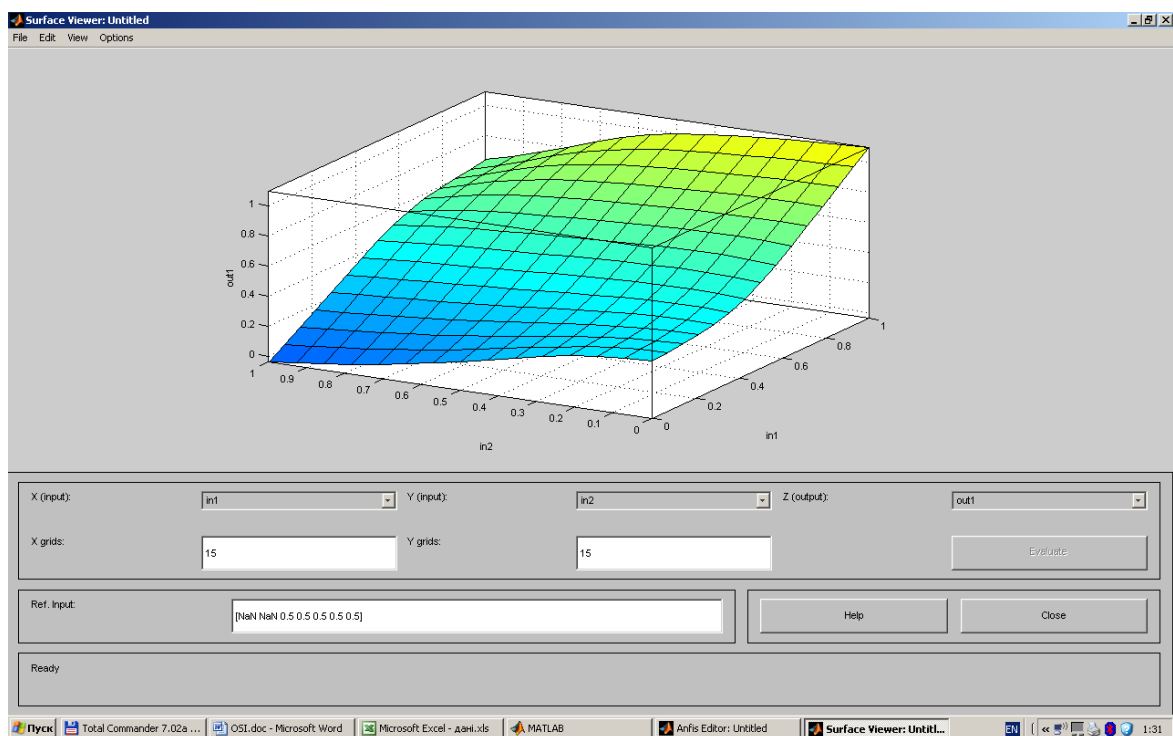


Рисунок 3.7 – Залежність коефіцієнта залишкового ресурсу ОПН від параметрів

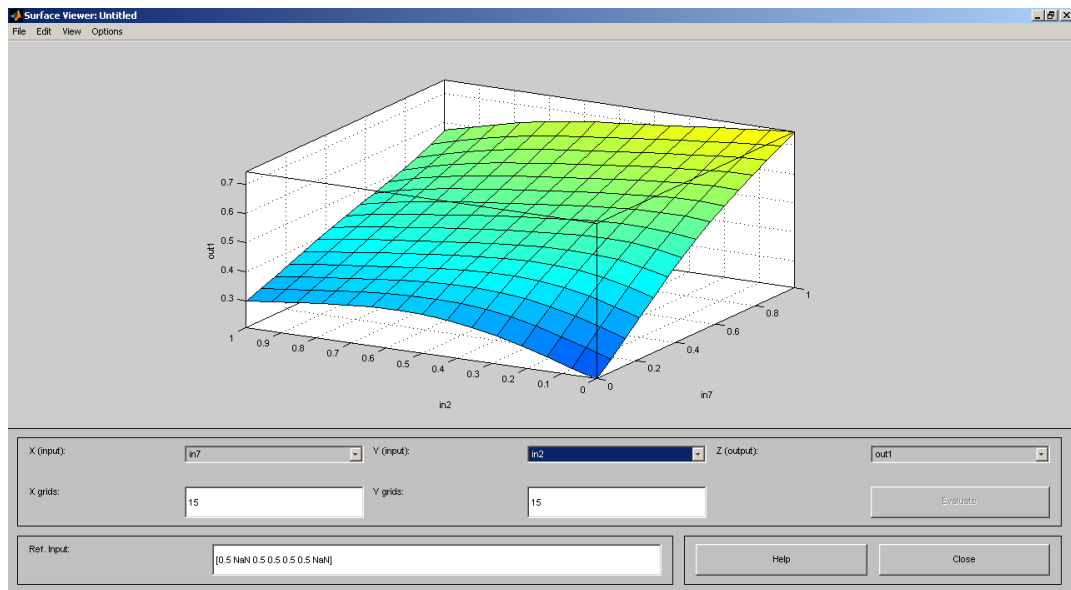


Рисунок 3.8 – Залежність коефіцієнта залишкового ресурсу ОПН від k_{T3} та k_{T1}

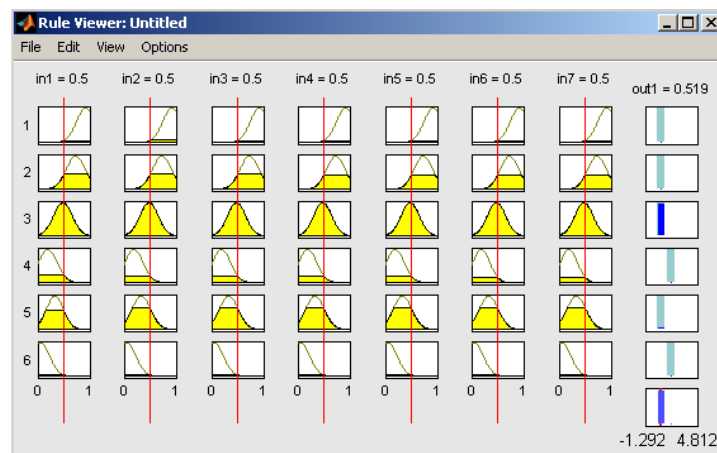


Рисунок 3.9 – Правила і функції належності

Висновок до третього розділу

Отримана нейро-нечітка модель дозволяє визначити значення коефіцієнта загального залишкового ресурсу ОПН в залежності від значень вхідних параметрів – коефіцієнтів залишкових ресурсів по кожному з контрольованих діагностичних параметрів. Результати прогнозування можна використовувати у програмному забезпеченні сучасних мікропроцесорних пристроїв діагностування ОПН.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В цьому розділі розглянуті заходи та засоби з охорони праці під час експлуатації обмежувачів перенапруг 750 кВ. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний персонал, що обслуговує технологічне обладнання 750 кВ [14, 15].

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); електричні та магнітні поля промислової частоти (50 Гц), виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо); іонізація повітря.

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, в основному аерозолі фіброгенної дії (органічний і нетоксичний пил).

Фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: сенсорні та емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

До проведення випробувань слід допускати лише тих працівників, які пройшли спеціальну підготовку та перевірку знань. Керівник робіт, крім того, повинен пройти стажування протягом місяця під контролем досвідченого працівника. Працівники, допущені до проведення випробувань, повинні мати запис у посвідченні про перевірку знань.

Випробування електрообладнання, в тому числі і за межами електроустановки (в недіючих електроустановках, на складах, території підприємства, в полі тощо), що проводяться з використанням пересувної випробної установки, слід виконувати за окремим нарядом на випробування. Наряд на випробування видає працівник, який прийняв рішення про необхідність їх проведення та має право видавати наряд.

Допуск до випробувань в електроустановках здійснює оперативний або оперативно-виробничий працівник, який має такі права. У недіючих електроустановках, на складах, території підприємств, у полі тощо допуск до випробувань здійснює керівник робіт за нарядом. Проведення випробувань під час монтажу або ремонту обумовлюється у рядку "Доручається" наряду. В електроустановках до 1000 В випробування допускається виконувати за розпорядженням.

Випробування проводить бригада, в якій керівник робіт повинен мати групу IV, член бригади - групу III, а працівник, виставлений для охорони, - групу II. До складу бригади, яка проводить випробування, можуть входити виробничі працівники, які залучаються до виконання підготовчих робіт та нагляду за обладнанням. До складу бригади, яка виконує ремонт або монтаж обладнання, для проведення випробувань можна залучати працівників налагоджувальних організацій або електролабораторії. В цьому разі керівництво випробуваннями здійснює керівник робіт або, за його вказівкою, працівник з групою IV зі складу працівників лабораторії чи налагоджувальної організації.

Допуск за нарядами, виданими на проведення випробувань та підготовчих робіт до них, слід здійснювати тільки після того, як інші бригади, які працюють на обладнанні, що підлягає випробуванню, виведені з робочих місць та їхні наряди здані допускатчу. В електроустановках без місцевих оперативних працівників керівнику робіт дозволяється після виведення бригади залишити наряд у себе, оформивши перерву в роботі.

Випробну установку, обладнання, що випробовується, та з'єднувальні

проводи між ними слід обгородити щитами, канатами тощо з плакатами "Випробування. небезпечно для життя!", повернутими назовні. Огородження встановлюють працівники, які проводять випробування.

У разі необхідності слід виставити охорону зі складу членів бригади з групою II для запобігання наближенню сторонніх осіб до випробної установки, з'єднувальних проводів та до обладнання, що випробовується. Члени бригади, які виставлені для охорони, повинні знаходитись зовні огороження та вважати, що випробне обладнання перебуває під напругою. Залишити пост ці працівники можуть тільки з дозволу керівника робіт.

У разі проведення випробувань кабельної лінії, коли протилежний її кінець розташований в замкненій камері, у відсіку КРУ або в приміщенні, на дверях чи огороженні слід вивішувати плакат "Випробування. небезпечно для життя!". Якщо двері і огороження не замкнені або випробуванню підлягає кабель з розробленими на трасі жилами, то крім плакатів, що вивішуються біля дверей, огорожень та розроблених жил кабелю, слід виставити охорону з включених до складу бригади працівників з групою II або чергових працівників.

Якщо випробна установка та обладнання, що випробовується, розміщені у різних приміщеннях або на різних ділянках РУ, дозволяється перебування членів бригади з групою III, які проводять спостереження за станом ізоляції, окремо від керівника робіт. Ці члени бригади повинні розташовуватись поза межами огороження та отримати перед початком випробувань від керівника робіт відповідний інструктаж.

Масові випробування ізоляційних матеріалів та виробів (засобів захисту, різноманітних ізоляційних деталей тощо), які проводяться поза електроустановками понад 1000 В із застосуванням стаціонарних випробних установок, у яких струмовідні частини закриті суцільними та сітчастими огороженнями, а двері мають блокування, може виконувати одноособово один працівник з групою III відповідно до місцевої інструкції.

Під час складання випробної схеми перш за все необхідно виконати захисне і робоче заземлення випробної установки і, якщо потрібно, захисне робоче заземлення корпусу обладнання, що випробовується. Забороняється проводити випробування пересувною установкою із заземлюванням її корпусу тільки за допомогою робочої схеми.

Корпус пересувної випробної установки необхідно заземлити окремим заземлювальним провідником з гнучкого мідного проводу з перерізом не менше ніж 10 кв.мм. Перед випробуванням слід перевірити надійність заземлення корпусу. Перед приєднанням випробної установки до мережі напругою 380/220 В вивід високої напруги необхідно заземлити. Переріз мідного проводу, що використовується у випробних схемах для заземлювання, не повинен бути менше ніж 4 кв.мм.

Приєднання випробної установки до мережі напругою 380/220 В слід здійснювати через комутаційний апарат з видимим розривом кола або через штепсельну вилку, що розміщені на місці керування установкою. Комутаційний апарат або слід обладнати утримуючим пристроєм, або між рухомими та нерухомими контактами апарата слід встановити ізолювальну накладку. Провід або кабель, який використовують для живлення випробної установки від мережі напругою 380/220 В, необхідно захистити запобіжниками або автоматичним вимикачем, які встановлені у цій мережі. Підключати до мережі пересувну випробну установку повинні представники організації, що експлуатує цю мережу.

З'єднувальний провід між обладнанням, що випробовується, і випробною установкою спочатку необхідно приєднати до її заземленого виводу високої напруги. Цей провід слід закріплювати так, щоб запобігти його наближенню (підхльостуванню) до струмовідних частин, що перебувають під напругою, на відстань, меншу за зазначену в цих Правилах. Приєднувати та від'єднувати з'єднувальний провід до фази (полюса) обладнання, що випробовується, до жили кабелю дозволяється за вказівкою керівника випробувань тільки після їх заземлення, яке слід виконати або увімкненням заземлювальних ножів, або

встановленням переносних заземлень, у тому числі спеціальних лабораторних з ізолювальними рукоятками.

У випробних установках робоче місце оператора необхідно відділити від частини установки напругою понад 1000 В. Двері в частину установки напругою понад 1000 В необхідно обладнати блокуванням, яка забезпечує знімання напруги з випробної схеми у разі відчинення дверей та унеможлиблює подання напруги при відчинених дверях. На робочому місці оператора необхідно виконати окремі світлові сигналізації про подання напруги до і понад 1000 В. Пересувні випробні установки, крім того, необхідно оснастити зовнішньою світловою сигналізацією, яка автоматично вмикається у разі наявності напруги на виводі випробної установки.

4.1.2 Електробезпека

Основні технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

- 1) виконання технічних заходів під час підготовки робочого місця,
- 2) застосування під час обслуговування електроустановок електрозахисних засобів.

1) Під час підготовки робочого місця для роботи, яка вимагає знімання напруги, слід виконати у зазначеній послідовності такі технічні заходи:

- провести необхідні вимкнення і вжити заходів щодо запобігання помилковому або самочинному вмиканню комутаційної апаратури;
- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційної апаратури. За необхідності струмовідні частини слід огорожувати;
- приєднати до "землі" переносні заземлення;
- перевірити відсутність напруги на струмовідних частинах, на які слід встановити заземлення. Якщо переносні заземлення планується ставити поблизу струмовідних частин, що не входять в зону робочого місця, то їх огороження слід встановити до перевірки відсутності напруги та заземлення;

- встановити заземлення (увімкнути заземлювальні ножі, приєднати до вимкнених струмовідних частин переносні заземлення) безпосередньо після перевірки відсутності напруги та вивісити плакати "Заземлено" на приводах вимикальних комутаційних апаратів;

- огородити, у разі необхідності, робочі місця або струмовідні частини, що залишились під напругою, і вивісити на огороженнях плакати безпеки. Залежно від місцевих умов струмовідні частини огорожують до або після їх заземлення.

2) Під час обслуговування електроустановок повинні застосовуватись засоби захисту від ураження електричним струмом, від впливу електричного поля, а також засоби індивідуального та колективного захисту. Ізолювальні електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові. До основних ізолювальних електрозахисних засобів, які повинні застосовуватись в електроустановках напругою понад 1000 В, відносяться: ізолювальні штанги всіх видів, ізолювальні кліщі, електровимірювальні кліщі, показчики напруги, пристрої для створення безпечних умов праці під час проведення випробувань і вимірювань в електроустановках (показчики напруги для фазування, показчики пошкодження кабелів та ін.); до додаткових – діелектричні рукавички, діелектричне взуття, діелектричні килими, ізолювальні підставки, ізолювальні накладки, ізолювальні ковпаки, штанги для перенесення та вирівнювання потенціалу, сигналізатори напруги, захисні огороження (щити, ширми), переносні заземлення, плакати та знаки безпеки та інші засоби захисту.

До засобів захисту від дії електричних полів напруженістю, що перевищує допустиму для перебування працівників в електричному полі без засобів захисту, згідно з вимогами нормативних документів, належать індивідуальні екранувальні комплекти, які необхідно застосовувати під час виконання робіт на потенціалі проводу ПЛ і на потенціалі землі у ВРУ і на ПЛ, а також знімні і переносні екранувальні пристрої та плакати безпеки.

Крім наведених вище засобів захисту в електроустановках повинні застосовуватись такі ЗІЗ: захисні каски – для захисту голови; захисні окуляри і

щитки – для захисту очей і обличчя; протигази і респіратори – для захисту органів дихання; рукавиці – для захисту рук; запобіжні пояси та страхувальні канати.

Вибір необхідних електрозахисних засобів, засобів захисту від дії ЕП, а також ЗІЗ регламентується [16], а також іншими відповідними нормативними документами (НД) з урахуванням місцевих умов. У разі застосування основних ізолювальних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб, крім випадків, що обумовлені в цих Правилах. У разі необхідності захисту працівника від напруги кроку дозволяється використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів захисту.

За безпечність конструкції, правильність вибору матеріалів, якість виготовлення, а також за відповідність засобів захисту чинним в Україні нормативним документам повинні нести відповідальність керівники підприємств, установ, організацій (незалежно від форми власності), що виготовляють ці засоби захисту, орган, який видав сертифікат на виробництво та на реалізацію захисних засобів, в тому числі і засобів захисту зарубіжного виробництва.

Керівники підприємств, установ, організацій та інші посадові особи несуть персональну відповідальність за виконання вимог цих Правил у межах покладених на них завдань та функціональних обов'язків згідно з чинним законодавством. Працівників, які обслуговують електроустановки, необхідно забезпечити усіма необхідними засобами захисту, навчити правилам користування цими засобами і зобов'язати застосовувати їх для створення безпечних умов праці.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [17] встановлюють допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Таблиця 4.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [18]: температури внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони та зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні параметрів мікроклімату не повинні значно відрізнятися (не більше ніж на 2°C за діапазон норм); якщо температура поверхонь вище або нижче температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1м; для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

4.2.2 Виробниче освітлення

Раціональне освітлення – один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормують мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні. Рівень аварійного освітлення складає 15% освітленості основної роботи. Приміщення забезпечене природним освітленням в денний проміжок часу, але вечері постає проблема в штучному освітленні.

Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [19] розряд зорової роботи IV, підрозряд «б». Нормовані значення освітленості наведені в таблиці 5.2.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 4,5 метра.

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

Таблиця 4.2 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Характер зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	б	малий	світлий	500	200	1,5	0,9

4.2.3 Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки» [20]. Нормовані значення виробничого шуму наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними час-								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні. Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту – «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація». Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

4.2.4 Виробнича вібрація

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У приміщеннях може бути присутня вібрація типу – За [21]. Тобто техно-

логічна вібрація, яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання. Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, являються вентиляційне обладнання, транспорт тощо, які відносяться до типу загальної вібрації.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційовані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$	ДБ	$\text{м}\cdot\text{с}^{-2}\cdot 10^{-2}$	ДБ
Загальна	Z_o, Y_o, X_o	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: динамічне погашення вібрації – приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи; зміна конструктивних елементів машин; застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

4.2.5 Фактори умов праці

Психофізіологічні фактори визначаються відповідно до Гігієнічної класифікації праці [14]. Робота електротехнічного персоналу потребує значних фізичних зусиль за важкістю та напруженістю праці.

1. Клас умов праці за показниками важкості праці – допустимий (середньої важкості): загальні енергозатрати організму (кГ/м) – 291-348; зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кГ/(Вт): при регіональному навантаженні (для чоловіків) – 18000; при

загальному навантаженні (за участю м'язів рук, тулуба, ніг) – до 61600; маса вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну, кг – до 35 кг; стереотипні робочі рухи: при локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук)- до 60000; при регіональному навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до 30000; статичне навантаження (кг/с): двома руками (чоловіки) – до 140000; за участю м'язів тулуба та ніг – до 200 000; робоча поза: періодичне перебування в незручній та/або фіксованій позі від 25% до 50% часу зміни; перебування у вимушеній позі (навпочіпки, на колінах тощо) від 10 % до 25 % часу зміни; перебування в позі «стоячи» від 60% до 80% часу зміни; нахил тулуба: вимушені нахили протягом зміни – 101-300 разів; переміщення у просторі (переходи через виконання технологічного процесу) – по горизонталі більше 12, вертикалі – 8 км.

2. Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: зміст роботи – рішення простих альтернативних завдань згідно з інструкцією; сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій; розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, виконання завдання та його перевірка; характер виконуваної роботи – робота за встановленим графіком з можливим його коригуванням під час діяльності.

Сенсорні навантаження: зосередження (% за зміну) – 51-75; щільність сигналів (звукові за 1 год) – 151-300; навантаження на голосовий апарат – сумарна кількість годин, з напруженням голосового апарату (протягом тижня) – від 16 до 20.

Навантаження на зоровий аналізатор: розмір об'єкта розрізнення (при відстані від очей працівника до об'єкта розрізнення не більше 0,5 м), мм, % часу зміни – 5,0–1,1 мм більше 50% часу; 1,0–0,3 мм до 50 % часу; менше 0,3 мм до 25% часу.

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) – розбірливість слів та сигналів від 90% до 70%.

Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за виконання окремих елементів завдання; ступінь ризику для власного життя – вірогідний; ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці: тривалість робочого дня – 8 год; змінність роботи – двозмінна (без нічної зміни).

Безпека в надзвичайних ситуаціях та дослідження стійкості роботи системи описано в додлатку Д.

Висновки до четвертого розділу

У розділі розроблено заходи та засоби з охорони праці під час експлуатації обмежувачів перенапруг 750 кВ. Досліджено небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний персонал, що обслуговує технологічне обладнання 750 кВ .

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Техніко-економічне обґрунтування

Поняття економічної ефективності передбачає коректне співставлення понесених витрат з отриманими результатами.

Основною метою економічних розрахунків в будь-яких інвестиційних проектах є обґрунтування рішень на основі оцінки їх економічної ефективності.

Світова економічна практика давно виробила методи оцінки інвестиційних проектів, які враховують всі можливі умови реалізації і тому мають властивість універсальності, що і дозволяє використовувати їх для визначення ефективності майже будь-якого проекту з достатньою точністю.

Впровадження методів діагностики ОПН потребують економічного обґрунтування. Припускається, що здійснення рішень вимагає певних капіталовкладень і тому завдання зводиться до оцінки їх ефективності. Для цього необхідна якісна і кількісна оцінка великої кількості факторів і показників. Наприклад, яких витрат потребує капіталовкладення, які доходи воно принесе, як ці витрати і доходи будуть розподілятися в часі.

Порівняння різних варіантів інвестиційних проектів і вибір кращого з них здійснюється з використанням системи показників, що враховують фактор часу за допомогою дисконтування, базовими з яких вважається:

- чиста приведена вартість (Net Present Value (NPV)) ,
- термін окупності ($T_{ок}$) .

Дисконтні методи засновані на приведенні різночасових платежів і надходжень до деякого фіксованого моменту часу. Інструментом приведення є норма дисконту (E), що називається також належним рівнем (нормою) прибутковості, ставкою порівняння або «бар'єрною» ставкою. Вона уособлює собою прийнятний для інвестора відсоток повернення на інвестований капітал за певний період нарахування.

5.2 Визначення капіталовкладень

У випадках власних не залучених фінансових ресурсів орієнтиром необхідної норми прибутковості є середній банківський відсоток за банківськими вкладками з урахуванням їх оподаткування, який на даний час складає 18%.

Чиста приведена вартість відноситься до показників ефекту капіталовкладень і характеризує чистий абсолютний результат або віддачу від реалізації інвестиційного проекту, і визначається за формулою (5.1). Від'ємне значення приведення вартості свідчить про неефективність інвестиційного проекту при даній нормі дисконту. Прийнятність того чи іншого варіанту деякого інвестиційного проекту оцінюється за величиною $NPV > 0$, чим він більше, тим відповідний варіант кращий.

$$NPV = -K + \sum_t^T \frac{D_t}{(1+E)^t}, \quad (5.1)$$

де K - капітальні затрати (інвестиційні затрати), D_t - чистий результат (ефект) від вкладень на t -му кроці, E - норма дисконту.

Термін окупності, без врахування фактору часу при однаковому покроковому надходженні прибутку і розмірі інвестицій K рівний

$$T_{ок} = \frac{K}{D_t}. \quad (5.2)$$

В загальному випадку, під терміном окупності розуміють мінімальну три-

валість періоду, протягом якого сума дисконтованих чистих надходжень покриває суму приведених інвестиційних затрат і в подальшому чистий інтегральних ефект залишається не від'ємним.

Економічна ефективність системи технічної діагностики ОПН визначається зниженням експлуатаційних витрат на ремонти і зниженням збитку від аварійних відмов обладнання, вартістю заміни чи ремонту пошкодженого обладнання, а також зменшенням збитку від недовідпуску електроенергії.

Розглянемо розрахунок економічної ефективності вдосконалення системи оперативного діагностування на прикладі частини енергосистеми, в якій експлуатуються ОПН 750 кВ. Тоді формулу (5.1) можна записати

$$NPV = -K_{обл} + \sum_t \frac{(\Delta Z_t - Z_{Д})}{(1 + E)^t}, \quad (5.3)$$

де $K_{обл}$ - капітальні затрати на придбання обладнання для діагностики;

ΔZ_t - зменшення річних затрат на трансформатори (технічне обслуговування і ремонти);

$Z_{Д}$ - річні затрати на проведення діагностування;

T - період часу, що розглядається.

Капітальні затрати на придбання обладнання для діагностування приведено в таблиці 5.1.

Затрати на поточні і розширені поточні ремонти 32 одиниць ОПН, пошкоджених в наслідок військових дій на підстанціях та ВРП електричних станцій, чи ОПН що були поряд з пошкодженими силовим трансформатором або реактором під час ракетного обстрілу наведено у таблиці 5.2.

Таблиця 5.1 – Капітальні затрати на придбання обладнання для діагностування

Вид обладнання	Вартість обладнання, тис. грн..
Бездротовий реєстратор спрацювання з індикацією струму витоку серії "ОПН-ВІЗОР-II"	23
Обладнання для проведення тепловізійного обстеження	350
Мегомметр для вимірювання опору ізоляції ізольованої основи або ізольованого виводу ОПН повинно здійснюватись	16
Разом	389

Таблиця 5.2 – Затрати на проведення ремонтів на спеціалізованому підприємстві, тис. грн.

Вид ремонту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поточні	95	98	38	105	103	97	97	100	106	105
Розширені поточні	500	480	460	420	520	550	175	600	560	500
Разом	1115	578	1898	6925	1123	1147	2272	700	666	605
Разом	17029									

Значні затрати на 4 році викликані аварією, що призвела до необхідності заміни одного ОПН.

Очікується, що запропоноване вдосконалення системи діагностики дозволить зменшити кількість ремонтів а також уникнути раптових тяжких аварій, Очікувані затрати на ремонти в наступні 10 років подані у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Затрати на проведення ремонтів, тис. грн.

Вид ремонту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поточні	99	94	87	90	91	96	93	94	93	91
Розширені поточні	850	490	730	800	980	920	920	960	600	540
Разом	949	299	817	890	1071	1016	1013	1054	693	631
Разом	8523									

Отже, очікуване зменшення затрат на ремонти ОПН 750 кВ , порівняно з купівлею нових ОПН (в тому числі на обладнання, комплектуючі вироби та матеріали) за 10 розглянутих випадків обстрілів складає

$$\Delta Z = 17029 - 8523 = 8506 \text{ (тис. грн.)}. \quad (5.4)$$

Тому за звітний період в середньому (10-кількість обстрілів та руйнувань ОПН) зменшення витрат складе

$$\Delta Z_t = \frac{8506}{10} = 850.6 \text{ (тис. грн.)}. \quad (5.5)$$

Затрати на проведення діагностування одного випадку пошкодженого ОПН - 26 тис. грн, а у досліджуваних 10 випадках обстрілів – 1011 тис, грн.

Підставимо відомі значення у формулу (5.3):

$$NPV = -39300000 + \sum_{t=1}^{10} \frac{(8506000 - 82000)}{(1 + 0,18)^t} = 70296610 \text{ (грн.)}. \quad (5.6)$$

Термін окупності за формулою (5.2):

$$T_{ок} = \frac{70296610}{8506000 - 82000} = \frac{70296610}{275200} \approx 8 \text{ (років)}. \quad (5.7)$$

Висновок до п'ятого розділу

Розрахунки довели економічну ефективність впровадження системи оперативного діагностування ОПН . Впровадження методів та засобів оперативного визначення технічного стану вимірювальних трансформаторів струму в темпі процесу оптимального диспетчерського керування нормальними режимами ЕЕС дає можливість оперативному персоналу враховувати можливості цього обладнання і зменшити його пошкоджуваність.

ВИСНОВКИ

Розглянуто питання вдосконалення системи діагностики ОПН

1 Результати досліджень конструктивних особливостей металооксидних ОПН свідчать про можливість їх надійної експлуатації

2 До діагностичних параметрів ОПН відносяться: опір ізоляції, кількість спрацьовувань, струм витоку, температура корпусу ОПН та апаратних виводів та інші

3 Під час експлуатації пошкоджуються в ОПН: ізоляція, апаратні виводи, деталі заземлення, прилади контролю струму витоку та кількості спрацьовувань ОПН.

4 Розроблений алгоритм діагностування передбачає: зовнішній огляд, побудову теплограм, контроль ізоляції, контроль стану фарфору, випробовування підвищеною напругою, контроль струму витоку,

5 Розроблена математична модель коефіцієнта залишкового ресурсу ОПН.

6 Вибрано діагностичне обладнання для діагностування ОПН: ОПН-ВІ-ЗОР-II LR, тепловізор -20°C до 450°C Wintact WT322, мегаомметр ЕС0202/2Г

7 Вибрано діагностичне обладнання для діагностування ОПН: ОПН-ВІ-ЗОР-II LR

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Surge Arrester Buyers Guide Edition 7.3[Text]. // ABB Group. – 2015. – с. 36–44.
2. Бржезицький В. О. Апроксимація вольт-амперної характеристики обмежувачів перенапруг нелінійних / В. О. Бржезицький, І. М. Маслюченко, Є. О. Троценко, Д. С. Крисенко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2015. – Т. 21, № 1. – С. 169-176.
3. Ткачук А.Г., Безвесільна О.М., Добржанський О.О., Гуменюк А. А., Янчук В.М. Налаштування польотного контролера та системи стабілізації безпілотного літального апарата із системою моніторингу наявності пожеж та витоків теплової енергії на борту. Науковий журнал «Технічна інженерія». 2022. №2 (90). С. 59-69. DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2022-2\(90\)-59-69](https://doi.org/10.26642/ten-2022-2(90)-59-69)
4. Гобрей Р. М. Технічне діагностування, випробування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагоджування і в 130 експлуатації. Частина 2./ Р. М. Гобрей, Г. В. Шинкаренко та ін. – К.: «ДП НТУКЦ», 2011. – 1008 с.
5. Гобрей Р.М. Технічне діагностування, випробування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагоджування і в експлуатації / Р.М. Гобрей Р.М., Рубаненко О.Є, Таловерья В.Л. – Київ: Науково-технічний учбово-консультаційний центр Ас-ЕлЕнерго, 2008. – 528 с.
6. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 115666. Монографія «Автоматизована система моніторингу наявності шкідливих та вибухонебезпечних газів на основі міні безпілотних літальних апаратів» / А.Г. Ткачук, А.В. Коваль, А.А. Гуменюк, М.В. Богдановський. Дата реєстрації 10.01.2023
7. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво “Форт”, 2017. - 760
8. IEC 60099-4 “Surge arresters - Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems”, Edition 2.1, 2006-07
9. R.P.P. Smeets, H. Barts, W.A.Van Der Linden, L.Stenström. ”Modern ZnO

surge arresters under short-circuit current stresses: Test experiences and critical review of the IEC Standard". Cigré 2004 Session, Technical Paper A3-105.

10. M. Moghbeli, S. Mehraeen and D. Rush, "Bipolar Hybrid DC Circuit Breaker with Surge Arresting Mechanisms on Source and Load Sides," *2024 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)*, College Station, TX, USA, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/TPEC60005.2024.10472250.

11. J. M. Mendel, "Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 83, no. 3, pp. 345-377, March 2005, doi: 10.1109/5.364485.

12. K. A. Varma, D. K. Mohanta and M. J. B. Reddy, "Applications of type-2 fuzzy logic in power systems: A literature survey," *2013 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Wroclaw, Poland, 2013, pp. 282-286, doi: 10.1109/EEEIC.2013.6549632.

13. M. S. Ivanova, "Fuzzy Set Theory and Fuzzy Logic for Activities Automation in Engineering Education," *2019 IEEE XXVIII International Scientific Conference Electronics (ET)*, Sozopol, Bulgaria, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ET.2019.8878622.

14. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

15. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

16. ДНАОП 1.1.10-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=21826.

17. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

18. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

19. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL:

http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

20. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

21. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РО-
БОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗА-
ПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Методи та засоби діагностики обмежувачів перенапруг 750 кВ

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра електричних станій та систем, факультет електроенерге-
тики та електромеханіки

(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 88,9% Схожість 11,1 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☐ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис)

Вишневський С.Я.
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи _____
(підпис)

Ткачук А.Г.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Рубаненко О.Є.
(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Б

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ МКР
Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В.О.
(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.)

_____ (підпис)
" ____ " _____ 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ОБМЕЖУВАЧІВ
ПЕРЕНАПРУГ 750 КВ
08-21.МКР.018.00.003 ТЗ

Науковий керівник: к.т.н., проф.,
професор кафедри ЕСС
_____ Рубаненко О.Є.

Студентка групи ЕС-22мз
_____ Ткачук А.Г.

Вінниця 2024 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

а) Необхідність швидкого відновлення справного стану підприємств електроенергетичного комплексу України.

б) наказ № 81 від 11 березня 2024 про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

а) Метою роботи є вдосконалення системи діагностування ОПН під час приймально-здавальних робіт та в експлуатації.

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3. Вихідні дані для виконання МКР

Перелік літературних джерел за тематикою роботи. Посилання на періодичні видання. Вихідні дані для проведення обчислювальних експериментів.

4. Вимоги до виконання МКР

Розробити нейро нечітку математичну модель коефіцієнта залишкового ресурсу ОПН 750 кВ.

– елементна база: ОПН 750 кВ виробництва України, а також компаній АВВ, “Siemens” та ін.);

– конструктивне виконання: на відкритому повітрі - зовнішнє;

– технічне обслуговування і ремонт: експлуатація, технічне обслуговування та ремонт обладнання буде здійснювати персонал спеціалізованих підприємств у відповідності з вимогами ПТЕ, ПТБ і технологічних карт.

5. Етапи МКР та очікувані результати

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи		Примітка
		початок	кінець	
1	Аналіз предмету діагностування	17.01.24	20.01.24	
2	Дослідження пошкоджуваності ОПН 750 кВ	21.01.24	01.03.24	
3	Визначення залишкового ресурсу ОПН	02.03.24	22.03.24	
4	Економічна частина	23.03.24	15.04.24	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	16.04.24	01.05.24	
6	Оформлення пояснювальної записки	02.05.24	12.05.24	
7	Виконання графічної/ілюстративної частини та оформлення презентації	13.05.24	21.05.24	
8	Перевірка МКР на плагіат. Попередній захист МКР	22.05.24	24.05.24	
9	Рецензування МКР	25.05.24	01.06.24	
10	Захист МКР	За графіком		

6. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

7. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

8. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21 / уклад.: А. О. Семенов, Л. П. Громова, О. В. Сердюк, Т. В. Макарова. Вінниця: ВНТУ, 2021. 60 с.

9. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Відсутні.

ДОДАТОК В

Безпека у надзвичайних ситуаціях

В.1 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електростанції в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

На електростанціях використовуються елементи, до складу яких входять: метали, напівпровідники, діоди, резистори та ін. Серед цих матеріалів найбільш чутливі до радіації метали, бо їм властива велика концентрація вільних носіїв.

ЕМІ може поширюватись на десятки і сотні кілометрів в навколишньому середовищі і по різних комунікаціях, здійснюючи на об'єкти, там, де ударна хвиля, світлове випромінювання і проникаюча радіація втрачають свої значення як вражаючі фактори. Також може викликати в лініях зв'язку, енергопостачання, систем обчислювальних машин, напруги, що можуть викликати пробій ізоляції елементів апаратури і пристроїв, підключених до повітряних і підземних ліній. Ступінь пошкоджень залежить від наведеного імпульсу напруги чи струму і електричної міцності обладнання.

Внаслідок проходження гамма-випромінювання через елементи електронної апаратури. Внаслідок переміщення вільних зарядів може виникнути імпульс який може призвести до хибного спрацювання пристроїв. Також наслідком такого опромінення є підвищення провідності матеріалів, збільшення протікання струму і зменшення опору, в газорозрядних приладах зменшується напруга запалення. Таким чином блоки електростанції можуть раптово втратити працездатність при певних рівнях радіації, або впливу ЕМІ, що є найнебезпечніші фактори впливу НС на обладнання електростанції. Для цього проведемо оцінку стійкості роботи системи електропостачання в умовах дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу.

В.1.1 Дослідження стійкості роботи електростанції в умовах дії іонізуючих випромінювань

Визначаємо експозиційні дози при яких в елементах РЕА можуть виникнути незворотні зміни. Дані заносимо в таблицю В.1

Таблиця В.1 – Граничні значення експозиційних доз елементів електричної частини електростанції.

№	Елементи РЕА		Д _{гр} , Р	Д _{гр} , Р
1	Блок автоматизованого управління	резистори	10 ⁶	10 ³
		фотодіоди	10 ³	
		конденсатор	10 ⁵	
		мікросхеми ТТЛ	10 ⁴	
2	Блок щита управління	мікроперемикач	10 ⁴	
		конденсатор	10 ⁵	
		транзистор	10 ⁵	
		інтегральні схеми	5*10 ⁵	
3	Блок живлення	транзистор БПЛ	10 ⁴	
		трансформатор	10 ³	
		Діод	10 ⁵	

Самий уразливий елемент РЕА – фотодіоди блоку управління автоматизованою ділянкою №1, Д_{гр}=10³ Р.

Визначаємо можливу дозу опромінення:

$$D_m = \frac{2P_1(\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{\text{посл}}} ; \quad (\text{В.1})$$

де $K_{\text{посл}}$ - коефіцієнт послаблення, 1

t_n - час початку опромінення, 1 год

t_K - термін експлуатації, 20 років

$$D_M = \frac{2 \cdot 4.3 (\sqrt{175200} - \sqrt{1})}{1} = 3591,093(P) .$$

Визначаємо допустимий час роботи РЕА:

$$t_{don} = \left(\frac{D_{zp} \cdot K_{nosl} + 2 \cdot P_1 \sqrt{t_n}}{2P_1} \right)^2 ; \quad (B.2)$$

$$t_{don} = \left(\frac{10^3 \cdot 1 + 2 \cdot 4.3 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4.3} \right)^2 = 13754,38 \text{ (год)} ,$$

Порівняємо отримані дані:

$$D_{zp} = 10^3 < D_M = 3591,093.$$

Висновок. Так як $D_{zp} = 10^3 < D_M = 3591,093$, то для забезпечення стійкості роботи K_{nosl} потрібно збільшити в 4 рази. Робота РЕА буде стійкою протягом 13754,38 годин .

В.2.2 Дослідження стійкості роботи електростанції в умовах дії ЕМІ

При оцінці впливу ЕМІ на струмопровідні елементи необхідно врахувати те, що ЕМІ мають горизонтальну та вертикальну складові напруженості електричного поля і тому повинні визначатися значеннями напруги на вертикальних та горизонтальних ділянках лінії. Для оцінки безпеки роботи в умовах дії електромагнітних випромінювань, необхідно визначити значення вертикальної складової напруженості електромагнітного поля, при коефіцієнті безпеки рівному $K_B = 40$ дБ.

На електростанції розподіляємо електричну частину на різні блоки:

1. Блок управління автоматизованою дільницею №1
2. Блок управління виробничою дільницею
3. Блок живлення

На кожній ділянці визначаємо максимальну довжину вертикальної та горизонтальної струмопровідної частини: $l_{B1}=2\text{м}$, $l_{B2}=1.3\text{м}$, $l_{B3}=1.45\text{м}$, $l_{Г1}=1,8\text{м}$, $l_{Г2}=1,2\text{м}$, $l_{Г3}=1,3\text{м}$. Напругу наводки вертикальної струмопровідної частини визначаємо з формули:

$$K_{\sigma(\epsilon, \epsilon)} = 20 \lg \frac{U_{\partial \text{он}}}{U_{(\epsilon, \epsilon)}} \geq 40(\text{дБ}), \quad (\text{В.3})$$

Після всіх математичних перетворень, отримуємо наступні значення:

$$E_{\epsilon} = E_{\sigma} \cdot 10^{-3} (\text{кВ} / \text{м}); \quad (\text{В.4})$$

$$E_{\epsilon} = 10,8 \times 10^{-3} = 0,0108 (\text{кВ} / \text{м}).$$

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення:

$$\text{При } U_{\partial \text{он}1} = 12(\text{В}), U_{\partial \text{он}1} = 12.6(\text{В})$$

$$\text{При } U_{\partial \text{он}2} = 380(\text{В}), U_{\partial \text{он}2} = 399(\text{В})$$

$$\text{При } U_{\partial \text{он}3} = 127(\text{В}), U_{\partial \text{он}3} = 132(\text{В})$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю В.2

Таблиця 6.9 - Результати розрахунків показників електростанції

№	Елемент системи	l_{ϵ} (м)	l_{ϵ} (м)	U_{ϵ} (В)	U_{ϵ} (В)	K_{σ}^{ϵ} (дБ)	K_{σ}^{ϵ} (дБ)	Результат дії
1	Блок управління автоматизованою дільницею №1	2	1,8	19,4	17460	-3,74	-62,8	не стійкий
2	Блок управління виробничою дільницею	1.3	1,2	12,61	9480	30,00	-27,51	не стійкий
3	Блок живлення	1.45	1,3	14,07	12610	19,45	-39,60	не стійкий

Всі елементи схеми РЕА нестійкі, тобто потрібно проводити екранування.

В.1.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи електростанції в умовах надзвичайних ситуацій

Існують чотири методи (фактори) захисту від іонізуючого випромінювання:

Захист часом. Чим менше час контакту з джерелом іонізуючого випромінювання, тим менше отримана доза опромінення.

Захист відстанню. Чим далі від джерела іонізуючого випромінювання, тим менше отримана доза. Залежність зворотно квадратична, тому що від джерела промені йдуть радіально і розподіляються по сфері, площа якої $\propto R^2$. Таким чином щільність потоку буде зменшуватися пропорційно квадрату відстані. Використовують прилади дистанційного управління.

Захист екранами. Їх виготовляють з щільних високоатомних матеріалів (цегла, бетон, баритобетон). Якщо потрібен компактний захист, використовуються свинець. Інколи використовуються більш прості матеріали. Наприклад, окуляри для захисту від β -променів виготовляють із органічного скла, а не із просвинцьованого скла, тому що β -частки будуть гальмуватись і утворювати R -промені, які глибше будуть проникати. Тобто для різних видів випромінювання використовуються різні екрани. Альфа-промені може затримати тонкий бар'єр, наприклад, аркуш паперу; високоенергетичні бета-промені не можуть пройти крізь долоню людини, також їх може затримати пластинка алюмінію товщиною декілька мм; гамма-промені здатні проникати глибоко в речовину або проходити крізь товсті бар'єри. Нейтрони краще поглинаються низькоатомними екранами – водою, парафіном.

Слід зазначити, що найбільш чутливим елементом підстанції до дії електромагнітного імпульсу є неекрановані струмоведучі частини, де в наслідок дії електромагнітного імпульсу може наводитись напруга, яка призведе до пошкодження ізоляції як у самій мережі так і в елементах, які вона обслуговує, а

це в свою чергу виведе з ладу всю підстанцію.

Для цього проведемо розрахунок товщини стінки екрану, для цього визначаємо перехідне затухання в екрані. Вибираємо сталений екран $K_e = 5.2$.

Блок управління автоматизованою ділянкою №1:

$$t_1 = \frac{A_e}{K_e \cdot \sqrt{f}};$$

(6.6)

$$t_1 = \frac{-62,8 - 40}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,16 \text{ (см)} ;$$

Блок управління виробничою ділянкою:

$$t_2 = \frac{-27,51 - 40}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,11 \text{ (см)} ;$$

Блок живлення:

$$t_3 = \frac{-39,60 - 40}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,125 \text{ (см)} .$$

Таким чином при екрануванні системи живлення з використанням екрану товщиною 0,125 см з сталі, буде стійкою в умовах дії ЕМІ. При екрануванні блоку управління автоматизованою ділянкою необхідно застосувати екран товщиною 0,16 см з сталі та для блоку управління виробничою ділянкою екран товщиною 0,11 см.

Особливу увагу необхідно приділяти надійності електро-, водо-, теплопостачання на комунальних підприємствах, медичних, дитячих установах, підприємствах з неперервним циклом виробництва. З метою надійного забезпечення водою підприємства підключають до дублюючих джерел, створюють резервуари, влаштовують артезіанські свердловини.

Стійкість підприємства підвищується при збільшенні запасів сировини, інструментів та матеріалів, проте при цьому зменшується ефективність використання коштів, тому в практиці підприємницької діяльності запаси збільшують при підвищенні ризику виникнення надзвичайної ситуації. При створенні запасів необхідно враховувати не тільки можливість розвитку надзвичайної

ситуації в районі функціонування підприємства, але і в регіонах, де працюють постачальники та через які пролягають транспортні магістралі. Зрив поставок тільки однієї комплектуючої призводить до зупинки цілого збирального підприємства.

Інженерно-технічні заходи щодо підвищення стійкості підприємства передбачають укріплення будинків і споруд, захист обладнання, в т. ч. виготовлення захисних кожухів тощо, захист комунальних мереж тощо.

Організаційні заходи передбачають розробку і планування дій під час надзвичайних ситуацій керівництва, співробітників, штабу та формувань цивільної оборони підприємства. Розміщуючи небезпечні виробництва, враховують ризик виникнення надзвичайних ситуацій техногенного походження.

ДОДАТОК Д
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ ОБМЕЖУВАЧІВ
ПЕРЕНАПРУГ 750 КВ

Студент _____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис) (ініціали та прізвище)



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

«Методи та засоби діагностики обмежувачів перенапруг 750 кВ»



Виконав: ст. гр ЕС-22 мз
Керівник: к.т.н., професор каф. ЕСС

Ткачук Андрій Геннадійович
Рубаненко Олександр Євгенійович

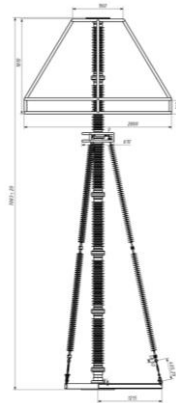
2024 р.

Актуальність

2

Актуальність теми - дослідження методів та засобів діагностування обмежувачів перенапруг 750 кВ зумовлена тим, що в наш час діють вимоги керівних документів щодо необхідності встановлення обмежувачів перенапруг поряд з силовими трансформаторами та автотрансформаторами зі сторони високої, середньої та низької напруг. Комутаційні та грозові перенапруги викликають спрацювання ОПН, зменшуючи їх ресурс. Тому зростають струми витoku через ізоляцію ОПН. Враховуючи умови експлуатації ОПН, експлуатація ОПН вимагає контролювати технічний стан ОПН та виявляти погіршення технічного стану ОПН на ранній стадії розвитку дефекту.

Пошкодження або вихід з ладу силових трансформаторів, шунтових реакторів, вимірювальних трансформаторів напруги та іншого підстанційного обладнання під час грозових перенапруг призводить до додаткових витрат на ремонт та зменшує надійність транспортування електричної енергії.



Актуальність

2

Тому в наш час розробляються та впроваджуються в експлуатації методи та засоби як періодичного так і безперервного контролю технічного стану ОПН. Одним з таких засобів є безпроводний реєстратор спрацювань ОПН з індикацією струму витoku серії «ОПН-ВІЗОР-II LR». Цей бездротовий реєстратор спрацювання «ОПН-Візор-II (LR)» призначений для індикації повного струму провідності та реєстрації кількості спрацювань ОПН при перенапругах, а також для індикації аварійного стану ОПН у режимі їх експлуатації без розриву струмопровідного ланцюга. Дальність зв'язку базового модуля з датчиками становить близько 10000 м в зоні прямої видимості, і близько 3000 м в умовах відкритих розподільних пристроїв з багатьма бетонними або сталевими перешкодами. В наш час в Україні виробляють ОПН.

Наприклад, ТОВ «СЛАВЕНЕРГОПРОМ» зараз репоковане з м. Славенськ Донецької області у м Черкаси виробляє ОПН.

Отже тема магістерської роботи, проведені дослідження та отримані результати – **актуальні**.



Мета та задачі

3

Метою роботи є вдосконалення системи діагностування ОПН під час прийнятно-здавальних робіт та експлуатації.

Згідно поставленої **мети** в роботі вирішено наступні **задачі**:

- 1 Дослідити конструктивні особливості металооксидних ОПН
- 2 Проаналізувати можливі стратегії діагностування ОПН
- 3 Вибрати діагностичні параметри для визначення поточного стану ОПН
- 4 Дослідити пошкоджуваність ОПН
- 5 Розробити алгоритм діагностування
- 6 Розробити математичну модель коефіцієнта залишкового ресурсу ОПН

Саме використання релейного та мікропроцесорного захистів синхронних генераторів та блочних трансформаторів дозволяє зменшити розповсюдження аварій на силові трансформатори, лінії електропередач та на інше обладнання яке отримує живлення від електричних станцій.

Враховуючи швидкоплинність електричних та електродинамічних процесів в пошкоджені електричного високовольтного обладнанні – людина часто не встигає вчасно відключити пошкоджене обладнання, і тим самим людина не встигає вжити заходи з запобігання розповсюдженню пошкодження на суміжне електричне обладнання. Цю задачу успішно вирішують пристрої захисту.

Отже тема магістерської роботи, проведені дослідження та отримані результати – **актуальні**.

Об'єкт, предмет

4

Об'єктом дослідження є процеси зміни технічного стану ОПН.

Предметом досліджень є методи та засоби визначення технічного стану ОПН

Методи дослідження. В роботі використані методи теорії діагностування високовольтного обладнання, нечітких множин та нейронних мереж.

Наукова новизна отриманих результатів. Отримав подальший розвиток метод визначення технічного стану ОПН.

Практичне значення полягає у наведених прикладах розрахунку залишкового ресурсу ОПН.

Апробація результатів роботи і публікації. Основні наукові результати доповідались на наукових конференціях ВНТУ

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які складають основний зміст магістерської роботи, отримані автором самостійно.

Недоліки та особливості ОПН

5

Традиційні одноколонкові ОПН в фарфоровому і полімерному корпусах з внутрішнім повітряним включенням мають ряд недоліків. Один з них — нерівномірний розподіл НЕП в поздовжньому напрямі, а також високий рівень НЕП в поперечному (радіальному) напрямі. Високий рівень поля в радіальному напрямі веде до внутрішніх часткових розрядів в повітрі між внутрішньою стінкою корпусу і зовнішньою поверхнею металооксидних варисторів, що є серйозною проблемою для ОПН такої конструкції.

Відмова від іскрових проміжків, що мали місце при роботі з **карбідокремнієвими** обмежувачами, значно спростила конструкцію ОПН. Поява деяких конфігурацій ОПН з корпусом з полімерних матеріалів стала можливою лише після впровадження **безіскрових металооксидних апаратів**. Значний крок вперед полягає в тому, що в металооксидному обмежувачі "активним" являється тільки один елемент, а саме, колонка металооксидних резисторів. До резисторів висуваються підвищені вимоги, тому, що функції, розподілені в іскрових обмежувачах між різними його компонентами, тепер виконують резистори. Вони повинні мати підвищену стійкість до старіння, піддаватись дії тривалої робочої напруги

Недоліки та особливості ОПН

6

Традиційні одноколункові ОПН в фарфоровому і полімерному корпусах з внутрішнім повітряним включенням мають ряд недоліків. Один з них — нерівномірний розподіл НЕП в поздовжньому напрямі, а також високий рівень НЕП в поперечному (радіальному) напрямі. Високий рівень поля в радіальному напрямі веде до внутрішніх часткових розрядів в повітрі між внутрішньою стінкою корпусу і зовнішньою поверхнею металооксидних варисторів, що є серйозною проблемою для ОПН такої конструкції.

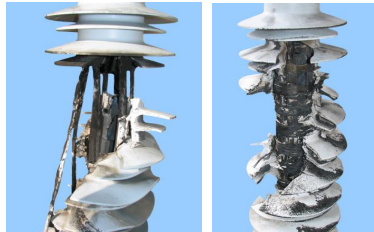
Відмова від іскрових проміжків, що мали місце при роботі з **карбідокремнієвими** обмежувачами, значно спростила конструкцію ОПН. Поява деяких конфігурацій ОПН з корпусом з полімерних матеріалів стала можливою лише після впровадження **безіскрових металооксидних апаратів**. Значний крок вперед полягає в тому, що в металооксидному обмежувачі "активним" являється тільки один елемент, а саме, колонка металооксидних резисторів. До резисторів висуваються підвищені вимоги, тому, що функції, розподілені в іскрових обмежувачах між різними його компонентами, тепер виконують резистори. Вони повинні мати підвищену стійкість до старіння, піддаватись дії тривалої робочої напруги

Режим короткого замикання ОПН

8

Правильно обраний ОПН може відхилити імпульси напруги практично нескінченно, у разі, якщо енергія, яку необхідно розсіяти, відповідає можливостям цього типу обмежувача. У разі якщо обмежувач повинен розсіяти більше енергії, ніж передбачено даним типом, він "жертвує собою", ініціюючи внутрішнє к.з.

У світі все ще експлуатується багато силіконово-карбідних (SiC) ОПН з іскровим проміжком і порцеляновими кожухами, спроектованими з великим внутрішнім об'ємом газу. Оскільки за статистикою ризик виходу з ладу старих ОПН більший, вони повинні розраховуватися на максимальний ризик руйнування.



Невдале випробування короткого замикання обмежувача

Методи діагностування ОПН

10

Метод функціонування проби під тиском	Дозволяє визначити критерії відбракування по дефекту ВМП для інших методів контролю	руйнівний метод – не можливий без руйнування ізолятора
Ультразвукова структурометрія та <u>дефектометрія</u> (УЗНК)	Низька умовна ймовірність невиявленої несправності при контролі; дозволяють виявити майже всі можливі види дефектів ОПН (в т.ч. ВМП); дозволяють прогнозувати можливість утворення зон розтріскування в подальшій експлуатації;	вимагає відключення обладнання; велика трудомісткість; виконується експлуатаційний контроль тільки небезпечних перерізів та армованих частин ізолятора, а не всього об'єму фарфорової частини (не дозволяє виявити виробничі або/та експлуатаційні дефекти, якщо вони розташовані в середній частині ізолятора) не дозволяє виявити дефекти, пов'язані з механічною втомою фарфору

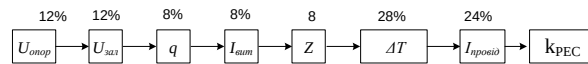
11

Методи діагностування ОПН

Контроль засобами ІЧТ (метод термографії)	висока продуктивність (не трудомісткий); не потребує відключення; дозволяє виявити внутрішні дефекти, пов'язані з ВМП; не має обмежень по класу напруги обладнання	відносно висока умовна ймовірність виявленої несправності; вимагає зведеного стану дефектних внутрішніх об'єктів ОПН; ефективний лише при незначних конвекційних потоках повітря; майже не дозволяє виявити дефекти ОМАП, ЗАСП, МД, пов'язані з механічною втомою фарфору
Візуальний контроль зовнішнього стану	не трудомісткий; не потребує відключення обладнання; не потребує матеріальних затрат	дозволяє виявляти тільки явно видимі тріщини ОПН, не дозволяє виявити внутрішні дефекти; має найбільшу умовну ймовірність виявленої несправності при контролі
Контроль засобами ІЧТ (метод термографії)	висока продуктивність (не трудомісткий); не потребує відключення; дозволяє виявити внутрішні дефекти, пов'язані з ВМП; не має обмежень по класу напруги обладнання	відносно висока умовна ймовірність виявленої несправності; вимагає зведеного стану дефектних внутрішніх об'єктів ОПН; ефективний лише при незначних конвекційних потоках повітря; майже не дозволяє виявити дефекти ОМАП, ЗАСП, МД, пов'язані з механічною втомою фарфору

12

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ОПН



Структурна схема моделі коефіцієнта залишкового ресурсу ОПН

Фрагмент результатів розрахунків

$ЯКЩО k_{U_{оп}} \in \text{"нормальне"} \wedge k_{U_{зал}} \in \text{"нормальне"} \wedge k_{k_q} \in \text{"нормальне"} \wedge k_{I_{вип}} \in \text{"нормальне"} \wedge k_{Z} \in \text{"нормальне"} \wedge k_{\Delta T} \in \text{"нормальне"} \wedge k_{I_{проект}} \in \text{"нормальне"} \wedge k_{РЕС} \in \text{"нормальне"} \wedge k_{РЕС} = 0.099 \cdot k_{U_{оп}} + 0.111 \cdot k_{U_{зал}} + 0.234 \cdot k_q + 0.056 \cdot k_{I_{вип}} + 0.015 \cdot k_Z + 0.185 \cdot k_{\Delta T} + 0.298 \cdot k_{I_{проект}} + 0.002$
 $ЯКЩО k_{U_{оп}} \in \text{"незначне відхилення"} \wedge k_{U_{зал}} \in \text{"незначне відхилення"} \wedge k_{k_q} \in \text{"незначне відхилення"} \wedge k_{I_{вип}} \in \text{"незначне відхилення"} \wedge k_{Z} \in \text{"незначне відхилення"} \wedge k_{\Delta T} \in \text{"незначне відхилення"} \wedge k_{I_{проект}} \in \text{"незначне відхилення"} \wedge k_{РЕС} \in \text{"незначне відхилення"} \wedge k_{РЕС} = 0.09 \cdot k_{U_{оп}} + 0.11 \cdot k_{U_{зал}} + 0.134 \cdot k_q + 0.156 \cdot k_{I_{вип}} + 0.215 \cdot k_Z + 0.085 \cdot k_{\Delta T} + 0.198 \cdot k_{I_{проект}} + 0.102$
 $ЯКЩО k_{U_{оп}} \in \text{"передаварійне"} \wedge k_{U_{зал}} \in \text{"передаварійне"} \wedge k_{k_q} \in \text{"передаварійне"} \wedge k_{I_{вип}} \in \text{"передаварійне"} \wedge k_{Z} \in \text{"передаварійне"} \wedge k_{\Delta T} \in \text{"передаварійне"} \wedge k_{I_{проект}} \in \text{"передаварійне"} \wedge k_{РЕС} \in \text{"передаварійне"} \wedge k_{РЕС} = 0.199 \cdot k_{U_{оп}} + 0.101 \cdot k_{U_{зал}} + 0.034 \cdot k_q + 0.056 \cdot k_{I_{вип}} + 0.215 \cdot k_Z + 0.085 \cdot k_{\Delta T} + 0.199 \cdot k_{I_{проект}} + 0.01$
 $ЯКЩО k_{U_{оп}} \in \text{"аварійне"} \wedge k_{U_{зал}} \in \text{"аварійне"} \wedge k_{k_q} \in \text{"аварійне"} \wedge k_{I_{вип}} \in \text{"аварійне"} \wedge k_{Z} \in \text{"аварійне"} \wedge k_{\Delta T} \in \text{"аварійне"} \wedge k_{I_{проект}} \in \text{"аварійне"} \wedge k_{РЕС} \in \text{"аварійне"} \wedge k_{РЕС} = 0.225 \cdot k_{U_{оп}} + 0.111 \cdot k_{U_{зал}} + 0.275 \cdot k_q + 0.099 \cdot k_{I_{вип}} + 0.115 \cdot k_Z + 0.185 \cdot k_{\Delta T} + 0.298 \cdot k_{I_{проект}} + 0.02$

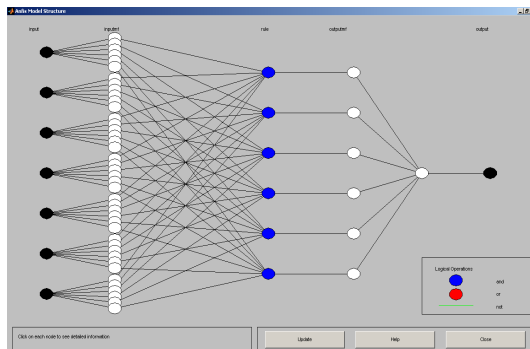
13

Результати розрахунків коефіцієнта залишкового ресурсу ОПН

Діагностичні параметри							Коефіцієнт залишкового ресурсу ОПН
$k_{U_{оп}}$, в.о.	$k_{U_{зал}}$, в.о.	k_{k_q} , в.о.	$k_{I_{вип}}$, в.о.	k_Z , в.о.	$k_{\Delta T}$, в.о.	$k_{I_{проект}}$, в.о.	
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	1	1	1	1	1	0
...	...	...	...	...	...	...	...
0,928	0,932	0,934	0,923	0,9128	0,939	0,928	0,928063
1	1	1	1	1	0,08	0,92	0,65345
1	1	1	1	1	0,07	0,93	0,6448454

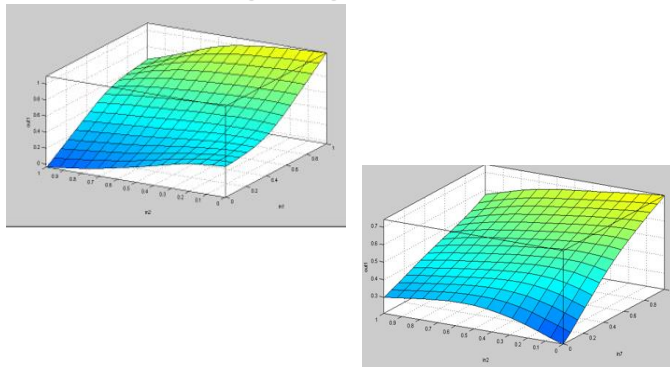
Структура нейромережі ОПН

14



Залежності значень функцій належності від параметрів

15



Висновки

16

Розглянуто питання вдосконалення системи діагностики ОПН

1 Результати досліджень конструктивних особливостей металооксидних ОПН свідчать про можливість їх надійної експлуатації

2 Результати аналізу стратегії діагностування ОПН

3 До діагностичних параметрів ОПН відносяться: опір ізоляції, кількість спрацьовувань, струм витоку, температура корпусу ОПН та апаратних виводів та інші

4 Під час експлуатації пошкоджуються в ОПН: ізоляція, апаратні виводи, деталі заземлення, прилади контролю струму витоку та кількості спрацьовувань ОПН.

5 Розроблений алгоритм діагностування передбачає: зовнішній огляд, побудову теплограм, контроль ізоляції, контроль стану фарфору, випробовування підвищеною напругою, контроль струму витоку,

6 Розроблена математична модель коефіцієнта залишкового ресурсу ОПН.

7 Вибрано діагностичне обладнання

