

Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Ризики у визначенні технічного стану високовольтних вимикачів»

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕС-20м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка освітня
програма «Електричні станції»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Мельничук Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., професор каф. ЕСС

Рубаненко О. Є.

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

Опонент:

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., проф. Комар В. О.

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

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.

_____ 2021 року

ЗАВДАННЯ **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Мельничуку Дмитру Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Ризики у визначенні технічного стану високовольтних вимикачів»

керівник роботи к.т.н., проф каф. ЕСС Рубаненко О.О.

затверджена наказом вищого навчального закладу від 24.09.2021 року № 277

2. Строк подання студентом роботи 30 листопада 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи.

Посилання на періодичні видання. Бондаренко Є.А. Пробіт-аналіз ризику електротравматизму // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 6. – С. 97-100, Бондаренко Є. А. Сучасний стан електротравматизму в енергетичній галузі / Бондаренко Є. А. Вишневський С. Я., Бондаренко А. Є. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2021. – № 3. – С. 18-23.

Початкові дані: Пошкоджуваність вузлів повітряного вимикача: дугтєвий клапан камери (9,52%), дугтєвий клапан відокремлювача (9,52%), контакти відокремлювача (4,76%), контакти камери (4,76%), обігрів шафи (4,76%), клапана відключення (4,76%), клапана включення (4,76%), гумові ущільнення (19,04%), фарфор камери (19,04%), фарфор відокремлювача (9,52%), електромагніти (4,76%), клапана управління (4,76%).

4. Зміст текстової частини: Вступ. Загальні відомості про високовольтні вимикачі. Діагностування високовольтних вимикачів. Визначення ризиків під час діагностування високовольтного обладнання. Математичне моделювання вимикачів в середовищі Matlab. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Актуальність теми. 2. Мета, задачі, об'єкт та предмет досліджень. 3. Види експлуатаційних робіт. 4. Призначення вимикачів. 5. Класифікація та пошкодження вимикачів. 6. Оливні вимикачі 7. Елегазові вимикачі. 8. Повітряні вимикачі. 9. Методи діагностування вимикачів. 10. Нечітка модель вимикача, 11. Прилади діагностування ВВ.12-14, Компоненти ризику. 15 Методи розрахуну ризиків. 16. Причини відмов ВВ. 17. Етапи нейро-нечіткого моделювання.18. 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., доц. професор кафедри ЕСС		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Бондаренко Є. А. д.т.н., проф., професор каф. ЕСС		
Економічна частина	Остра Н. В., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		

7. Дата видачі завдання 24 вересня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи		Примітка
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	02.09.21	06.09.21	
2	Загальні відомості про високовольтні вимикачі.	07.09.21	12.09.21	
3	Діагностування високовольтних вимикачів.	13.09.21	05.10.21	
4	Визначення ризиків під час діагностування високовольтного обладнання.	06.10.21	20.10.21	
5	Математичне моделювання вимикачів в середовищі Matlab.	21.10.21	30.10.21	
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	01.11.21	10.11.21	
7	Економічна частина	11.11.21	16.11.20	
8	Оформлення пояснювальної записки	17.11.21	25.11.20	
9	Виконання графічної частини та оформлення презентації	26.12.21	30.11.21	

Студент

_____ (підпис)

Д.О. Мельничук

Керівник роботи

_____ (підпис)

О. Є.Рубаненко

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	5
ANNOTATION	6
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	10
1.1 Загальні відомості про високовольтні вимикачі.....	10
1.2 Конструктивні особливості високовольтних вимикачів	12
1.3 Аналіз пошкоджуваності високовольтних вимикачів	13
Висновки до першого розділу	19
2 ДІАГНОСТУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ	20
2.1 Завдання діагностування.....	20
2.2 Дефекти вимикачів.....	21
Висновки до другого розділу.....	24
3 ВИЗНАЧЕННЯ РИЗИКІВ ПІД ЧАС ДІАГНОСТУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ	25
3.1 Постановка задачі та початкові дані.....	25
3.2 Характеристика системи діагностування вимикача	27
3.3 Дотримання вимог норм випробовувань	33
3.4 Необхідність вдосконалення системи діагностування	35
3.5 Ризики, що розглядаються	39
3.6 Збір даних для початку розрахунку.....	41
3.7 Розрахунок ризиків.....	42
3.7.1 Розрахунок RA.....	43
3.7.2 Прогнозування ймовірності відмови комірки високовольтного вимикача на інтервалі часу експертно-статистичним методом.....	45
Висновки до третього розділу	47
4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИМИКАЧІВ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB.....	48
4.1 Розробка математичної моделі вимикача.....	48

4.2 Нечітке моделювання в середовищі MathLab	53
4.2.1 Створення моделі з використанням алгоритму Сугено	57
4.2.2 Цифрова модель вимикача з використанням алгоритму Мамдани ..	65
Висновки до четвертого розділу	81
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	82
5.1 Визначення поточних витрат	82
5.2 Розрахунок заробітної плати	85
5.3 Розрахунок затрат на матеріали при капітальному та середньому ремонті	85
5.4 Порівняння показників впровадження	86
Висновки до п'ятого розділу	87
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ..	88
6.1 Задачі розділу	88
6.2 Аналіз умов праці при виконанні робіт	90
6.3 Розробка організаційно-технічні рішення з охорони праці при визначенні технічного стану високовольтних вимикачів	91
6.3.1 Заходи та засоби, що мінімізують ризик ураження персоналу при проведенні ремонтних робіт з вимикачем (указати тип та клас напруги)	91
6.3.2 Розрахунок параметрів заземлювального пристрою високовольтного вимикача	95
Висновки до шостого розділу	99
ВИСНОВКИ	100
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	101
Додаток А. Антиплагіат	107
Додаток Б. Технічне завдання	108
Додаток В. Розрахунок параметрів заземлювального пристрою вимикача в програмі Mathcad	112
Додаток Г. Ілюстративний матеріал	115

АНОТАЦІЯ

Мельничук Дмитро Олександрович «Ризики у визначенні технічного стану високовольтних вимикачів». Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця : ВНТУ. 2021. – с. Бібліогр.:50. Рис.: 28. Табл.:22.

В магістерській кваліфікаційній роботі досліджено ризики визначення технічного стану високовольтних вимикачів. Розглянуто конструктивні особливості вимикачів. Досліджено пошкоджуваність високовольтних вимикачів. Досліджено ймовірність відмови комірки високовольтного вимикача.

Виконано розрахунки ризиків під час діагностування високовольтних вимикачів. Обґрунтовано економічний ефекту від впровадження сучасних засобів діагностування. У розділі охорони праці було визначено заходи та засоби, що мінімізують ризик ураження персоналу при проведенні ремонтних робіт з вимикачем.

Ключові слова: високовольтний вимикач, діагностування, ризики, технічний стан, пошкодження.

ANNOTATION

Melnychuk Dmytro Oleksandrovyh "Risks in determining the technical condition of high-voltage switches". Master's thesis. - Vinnytsia: VNTU. 2021. - p. Bibliogr .: 50. Fig .: 28. Table: 22.

The risks of determining the technical condition of high-voltage switches are investigated in the master's qualification work. The design features of switches are considered. Damage of high-voltage switches is investigated. The probability of cell failure of the high-voltage switch is investigated.

Risk calculations have been performed when diagnosing high-voltage switches. The economic effect of the introduction of modern diagnostic tools is substantiated. In the section of labor protection measures and means were identified that minimize the risk of injury to personnel during repair work with the switch.

Key words: high voltage switch, diagnostics, risks, technical condition, damage.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

РП	– розподільний пункт
КЗ	– коротке замикання
ЛЕП	– лінія електропередачі
ВВ	– високовольтний вимикач
ПЛЕП	– повітряна лінія електропередачі
ПУЕ	– правила улаштування електроустановок
RA	– компонент, пов'язаний із загрозою для живих істот від ураження електричним струмом
RB	– компонент, пов'язаний із фізичним пошкодженням
RC	– компонент, пов'язаний зі збоєм внутрішніх систем
RM	– компонент, пов'язаний зі збоєм внутрішніх систем
RU	– компонент, пов'язаний із загрозою для живих істот від ураження електричним струмом
RV	– компонент, пов'язаний із фізичним пошкодженням
RW	– компонент, пов'язаний зі збоєм внутрішніх систем
RZ	– компонент, пов'язаний зі збоєм внутрішніх систем

ВСТУП

Ознакою сьогодення є поява сучасних підприємств, які використовують мікропроцесорну техніку, виробляють вартісну продукцію і тому висувають високі вимоги до безпечного, надійного та якісного електропостачання. Водночас обладнання енергопостачальних компаній застаріло. Також, нажаль, зростає кількість випадків електротравматизму.

Відомо, що під час пошкоджень високовольтного електричного обладнання, наприклад, під час коротких замикань, пошкоджене обладнання необхідно швидко відключати найближчим до пошкодження вимикачем. Виконавчим обладнанням, яке відключає коротке замикання є високовольтний вимикач.

В наш час все ще знаходяться в експлуатації застарілі оливні або повітряні вимикачі, які поступово замінюються на нові вакуумні або елегазові, Водночас така заміна обгрунтована результатами діагностування вимикачів. Діагностування вимикачів дозволяє визначити їх технічний стан. Однак для обгрунтування доцільності та обсягів заміни застарілих вимикачів на нові, для обгрунтування схем розподільних пристроїв виправданим є використання розрахунків ризиків, які виникали під час експлуатації вимикачів в минулому, виникають в наш час та можуть виникнути у майбутньому.

Необхідно враховувати ризики електротравматизму, внаслідок експлуатації некісного електрообладнання, наприклад, високовольтних вимикачів; ризиків фінансових збитків викликаних заміною пошкодженого обладнання на нове; збитками викликаними вартисними ремонтами; збитками викликаними втратами в електричному обладнанні під час не оптимальних режимів експлуатації. Ці збитки можуть виникати внаслідок неякісного діагностування, тобто неякісного визначення поточного технічного стану високовольтних вимикачів.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є аналіз методів визначення ризиків, які виникають під час експлуатації високовольтних вимикачів для покращення безпеки та якості експлуатації високовольтного обладнання.

Отже тема та мета магістерської кваліфікаційної роботи є актуальними.

Відповідно до мети в МКР поставлені наступні **задачі**:

- проаналізувати конструктивні особливості високовольтних вимикачів;
- визначити пошкоджувальність високовольтних вимикачів;
- дослідити методи та засоби діагностування вимикачів;
- визначити складові ризиків під час експлуатації високовольтних вимикачів;
- розробити математичну модель коефіцієнта залишкового ресурсу високовольтного вимикача;
- порівняти показників заміни оливного вимикача на елегазовий;
- проаналізувати заходи з охорони праці під час експлуатації високовольтних вимикачів.

Предметом дослідження в МКР є методи визначення ризику

Об'єктом дослідження є процеси погіршення технічного стану вимикачів, методи визначення їх ресурсу та ризику, що вони несуть.

Апробація. Основні результати роботи розглядались та були схвалені на конференції «Оптимальне керування електроустановками ОКЕУ – 2021» в ВНТУ, та на Науково-технічній конференції факультету електроенергетики та електромеханіки в 2021 році у ВНТУ.

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

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Загальні відомості про високовольтні вимикачі

Високовольтний вимикач – основний комутаційний апарат у високовольтних установках, їх використовують у високовольтних розподільних установках для вмикання і вимикання електричних кіл в усіх режимах (без навантаження, з номінальним струмом і струмом к.з.).

У сучасному світі є велика кількість типів, конструкцій та виробників вимикачів. Зазвичай високовольтні вимикачі класифікують за наступними параметрами: спосіб гасіння дуги, вид установки, призначення, категорія розміщення, кліматичне виконання [2,3].

За способом гасіння дуги та конструктивними особливостями (рис. 1.1) вимикачі розділяють на такі основні групи [1,2,8]:

1) масляні вимикачі – середовищем для гасіння електричної дуги є електротехнічне масло:

а) бакові – з великим об'ємом оливи, яке служить дугогасильним середовищем та ізоляцією між струмопровідними частинами вимикача;

б) малооб'ємні – з невеликим об'ємом оливи, що служить лише як середовище для гасіння дуги;

2) елегазові – гасіння електричної дуги в середовищі електротехнічного газу (шестифтористої сірки – SF₆);

3) повітряні вимикачі – гасіння дуги відбувається в середовищі стисненого повітря;

4) повітряні авто-пневматичні вимикачі – стиснене повітря, необхідне для гасіння дуги, утворюється завдяки енергії пружини, яка розтискається при розходженні контактів вимикача;

5) вакуумні – гасіння дуги відбувається у вакуумному середовищі.

б) автогазові – гасіння дуги відбувається газами, які виділяються через стінки дугогасильних камер під дією високої температури;

7) електромагнітні вимикачі – гасіння дуги відбувається за допомогою магнітного дуття в різного роду дугогасильних камерах;

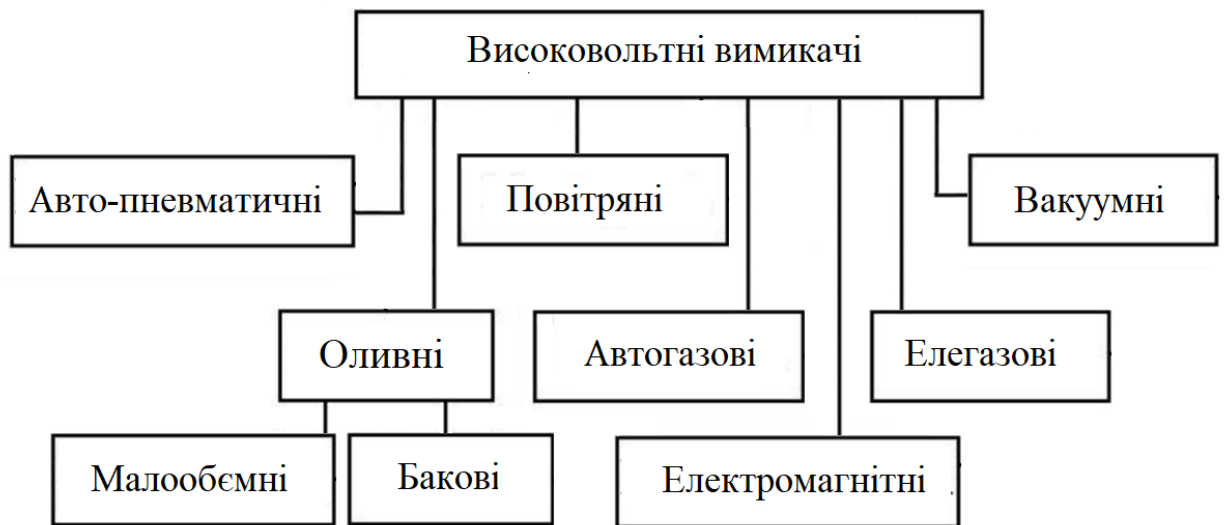


Рисунок 1.1 – Класифікація вимикачів за способом гасіння дуги

За категоріями розміщення розрізняють вимикачі:

а) п'ять категорій розміщення (поза і всередині приміщень з різними умовами обігріву й вентиляції);

б) шість кліматичних виконань (В, ХЛ, ТВ, ТС, Т і О) залежно від географічного місця установки; нормовані значення температури повітря для зазначених кліматичних виконань вимикачів [1].

За призначенням вимикачі розділяють на такі групи:

- 1) Мережеві;
- 2) Генераторні;
- 3) Вимикачі на напругу від 6 до 220 кВ для електротермічних установок;
- 4) Вимикачі спеціального призначення.

За типом установлення вимикачі ділять на такі групи:

- 1) Опорні;
- 2) Підвісні;
- 3) Настінні;

- 4) Викатні;
- 5) Вбудовані в комплектні розподільні пристрої.

Електротехнічні можливості силових вимикачів характеризуються такими параметрами [8]:

- номінальною напругою $U_{ном}$;
- номінальним струмом $I_{ном}$;
- струмом динамічної стійкості I_0 ;
- струмом термічної стійкості I_m та часом t_m ;
- номінальним струмом вимкнення $I_{вим. ном}$;
- повним часом вимкнення вимикача $t_{вим. в}$;
- часом увімкнення вимикача $t_{увім. в}$.

1.2 Конструктивні особливості високовольтних вимикачів

Основні конструктивні елементи високовольтного вимикача: корпус, контактна система із пристроєм гасіння дуги, струмоведучі частини, ізоляційна конструкція та механізм приводу контактів.

Приводи високовольтних вимикачів необхідні для їх вмикання, утримування в цьому положенні та вимкнення високовольтного вимикача.

Незалежно від конструкції привод має механізм вмикання, заскочку (для фіксації положення “ввімкнено”) і механізм вимкнення.

Найскладнішою операцією є вмикання вимикача, бо при цьому потрібно подолати тертя, опір пружин вмикання. Для цього привод повинен мати запас кінетичної енергії. Це може бути енергія піднятого вантажу (вантажний привід) або заведена пружина (пружинний привід)

Найбільш поширеними в сучасній практиці для керування масляними і безмасляними вимикачами є автоматичні пружинні та електромагнітні приводи.

Основним недоліком пружинних приводів є складна механічна конструкція, через яку вони часто відмовляють.

Електромагнітні (соленоїдні) приводи вмикають апарати потужним електромагнітом. Вони використовуються для керування потужними вимикачами. Надійні в експлуатації, прості за конструкцією, але споживають значну потужність від мережі постійного струму. Для вакуумних вимикачів серії ВВ/TEL застосовують вмонтовані електромагнітні приводи малої потужності (один на кожний полюс вимикача).

Пневматичні приводи призначені для повітряних вимикачів, працюють на стисненому повітрі. Вони конструктивно прості, мають невеликі розміри, високу швидкість вмикання, а енергія легко накопичується в простих повітряних резервуарах. Останнім часом їх використовують навіть в тих електроустановках, в яких немає повітряних вимикачів.

1.3 Аналіз пошкоджуваності високовольтних вимикачів

Розглянемо основні види пошкоджень вимикачів, виконаний за 1997–2013 роки. на основі літературного джерела [6].

За цей період сталося понад 10000 пошкоджень електроустаткування підстанцій. На рисунку 1.2 показана кількість ушкоджень електрообладнання 110-750 кВ у відсотках від загальної кількості пошкоджень електроустаткування.

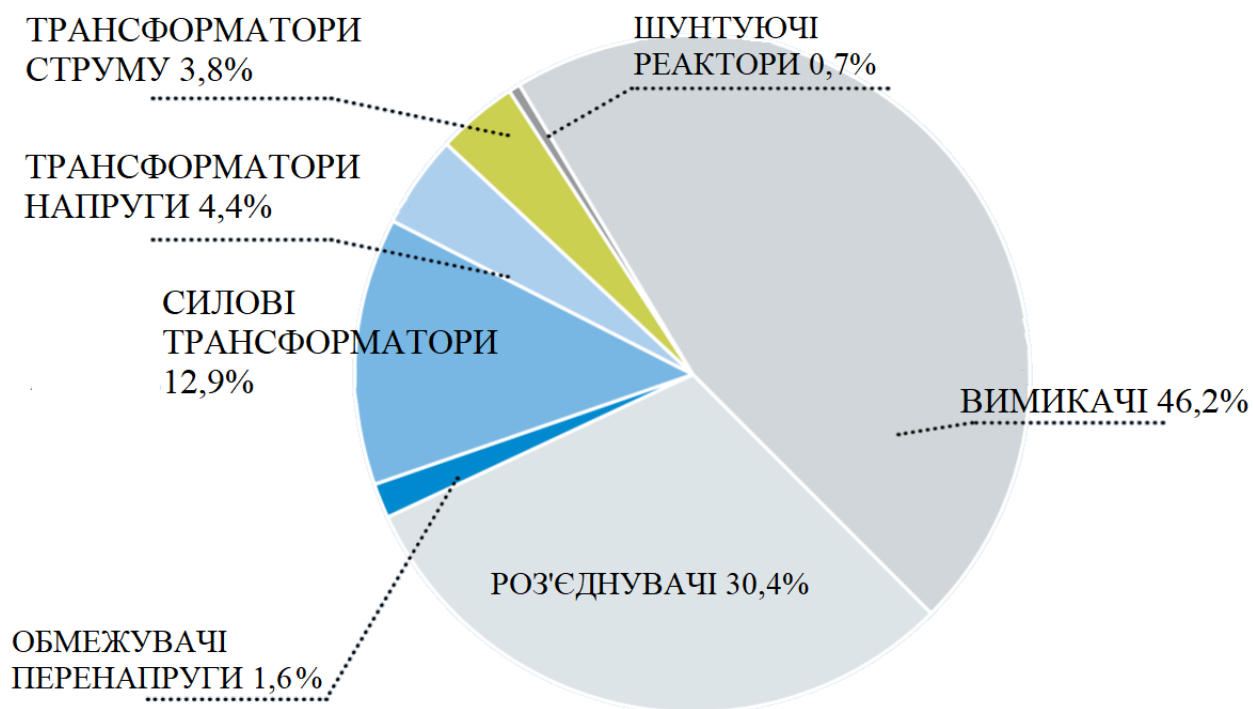


Рисунок 1.2 – Дані пошкоджень електрообладнання

З цієї діаграми ми робимо висновок, що найбільша кількість пошкоджень припадає на вимикачі (46,2%). Імовірність виходу з ладу вимикача низька, проте через наявності декількох вимикачів в експлуатації, ймовірність появи відмови вимикача за рік зростає [4].

Провівши статистичний аналіз відмов високовольтних вимикачів [4, 5, 6] можна зробити розподіл відмов по рівням напруг та причини відмов за типом вимикача. Відповідна інформація подана у вигляді діаграми на рис.1.3 та рис. 1.4.

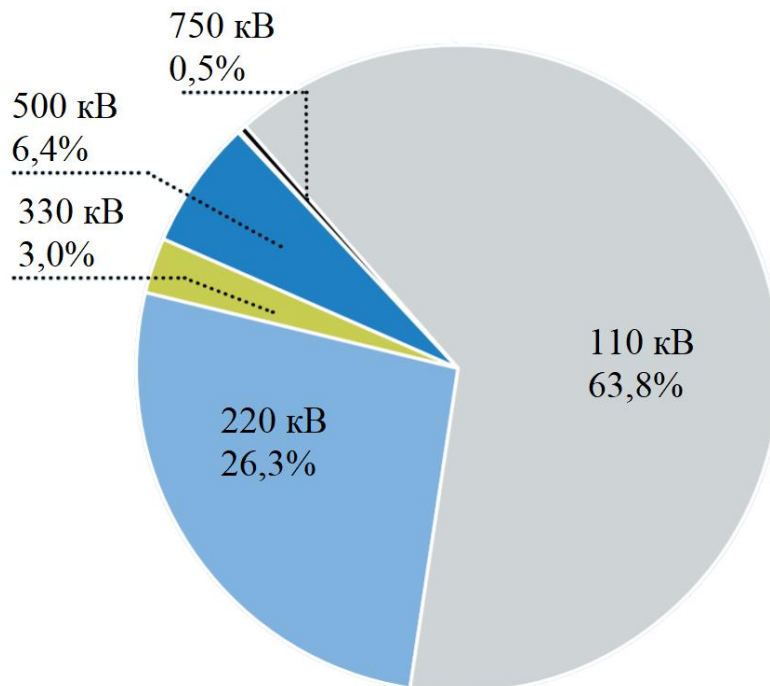


Рисунок 1.3 - Розподіл відмов за класами напруги

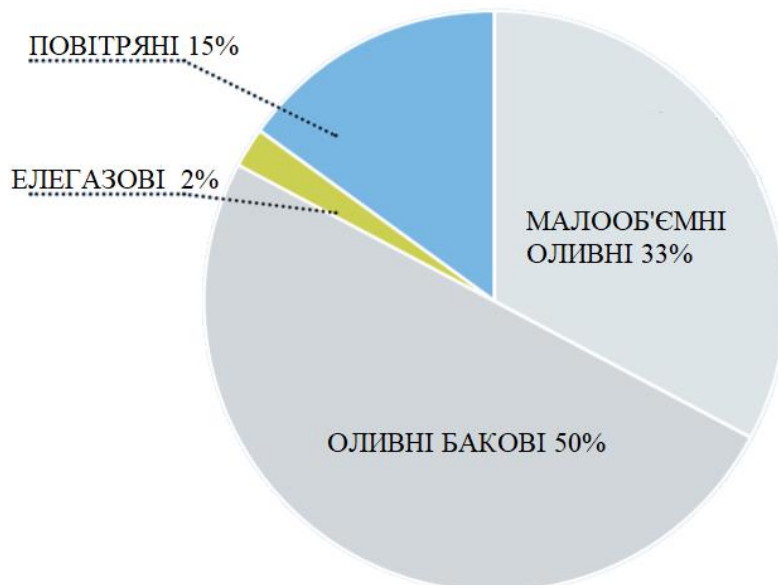


Рисунок 1.4 - Розподіл відмов за типами вимикачів

Аналіз, проведений на основі зазначених даних, дозволив виявити найбільш слабкі та пошкоджені елементи та вузли вимикачів.



Рисунок 1.5 – Відмови повітряних вимикачів

Більшість відмов повітряних вимикачів (рис. 1.5), наприклад, ВВБ, ВВМ, ВВ пов'язано з витоком стисненого повітря. Основними місцями витоку повітря – це з'єднання трубопроводів, гумові та поліуретанові ущільнення, які через низьку якість та тривалий термін служби втрачають свої еластичні властивості.

Декілька випадків відмов пов'язано з несправністю у механізмах приводу, що призводить до збоїв роботи вимикачем команд на увімкнення або відключення, чи до ненавмисного включення та відключення. Основними причинами є неякісний і несвоєчасний ремонт, а також втома та вироблення металевих деталей механізмів приводу внаслідок тривалої експлуатації.

Основними причинами руйнування ізоляції є процес старіння, а також неякісний порцелян.

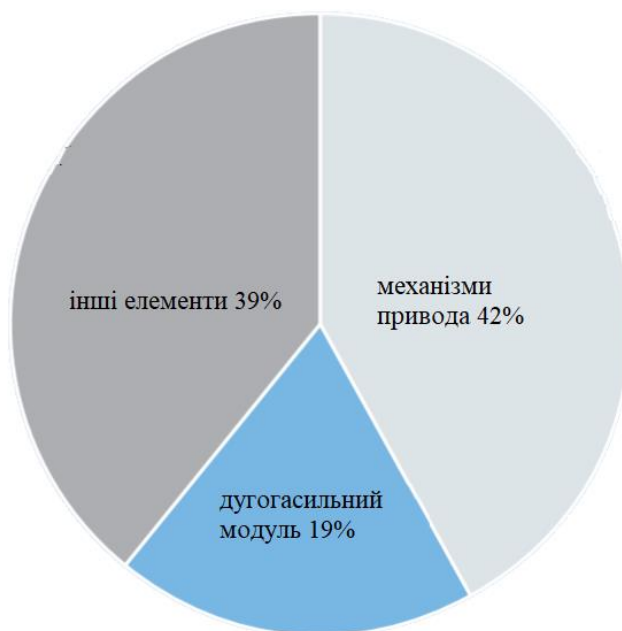


Рисунок 1.6 - Відмови елегазових вимикачів

Найбільше відмов елегазових вимикачів (рис. 1.6) пов'язано з несправністю блоків відключення, яка є конструктивною недоробкою заводу-виробника.



Рисунок 1.7 - Відмови оливних бакових вимикачів

Найбільше відмов оливних вимикачів (рис. 1.7) відбулося через несправність приводу, що призвело до невиконання команд на включення та відключення, а також ненавмисне включення, відключення та затримки виконання операції. У більшості випадків це спричинило пошкодження самого вимикача.

Аналіз даних щодо відмови вимикачів дозволив виділити основні причини відмов приводу:

- Згоряння електромагнітів через порушення міжвиткової ізоляції в результаті тривалої експлуатації та заїдання штока сердечника електромагніту
- Розрегулювання механізмів приводу, а також пригорання і розрегулювання блок-контактів в комутаційних пристроях приводили до тривалого протікання струму по обмотках електромагнітів, внаслідок чого вони перегоріли. Причиною цього став тривалий термін служби та багаторазові операції вимикача, що призвело до зносу деталей приводу, а також неякісного регулювання механізмів після проведення капітального ремонту.

18% несправностей вимикачів пов'язані з пошкодженнями високовольтних вводів:

- Найчастішою причиною пошкодження вводу є пробій паперово-масляної ізоляції, а також покриття по порцеляновій покривці через осідання продуктів горіння олії на її поверхні.

Порцелянові сорочки пошкоджені через неякісне виготовлення на фабриці, що призвело до виникнення мікротріщин, зволоження паперу ізоляції олії та її деградація.

7% вимикачів виходять з ладу через пошкодження передавальних механізмів від приводу. Основною причиною було порушення структури матеріалу деталей, втрата ізолюючих властивостей, що призвели до пробоя олії всередині бака, шляхом перекриття тяги на корпус. У деяких випадках це призводило до вибуху та повного руйнування вимикача. 9% відмов вимикачів пов'язані з несправностями дугогасних пристроїв.

Невелика кількість вимикачів виходить з ладу через витік масла.

Висновки до першого розділу

В результаті наведеного аналізу зробимо висновки:

- Ушкодження вимикачів пов'язані з недоліками проектування та експлуатації, монтажу та налагодження, а також відсутністю своєчасної діагностики технічного стану контактів комутаційного апарату.

- Виявлено, що велика кількість технологічних порушень в електричних мережах з причин, пов'язаних із старінням (зносом) обладнання, що свідчить про необхідність збільшення обсягів діагностики технічного стану та реконструкції об'єктів електромережевого господарства.

- Сучасний стан розвитку діагностики показує, що питання визначення надійності вимикачів є важливим на даному етапі розвитку електроенергетики.

2. ДІАГНОСТУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ

2.1 Завдання діагностування.

Вимикач вважається складним елементом енергосистеми, який складається з наступних частин: вимикача; роз'єднувачів; вимірювальних трансформаторів; ошиновки; пристроїв захисту та автоматики.

Головними завданнями діагностування є:

- Визначення технічного стану електрообладнання в умовах впливів, які змінюються в процесі експлуатації.
- Виявлення небезпеки від дефекту,
- Прогнозування залишкового ресурсу в реальному часі.

Параметрів високовольтних вимикачів досить велика кількість, обумовимо параметри які визначають при діагностуванні нормативною, заводською документацією [10, 11, 21].

Якість роботи контактної системи вимикачів визначає в першу чергу черга сукупність наступних основних часових параметрів: час включення та відключення, різночасність включення фаз, тривалість і характер брязкоту контактів. Ці параметри повинні суворо контролюватись в умовах експлуатації на відповідність допустимим (Нормується) значенням. Зауважимо, що робота вимикача залежить від стану його механічних частин, правильності регулювань, налаштувань, ступеня зносу, наявності дефектів, що розвиваються, точності виготовлення деталей та якості складання на заводі-виробнику

Основним показником несправності вимикача є параметр частоти відмов, який розраховується як відношення загальної кількості всіх видів відмов за період експлуатації до загального ресурсу вимикачів.

Збільшення параметру потоку відмов вітчизняних вимикачів можна пояснити такими обставинами: великою кількістю масляних вимикачів напругою 110 кВ у загальному використанні; частою роботою пристроїв у непередбачених режимах; неякісністю модульних вимикачів, через недостатній

обсяг приймальних випробувань; зниженням експлуатаційної надійності вимикачів, які перебувають у експлуатації понад 16 років.

Дані про вихід з ладу вимикачів на з'єднаннях не дають повного уявлення про причини їх ненадійної роботи. Це пов'язано не тільки з місцем розташування вимикача, але також залежить від виробничих і експлуатаційних несправностей, виникнення несправностей при підготовці до введення в експлуатацію, впливу на вимикач під час роботи, перевищення номінальних характеристик автоматичних вимикачів. Пошкодження відбуваються як у стаціонарному стані так і при виконанні операцій (відключення коротких замикань, оперативних перемикань, навантажень, т.д.).

2.2 Дефекти вимикачів

Основні виробничі дефекти є недостатня надійність ізоляторів, нетривалий термін служби ущільнень, втрата ізоляційних властивостей епоксидних ввідів. Можливо спостерігати збільшення кількості поломок через обслуговуючий та ремонтний персонал, що свідчить про недостатній рівень кваліфікації, труднощі прогнозування стану вимикачів, відсутність пристроїв технічної діагностики для своєчасного виявлення несправностей.

Звернувши увагу на показники надійності [15, 16] (інтенсивність відмов λ , період експлуатації T), в залежності від часу знаходження в експлуатації (рис. 2.1) ми робимо висновки, що велика кількість відмов вимикачів (дефекти конструкції та виготовлення, які впливають на елегазо вимикачів) виявляються переважно у початковий період експлуатації та припадає в кінці терміну експлуатації (відповідно до паспортного ресурсу). Старіння або зношеність характеризується різким збільшенням інтенсивності відмов зумовлених втратою технічного ресурсу. Період нормальної експлуатації характеризується мінімальною і постійною інтенсивністю раптових відмов.

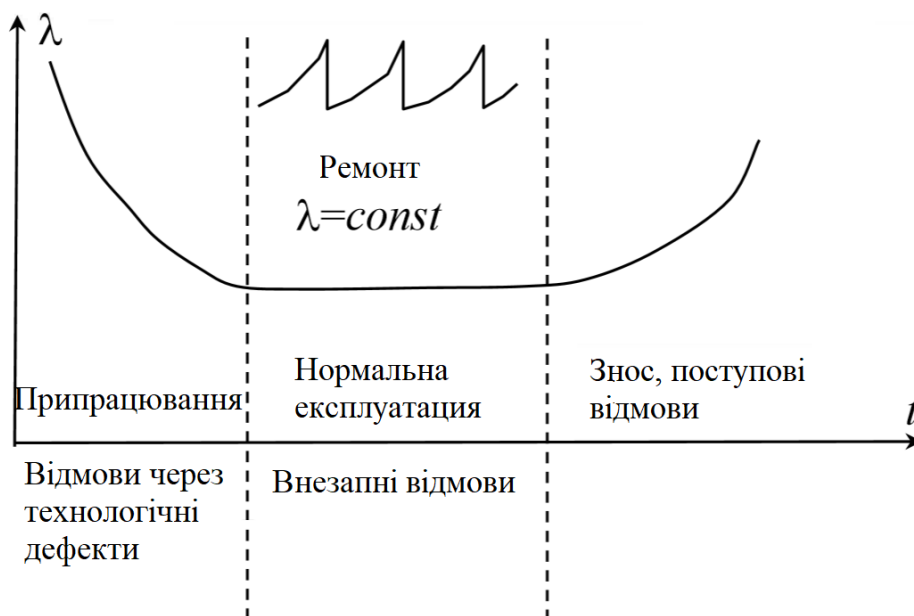


Рисунок 2.1 – Інтенсивність відмов високовольтних вимикачів

При класифікації методів прогнозування технічного стану складних систем у літературі виділяються три великі класи [14, 31, 32]: екстраполяції, моделювання та опитування експертів. Залежно від застосовуваного математичного апарату класифікація методів прогнозування надзвичайно велика. Наразі розроблено десятки різних математичних методів прогнозування, багато з яких можуть бути використані для вирішення завдань прогнозування технічного стану; Вибір математичного апарату для вирішення конкретної задачі прогнозування визначається головним чином постановкою завдання та видом математичної моделі прогнозованого процесу;

До основного завдання прогнозування технічного стану відноситься визначення часу, протягом якого у контрольованому об'єкті гарантується відсутність аварійної ситуації із заданою ймовірністю. Іншим завданням, логічно наступним з основного, слід вважати визначення часу виникнення аварійної ситуації на підставі безконтактної реєстрації динамічних процесів у ланцюгах живлення контрольованого об'єкта.

Будь-яка аварійна ситуація представляє собою завершальну фазу розвитку деградаційних процесів. Схематично цей процес представлений на рис. 2.2.

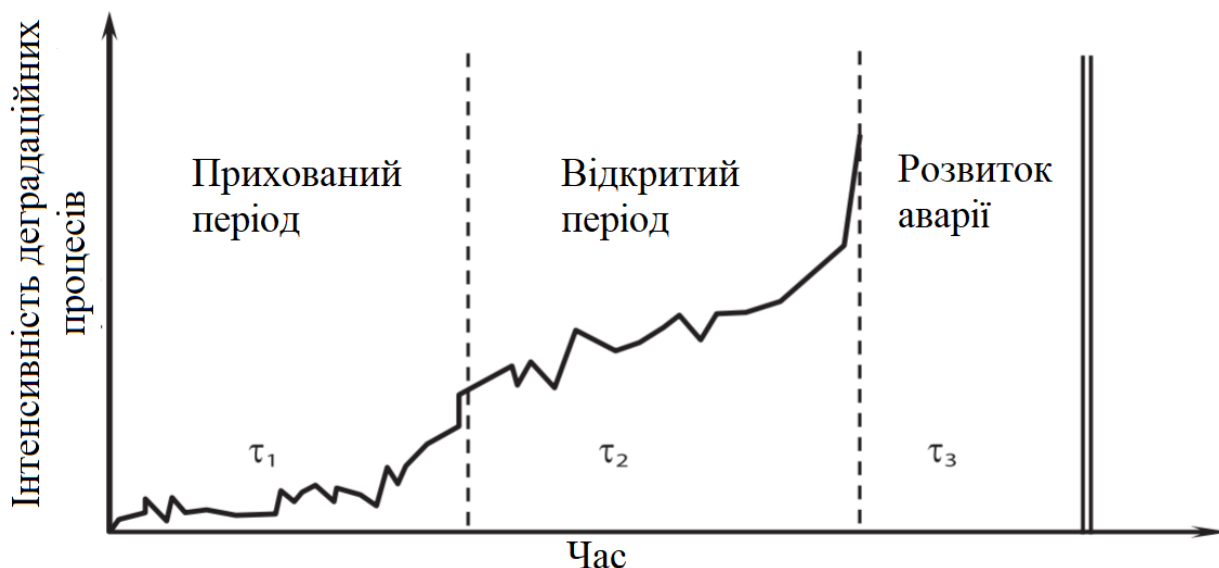


Рисунок 2.2 – Розвиток аварійної ситуації

У першому наближенні розвиток деградаційних процесів можна уявити три фази, тривалістю τ_1 , τ_2 та τ_3 відповідно. Дві останні фази протікають, відкрито і не представляє труднощів їх зафіксувати.

Найефективніший спосіб запобігти аварійної ситуації є її виявлення на першій стадії та прогнозування розвитку в плані передбачити тривалість часів τ_1 та τ_2 . Виходячи з цього прогнозу, приймається рішення або про зупинку установки та проведення відповідних ремонтно-відновлювальних робіт, або про продовжувати експлуатацію з відповідним ризиком.

Виявлення деградаційних процесів на фазі їх прихованого розвитку та прогнозування часу τ_1 , протягом якого можливо безперечно продовжувати працювати, завдяки існуванню діагностуванню та онлайн моніторингу.

Контроль технічного стану вимикача потребу визначення великої кількості параметрів, безумовно, продовжувати роботу, виявляється можливим завдяки існуванню «інформативних ознак». Під «інформативними ознаками» розуміють фізичні ефекти, що створюють сигнали про виникнення в об'єкті дефектів або позапланових деградаційних процесів, які з високим ступенем ймовірності наводять до відмов через певний час або за певних умов.

«Інформативна ознака» може бути прихована від безпосереднього спостереження та виявлення сигналами, пов'язаними з нормальною роботою об'єкта, або ж являти собою специфічну зміну цих сигналів [9, 11].

Набір фізичних величин за параметри «інформаційних ознак» та особливості їх змін є індивідуальними для кожного типу об'єкта. Тому у випадку їх можна звести до набору умовно безрозмірних величин і провести аналіз загальних засад реалізації прогнозування технічного стану щодо зміни параметрів

Висновки до другого розділу

1. Основним показником несправності вимикача є параметр частоти відмов.
2. Будь-яка аварійна ситуація представляє собою завершальну фазу розвитку деградаційних процесів

3. ВИЗНАЧЕННЯ РИЗИКІВ ПІД ЧАС ДІАГНОСТУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ

3.1 Постановка задачі та початкові дані

Визначення ризиків відмов високовольтних вимикачів важливе, адже надійність їх роботи в розподільних пристроях впливає на якість та безпеку систем генерування, транспортування, розподілу та споживання електричної енергії. В наш час зростають вимоги до якості електричної енергії, до надійності електропостачання особливо у мікропроцесорних систем автоматичного та автоматизованого управління технологічним процесом в різних галузях виробництва продукції (наприклад, в металургійній, хімічній, в агро-переробній, в гірничо-видобувній і т.п.).

Враховуючи зростаючий виробничий електротравматизм на виробництві [17, 18], велику вартість сучасного обладнання та продукції, яка виготовлена з застосуванням цього обладнання - необхідно вдосконалювати методи розрахунку ризиків травмування. В [13] Бондаренко Є.А. зазначає те, що «вирішення проблеми удосконалення захисту людей, які взаємодіють з електроустановками, має виняткову важливість для розвитку країни. По суті, вдосконалення зводиться до створення ефективної системи безпеки експлуатації електроустановок для попередження електро травматизму – системи, яка базується на нормативно-правовому, науковому й технологічному забезпеченні».

Бондаренком Є.А. вперше робиться аналіз ризику електротравматизму з позиції пробіт-метода [39]. Відомо, що пробіт-функція є математичною залежністю, яка пов'язує специфічні особливості негативної дії загрози на деякий об'єкт з розміром можливої шкоди.

Використання системного підходу для побудови пробіт-функції забезпечує єдиний метод урахування особливостей пари «фактор-наслідки» для різних умов і створює основу для кількісного оцінювання ризику від ураження

електричною енергією, що дає можливість удосконалити систему захисту людини в електроустановках. Розвиток методу пробіт-аналізу стосовно сфери електробезпеки може розглядатися як окремий напрям наукових досліджень.

Електроприймачі з підвищеними вимогами до надійності та якості електроенергії, виникла необхідність удосконалення та розвитку методів розрахунку надійності розподільчих електричних мереж [15, 30]. Інший бік проблеми полягає в зручній формалізації задачі під час розрахунків надійності складної розподільчої мережі, яка б враховувала всі фактори впливу на надійність роботи розподільчої електроустановки.

Так, в статті проф. Бондаренка Є.А. [13] зазначається те, що «... рівень травматизму в електроенергетичній галузі, зріс до показника рівня виробничого травматизму в Україні, а рівень смертельного травматизму (з розрахунку кількості загиблих на 100 тисяч працюючих), в енергетичній галузі значно вище показника середнього рівня смертельного виробничого травматизму в Україні (більше на 90 %). Так, наприклад, за 2018—2019 роки в енергетичній галузі України спостерігається тенденція до зростання рівня смертельного виробничого травматизму».

У високовольтного обладнання такого, наприклад, як елегазові вимикачі багато деталей, які умовно можна згрупувати у блоки. Складність їх структури ускладнює аналіз надійності та ускладнює визначення ризиків відмов. Відомі підходи до розрахунку надійності вимикачів, ефективні у разі вирішення тієї чи іншої конкретної задачі, наприклад надійності дугогасної камери, або надійності апаратних введів, або надійності шафи управління [37, 45]. Такі методи аналізу надійності не підходять всього вимикача в цілому, або, що ще важливіше – не підходять до аналізу надійності сукупності обладнання в якому вимикач є складовим елементом [40 – 42]. Під час оцінювання якості роботи вимикача чи сукупності обладнання з вимикачем потрібно здійснити моделювання багатьох процесів, які відбуваються у вимикачеві чи у розподільному пристрої підстанції або електростанції. Це моделювання потрібне для визначення, для аналізу, для прогнозування та обґрунтування наслідків порушень під час експлуатації

вимикачів в цілому та під час діагностування зокрема. Також потрібен аналіз можливих наслідків врахування помилкових результатів діагностування. Отже, існуючі методи визначення ризику відмов вимикача під час експлуатації, як окремо, так і в складі розподільного пристрою (РП), наприклад, електричної станції не дозволяють коректно оцінити надійність роботи РП. Тому потрібно розробити нові методи оцінювання надійності вимикачів та електроустановок. А це є актуальною задачею.

Підставою для виконання розрахунків ризиків є:

- Правила улаштування електроустановок [19].
- Правила технічної експлуатації електричних станцій і мереж: галузевий керівний [20].
- Норми випробування електрообладнання [12].
- Технічне завдання до магістерської кваліфікаційної роботи Мельничука Д.О.

3.2 Характеристика системи діагностування вимикача

Система діагностування високовольного вимикача (СДВВ) не потребує використання будь-яких сенсорів, оскільки, функцію датчика положення рухомого контакту вимикача майже всіх конструкцій виконує його власна контактна система. Для цього використовується залежність електричної ємності між рухомими і нерухомими контактами вимикача від відстані між ними і зміна цієї ємності при русі контактів.

Для контролю параметрів вимикача за даним методом використовується наступна функціональна схема (рис. 3.1).

Основними елементами даної схеми є мікропроцесорний контролер МПК і три аналогових вимірювальних канали (для кожної фази вимикача) ВК_А, ВК_В, ВК_С. Зв'язок МПК з ВК, індикаторним табло ІТ і блоком керування БК здійснюється через програмований адаптер ППА.

Для виконання випробувань вимикача виходи Вих._А, Вих._В, Вих._С і входи

Вх._А, Вх._В, Вх._С вимірювальних каналів схеми підключають до контактів кожної фази вимикача S_A , S_B , S_C відповідно, а вхід «Запуск» - до котушки електромагніта ввімкнення (під час контролю параметрів ввімкнення) або роз'єднувача (при контролі параметрів вимкнення) приводу високовольтного вимикача.

При подачі команди ввімкнення або вимкнення за допомогою штатних органів управління високовольтних вимикачів імпульс з електромагніта ввімкнення або роз'єднувача надходить через блок гальванічної розв'язки БГР і переводить МПК у режим управління вимірюваннями. У результаті у всіх трьох ВК включаються в роботу формувачі імпульсів ФІ, що виробляють напругу прямокутної форми частотою 500 кГц. За допомогою коливальних контурів LC вони перетворюються в напруги, які по формі близькі до синусоїдальних. Їхня амплітуда стабілізується обмежувачем напруги ОН. Завдяки цьому зміни міжконтактних ємностей, що входять до складу ємностей коливальних контурів, і відповідні зміни резонансних частот цих контурів не впливають на амплітуду вихідних коливань.

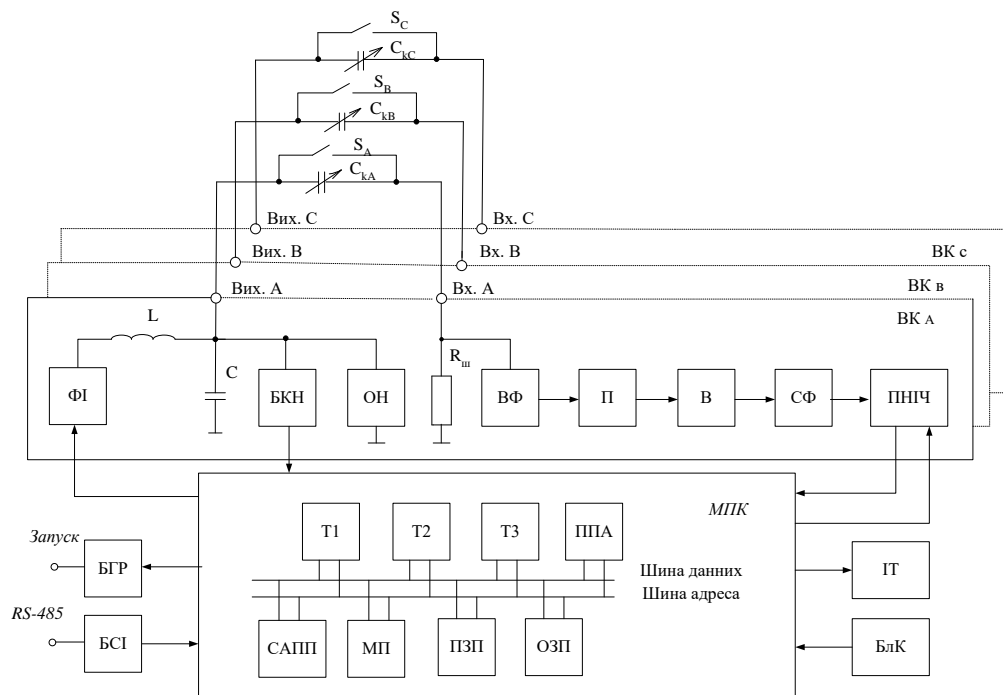


Рисунок 3.1 – Функціональна схема для визначення параметрів вимикачів

Під дією змінних напруг через міжконтактні ємності $C_{кА}$, $C_{кВ}$ і $C_{кС}$ кожної фази високовольтних вимикачів протікають струми, пропорційні цим ємностям і створюють на шунтах $R_{ш}$ відповідні спади напруг. Після ослаблення завад вибірковими фільтрами ВФ і підсилення підсилювачами П змінні напруги випрямляються випрямлячами В. Фільтри, що згладжують, ЗФ усувають пульсації цих напруг. Це приводить до зменшення похибки від не лінійності ВК. Наступне перетворення постійних напруг у цифрові коди здійснюється розрахунково – імпульсним методом за допомогою перетворювачів напруги в інтервалі часу ПНЧ (перетворювач напруги в інтервалі часу) і лічильників імпульсів. Таким чином, схема передбачає вимір міжконтактних ємностей одночасно в трьох фазах високовольтних вимикачів.

При випробовуваннях високовольтних вимикачів у режимі увімкнення при розімкнутих (в цю мить поки що нерухомих контактах) здійснюється циклічне вимірювання початкової ємності $C_{вим}$, і її значення «по колу» записуються у виділені для кожної фази високовольтних вимикачів області оперативного запам'ятовуючого пристрою (ОЗП). У процесі руху контактів ємність між ними зростає. У момент замикання контактів коливальні контури LC відповідних ВК шунтуються низькоємнісними резисторами $R_{ш}$. Напруги на виходах ВихА, ВихВ, ВихС зменшуються практично до нуля, і блоки контролю напруги БКН видають у МПК команду припинення роботи ВК. Для одержання інформації про форму часово – ємнісної залежності контрольованого високовольтного вимикача з необхідною точністю, вимірювання ємностей виконуються з частотою близько 1,5 кГц, що забезпечує на інтервалі часу руху контактів високовольтних вимикачів запис в оперативному запам'ятовуючому пристрої ОЗП по 100 – 250 значень ємності для кожної фази (у залежності від типу високовольтних вимикачів).

При випробовуваннях високовольтних вимикачів у режимі вимкнення синусоїдальні напруги, на виходах високовольтних вимикачів, досягають

робочих значень через кілька мікросекунд після розмикання контактів і БКН видають у МПК команду початку роботи ВК. Після цього здійснюється вимір і запис в ОЗП по 256 значень ємностей для кожної фази високовольтних вимикачів. Після цього контролером робота ВК припиняється, і МП виконує попередню обробку часово – ємнісних залежностей, що забезпечує зменшення похибки дискретизації виміру ємностей і впливу завад. Потім у точках траєкторії руху контактів, визначених координатно – ємнісними залежностями, здійснюється обчислення швидкості v їхнього руху по формулі:

$$v = K_m \cdot [dC_d(t)/dt] / [dC_{em}(s)/ds],$$

(3.1)

де K_m – коефіцієнт масштабування, що враховує розходження координатно-ємнісної і часово - ємнісної залежностей через неоднаковість діелектричних провідностей середовища між контактами (наприклад, через наявність, відсутності або неоднаковість параметрів трансформаторного масла в баках високовольтних вимикачів); $C_{em}(S)$ – значення міжконтактної ємності еталонного високовольтного вимикача у координаті визначення швидкості руху контакту, що знаходиться на відстані S до нерухомого контакту; $C_d(t)$ – значення міжконтактної ємності контрольованого високовольтного вимикача у момент часу t проходження рухомим контактом координати визначення швидкості руху контакту.

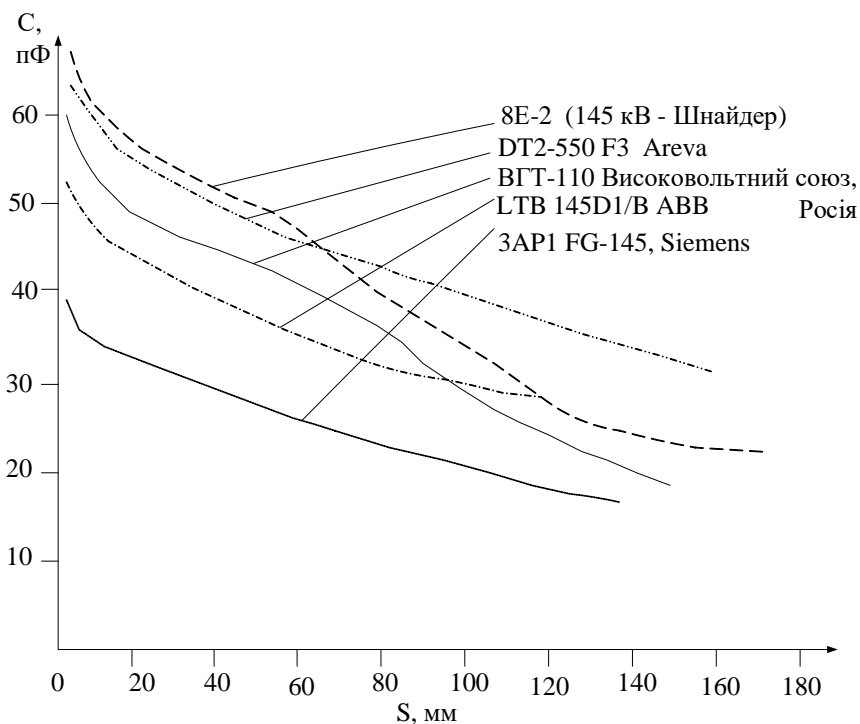


Рисунок 3.2 – Координатно – ємнісні характеристики деяких високовольтних вимикачів

Остаточне визначення швидкості руху контактів здійснюється за результатами спільної математичної обробки координатно-ємнісної і час – ємнісної залежностей. Для різних модифікацій високовольтних вимикачів координатно-ємнісні (еталонні) залежності визначаються заздалегідь, а саме, експериментальним шляхом.

Розраховані по значення швидкості, що утворюють залежність швидкості від відстані між контактами, записуються в ОЗП. По цьому масиві МП вибирає три значення швидкості, регламентовані нормами на іспити вимикача:

- швидкості v_1 руху контактів у момент їхнього замикання або розмикання;
- швидкості v_2 руху контактів при вході в дугогасильну камеру або виході з неї;
- максимальної швидкості v_3 руху контактів.

У процесі обчислення швидкості контактів за графіком час – ємнісної залежності МП визначає час переміщення контактів. Момент початку або

закінчення їхнього руху при включенні або відключенні вимикача відповідно знаходиться за значенням похідної ємності за часом. Зазначений час використовується потім при розрахунку власного часу вимкнення ВВ. Час увімкнення, як і інтервал часу від моменту подачі команди увімкнення ВВ до моменту розмикання контактів, визначається за допомогою таймера Т2. Потім за показниками трьох каналів цього таймера МП розраховує значення різночасності замикання або розмикання контактів по фазах.

Крім перерахованих нормованих характеристик вимикача, схема за допомогою таймера Т3 вимірює тривалість імпульсу керування приводом вимикача. Цей додатковий параметр несе допоміжну інформацію, полегшуючу визначення причин відключень характеристик вимикача від нормованих.

Значення всіх обмірюваних параметрів руху контактів вимикача, а також час – ємнісні залежності останнього іспиту зберігаються в ОЗП з літєвим гальванічним елементом як чергове джерело живлення. Це дозволяє відтворювати результати раніше виконаних вимірів (до 70 ввімкнень або вимкнень ВВ) для заповнення протоколів іспитів.

Для автоматизації протоколювання мається можливість підключення схеми до персонального комп'ютера через вхідний у схему приладу синхронно-асинхронний приймач САПП і блок БСІ стандартного інтерфейсу RS-232.

При поточних, капітальних і аварійних ремонтах високовольтних вимикачів (ВВ) для оцінки їх фактичного стану необхідно контролювати велику кількість механічних і електричних характеристик. В ВНТУ розроблені мікропроцесорні випробовувальні системи для контролю характеристик часу, швидкості і ходу, які характеризуються багатьма показниками. Накопичений десятирічний досвід їх експлуатації свідчить про необхідність вдосконалення методів та засобів проведення випробовувань.

Для цього розглянемо недоліки, які мали місце підчас експлуатації розроблених пристроїв, які реалізують запропоновані методи, та шляхи їх подолання.

3.3 Дотримання вимог норм випробовувань

У наш час в експлуатаційній діагностиці високовольтних вимикачів інтенсивно розвиваються два основних напрямки: безперервний (моніторинг) і періодичний контроль [6]. Безперервний контроль припускає функціонування діагностичних приладів на працюючому устаткуванні під високою напругою, що істотно ускладнює і здорожує ці прилади, і виправданий тільки для відповідальних об'єктів. Тому особлива увага приділяється удосконалюванню методів і приладів періодичного експлуатаційного контролю параметрів комутаційної апаратури в знеструмленому стані .

Щоб провести діагностику стану високовольтного вимикача, необхідно провести випробування вимикачів у повному об'ємі, що затверджений в нормах випробування електрообладнання [12].

Вимикач перевіряється монтажним персоналом на одночасність замикання і розмикання контактів. Ними же вимірюється хід рухомої частини, вжим і хід контактів при вмиканні, R_{i3} рухливих і направляючих частин, виконаних з органічних матеріалів, бакової ізоляції, кріпильних шпильок і дугогасильних пристроїв. Також проводиться контроль швидкісних характеристик вимикача і його тепловізійний контроль.

Для вимірювання опору бакової ізоляції на її поверхню у верхній і нижній частинах накладаються тимчасові електроди і до них приєднуються проводи від мегометра. Вимір опору ізоляції рухливих частин вимикача виробляється підключенням мегометра з однієї сторони до траверси у відключеному положенні, а з іншого боку – до конструкції бака вимикача.

У вимикачів, що мають фіброві прокладки в дугогасильних камерах, вимірюється їхній опір ізоляції. Після заливання масла у вимикач вимірюється опір ізоляції рухливих частин і введів при включеному положенні. При одержанні результатів менше нормованих вимірюється опір ізоляції на відключеному вимикачі і замкнених накоротко вводах. За результатами вимірів опору ізоляції у включеному і відключеному положеннях повітряного вимикача

визначається опір ізоляції рухливих частин по формулі:

$$R_{I3} = \frac{R_{I3.VKЛ} \cdot R_{I3.BIDKЛ}}{R_{I3.BIDKЛ} - R_{I3.VKЛ}}, \quad (3.2)$$

де $R_{I3.VKЛ}$ – величина опору ізоляції ввімкненого повітряного вимикача, МОм; $R_{I3.BIDKЛ}$ – величина опору ізоляції відключеного повітряного вимикача, МОм.

При одержанні в результаті вимірів величин опору ізоляції менше встановлених нормами бакова ізоляція підлягає сушінню. Опір ізоляції котушок включення і відключення і вторинних ланцюгів привода вимикача вимірюється мегомметром на напругу 1000 В і повинен бути не менш 1 МОм.

При вимірі тангенса кута діелектричних втрат $tg\delta$ вводів після установки їх на вимикач можливе підвищення вимірюваної величини в порівнянні з нормованим значенням за рахунок впливу внутрішньої бакової ізоляції. Вимір $tg\delta$ ізоляції вимикача проводиться на цілком зібраному вимикачі мостом «Вектор 2» або СА7100 (МД-16 або Р-5026) по перевернутій схемі. При одержанні значень $tg\delta$, що перевищують норму, проводиться вимір з виключенням впливу бакової ізоляції (опускання бака, зливання масла, закорочення дугогасильних камер). Для бакових масляних вимикачів напругою 35 кВ оцінка впливу бакової ізоляції при підвищених значеннях $tg\delta$ обов'язкова. Якщо при виключенні впливу бакової ізоляції величина $tg\delta$ вводів зменшується більш ніж на 4%, внутрішня ізоляція вимикача підлягає сушці. Після заливання вимикача маслом проводиться перевірка його опору ізоляції мегомметром на напругу 2 500 В і вимір $tg\delta$ при включеному і відключеному вимикачі. Величини опору ізоляції і діелектричних втрат повинні бути в обох випадках практично однаковими.

Таблиця 3.1 – Величина випробувальної напруги для вимикачів

Номінальна напруга, кВ	Величина випробувальної напруги, кВ	Номінальна напруга, кВ	Величина випробувальної напруги, кВ

	Нормальна ізоляція	Полегшена ізоляція		Нормальна ізоляція	Полегшена ізоляція
3	22	12	35	85	—
6	29	19	110	225	—
10	38	29	150	290	—
15	49	43	220	425	—
20	58	—			—

Випробувальна напруга подається на обидва вводи кожної фази. Випробування ізоляції масляних вимикачів підвищеною напругою промислової частоти виробляється протягом 1 хв.

Ізоляція вимикачів і ізоляція контактного розриву у вимикачів випробуються напругою, величина якого залежить від номінальної напруги вимикача і приведена в таблиці 3.1.

Ізоляція вторинних ланцюгів і котушок привода випробується напругою змінного струму 1 кВ протягом 1 хв.

3.4 Необхідність вдосконалення системи діагностування

Ремонтним та налагоджувальним організаціям доводиться проводити випробування вимикачів всіх видів: електромагнітних, масляних, повітряних, елегазових і вакуумних.

Тому бажано вдосконалити випробувальні системи надавши їм універсальні функції. Спеціалізовані ж системи орієнтовані на контроль одного - двох видів вимикачів. Тому спеціалізовані прилади в 1,5 - 2 рази дешевше універсальних, мають менше режимів роботи і органів управління і простіше в обслуговуванні.

Отже, якщо на підприємстві є тільки один вид вимикачів, або декілька, наприклад масляні і повітряні у великій кількості, за умови, що вони

обслуговуються окремими ремонтними бригадами, то доцільно мати спеціалізовані прилади для кожної бригади.

Якщо ж є декілька видів вимикачів, кількість їх невелика і обслуговуються вони однією бригадою висококваліфікованих фахівців, то універсальний прилад може виявитися переважаючим.

Якщо часові характеристики зареєструвати досить просто для будь-якого виду ВВ, то для отримання характеристик ходу і швидкості потрібні інші методи і пристрої. Такі пристрої використовують запропонований і розглянутий ємнісний метод контролю, який дозволяє обійтися без датчика шляхом вимірювання ємності між контактами полюса, перетворюючи її зміну в процесі руху пересувного контакту щодо нерухомого в значення середньої швидкості на деякій ділянці ходу показав наступні недоліки: вимірювання швидкості можливе тільки на вимикачах напруги до 10 кВ з одним розривом на полюс; характеристики ходу (повний хід, хід до моменту перемикавання, вжим) не вимірюються взагалі.

Тому пропонується повернутись до використання сенсорів швидкості та замінити віброграф датчиками кутового або лінійного переміщення. У елегазових вимикачах, як вітчизняних, так і імпортованих, часто є вбудовані датчики середньої швидкості реостатного або контактного подинці на полюс. Повітряні вимикачі серій ВНВ і В також мають вбудовані реостатні датчики ходу приводу сопів в кількості, залежній від класу напруги ВВ: для вимикача ВНВ-500 - два датчики на полюс, для ВНВ-750 - три, а для ВНВ-1150 – одинадцять сенсорів на полюс. Датчик кутового переміщення потрібний для контролю характеристик ходу і швидкості масляних вимикачів серій ВМТ, ВМ, ВТ і ВК.

При автоматичних вимірюваннях швидкісних характеристик за допомогою сенсорів переміщення з високою роздільною здатністю можна одержати зовсім інші графіки (порівняно з віброграмами) в координатах: швидкість залежно від часу, швидкість залежно від ходу, хід залежно від часу та інші. Вони відображають процеси руху траверси і пересувних контактів, взаємодія їх з направляючими механізмами, пересувними контактами і

буферами. Отже, по їх зовнішньому вигляду, відхиленню його від стандартного можна оперативно провести діагностику несправності цих вузлів та година ж після висновку вимикача в ремонт.

Діапазони вимірювання часу і ходу мають задовольняти вимогам контролю всіх видів і типів вимикачів, окрім вакуумних. Для них поки що не створені датчики переміщення з необхідною точністю (не гірше 0,1 мм), що дозволило б не тільки контролювати швидкісні характеристики, але і вимірювати знос контактів.

Дискретність відліку ходу визначається конструкцією сенсорів і рівна 0,5 мм для лінійного переміщення і 5,4 кутових хвилин - для кутового. Але сумарна похибка визначення ходу містить декілька складових, у тому числі і визначуваних конструкцією вимикача, тому максимальна результуюча погрішність ходу для лінійного датчика досягає 1 мм, а для кутового - 2...3 мм.

Швидкість руху визначається як результат ділення значення шляху 0,5 мм на якийсь час, за який цей шлях проходить траверса. Тобто швидкість визначається в усіх точках руху через кожні 0,5 мм. Одержувана при цьому крива містить різні випадкові не інформативні коливання, які при подальшій автоматичній обробці згладжуються, наприклад, методом ковзаючого усереднювання по чотирьом крапкам і т.п.

Верхня межа діапазону вимірювання швидкості вибрана в 20 м/с, що перебиває значення швидкості для всіх типів вимикачів. Похибка ж вимірювань не перевищує 2% у всьому діапазоні швидкостей існуючих вимикачів.

Найбільша нестиковка необхідних і наявних діапазонів вимірювання спостерігається для швидкості. Максимальна величина швидкості для вимикача серії ВМТ досягає 10 м/с, а для деяких елегазових вимикачів - 20 м/с.

Паспортна величина ходу в контактах (вжиму) гарантує надійність торкання пересувного і нерухомого контактів. Його величина складає одиниці міліметрів, тому і погрішність вимірювання не повинна перевищувати +(0,5-1) мм. У зв'язку з цим погрішності сенсорів переміщення більш +2 мм дають дуже велику зону невизначеності зміряного значення вжиму.

У імпортованих приладах використовується датчик ходу не інкрементного (число-імпульсного), як у вітчизняних приладах, а аналоговий, реостатного з відносною погрішністю +1%. При вимірюванні великих значень ходу, наприклад, для вимикача ВМТ-220 або МКП-220 з повним ходом 800 мм, абсолютна погрішність ходу може складати +8 мм.

Діапазони вимірювання часу і ходу всіх відомих сенсорів задовольняють вимогам контролю всіх видів і типів вимикачів, окрім вакуумних. Для них поки що не створені датчики переміщення з необхідним дозволом (не гірше 0,1 мм), що дозволило б не тільки контролювати швидкісні характеристики, але і вимірювати знос контактів.

Таким чином, контроль вимикачів без застосування сенсорів ходу можливий на підприємстві, яке експлуатує вимикачі напруги, якщо фахівці з ремонту визнають вимірювання характеристик ходу необов'язковими.

Потрібно забезпечити адаптованість сенсорів і програмного забезпечення для всіх видів вимикачів, для того щоб забезпечити:

- закріплення датчика з комплекту приладу на різні вимикачі;
- методику контролю, яка автоматично вносить необхідні поправки до результату вимірювання в залежності від виду вимикача;
- автоматичні розрахунки для запису результатів вимірів (по отриманим осцилограмам) в таблиці часових характеристик згідно ГОСТ 687-78;
- автоматичні розрахунки лінійної швидкості і ходу контактів в залежності від значень кутів повороту у відповідності до кінематичних схем вимикачів з серій ВМТ, ВМ, ВТ і ВК і т.п.

Ця задача дуже складна, враховуючи велику кількість типів і модернізацій вимикачів, їх територіальну розкиданість і не завжди просте завдання отримання до них доступу для проведення дослідження. Тому робота по вирішенню цієї задачі достатньо тривала і може зайняти не один рік.

Підстанція високої напруги - це місце з великою інтенсивністю електростатичних і електромагнітних перешкод. Перешкоди можуть наводитися на сам прилад, на комп'ютер, бути частиною наведеної на полюс вимикача

напруги, і надходити по проводах, які сполучають прилад з вводами, проникати з мережі живлення, бути присутніми в корисному сигналі сенсорів.

При розробці приладу прагнуть врахувати і нейтралізувати вплив завад. Невизначеним чинником залишається завадостійкість комп'ютерів. Їх звичайні офісні моделі просто не призначалися для роботи в таких умовах.

Крім того, розробники не завжди правильно враховують вплив наведеної напруги, основним захистом від якого вважають гальванічне розділення вхідних ланцюгів. Цей складний технічний захід, що збільшує габарити, вагу і вартість приладу.

Як показали проведені дослідження, збої в роботі вхідних каналів викликає не велика величина наведеної напруги, а велика величина струму перешкоди. Боротися з нею можна, збільшуючи вхідний робочий струм каналів до сотень міліампер.

Тому величину робочого струму всього лише близько декількох десятків міліампер потрібно значно збільшити, інакше виникають проблеми з завадостійкістю.

3.5 Ризики, що розглядаються

В таблиці 3.2 приведені компоненти ризиків

Таблиця 3.2 – Компоненти ризику

RA	Компонент ризику нанесення шкоди живим істотам в результаті ураження електричним струмом внаслідок неспрацювання вимикача
RB	Компонент ризику фізичного пошкодження суміжного з вимикачем обладнання, викликаного помилками оцінювання технічного стану ВВ під час діагностування
RC	Компонент ризику відмови вторинних внутрішніх систем розподільних пристроїв, викликаного неспрацюванням вимикача

Компоненти ризику для обладнання приміщення управління обладнанням РП	
RM	Компонент ризику відмови обладнання розподільних пристроїв, викликаного не спрацюванням вимикача під час пошкоджень обладнання, яке цей вимикач мав б відключити,
Компоненти ризику для обладнання розподільних пристроїв при невідключеного вимикачем пошкодженого обладнання	
RU	Компонент ризику нанесення шкоди живим істотам внаслідок ураження їх електричним струмом при надструмах КЗ в обладнання РП
RV	Компонент ризику фізичного пошкодження РП (пожежа або вибух вимикачів, викликані пошкодженнями вимірювальних оливних трансформаторів, силових трансформаторів, оливних вимикачів і т.п.)
RW	Компонент ризику відмови систем управління та автоматики, викликаного стрибками напруги та струму під час відмови обладнання, не відключеного вимикачем
Компоненти ризику для РП при не спрацюванні вимикача	
RZ	Компонент ризику відмови обладнання РП, викликаного невідключеними струмами КЗ ліній на шин РП

Значення прийнятного ризику RT в ситуаціях, коли неспрацювання вимикача може спричинити загибель і травмування людей або втрати, пов'язані з нанесенням шкоди обладнанню управління та релейного захисту РП, наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Ймовірність пошкодження вимикача

Вид порушення	Ймовірність пошкодження, одиниць за рік
Втрати – загибель і травмування людей $RT1$	10^{-5}
Втрати – часткове чи повне руйнування громадських комунікацій $RT2$	10^{-3}
Втрати – пошкодження об'єктів культурного призначення $RT3$	10^{-4}
Економічні втрати	10^{-3}

Оскільки, обладнання РП, що розглядається (а саме ВВ), не є пристроями управління, релейного захисту та протиаварійної автоматики, то будемо розглядати такі ризики:

- R1 (ризик загрози для життя);
- R2 (ризик загрози руйнування суміжного обладнання (шин, опорних ізоляторів, конденсаторів зв'язку, вимірювальних трансформаторів і т.п.));
- R4 (ризик економічних втрат за рахунок витрат на ремонти, на заміну обладнання).

3.6 Збір даних для початку розрахунку

Дані для розрахунків ризиків вибираємо і записати з наступних джерел [22 – 28]:

РІЧНИЙ ЗВІТ. ANNUALREPORT 2010. [Електронний ресурс]: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2011 р. – 96 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/richnizvity/>, (дата звернення: 05.10.2018);

РІЧНИЙ ЗВІТ. ANNUALREPORT 2011. [Електронний ресурс]: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2012 р. – 81 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/richnizvity/>. (дата звернення: 05.10.2018).

РІЧНИЙ ЗВІТ. ANNUALREPORT 2012. [Електронний ресурс]: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2013 р. – 114 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/richnizvity/>. (дата звернення: 05.10.2018).

РІЧНИЙ ЗВІТ. ANNUALREPORT 2013. [Електронний ресурс]:
Міністерство енергетики та вугільної промисловості України Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2014 р. – 115 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/richnizvity/>. (дата звернення: 05.10.2018).

РІЧНИЙ ЗВІТ. ANNUALREPORT 2014. [Електронний ресурс]:
Міністерство енергетики та вугільної промисловості України Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2015 р. – 107 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/richnizvity/>. (дата звернення: 05.10.2018).

РІЧНИЙ ЗВІТ. ANNUALREPORT 2015. [Електронний ресурс]:
Міністерство енергетики та вугільної промисловості України Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2016 р. – 105 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/richnizvity/>. (дата звернення: 05.10.2018).

РІЧНИЙ ЗВІТ. ANNUALREPORT 2016. [Електронний ресурс]:
Міністерство енергетики та вугільної промисловості України Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2017 р. – 103 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/richnizvity/>. (дата звернення: 05.10.2018).

3.7 Розрахунок ризиків

Загальна формула для розрахунку ризиків R1 до пошкоджень на території РП:

$$R1=RA+RB+RC+RM+RU+RV+RW+RZ \quad (3.3)$$

де:

RA – компонент, пов'язаний із загрозою для живих істот від ураження електричним струмом

RB – компонент, пов'язаний із фізичним пошкодженням

RC – компонент, пов'язаний зі збоєм внутрішніх систем

Загальна формула для розрахунку ризиків до пошкоджень за територією

РП:

RM – компонент, пов'язаний зі збоєм внутрішніх систем

RU – компонент, пов'язаний із загрозою для живих істот від ураження електричним струмом

RV – компонент, пов'язаний із фізичним пошкодженням

RW – компонент, пов'язаний зі збоєм внутрішніх систем .

Оскільки ризик вибуху вимикача та загибелі людей внаслідок відмови систем керування вимикачем немає то, тоді ризик R1 містить лише такі компоненти:

$$R1=RA+RB+RU+RV \quad (3.4)$$

Оцінювання компоненту ризику за КЗ поблизу ліній, приєднаних до будівлі управління РП:

RZ – компонент, пов'язаний зі збоєм внутрішніх систем

Формули розрахунку компонентів ризику:

$$RA=ND \times PA \times LA. \quad (3.5)$$

де PA – ймовірність зменшення пошкодження за рахунок вчасних дій з обслуговування електрообладнання, внаслідок якісного діагностування;

$$RB=ND \times PB \times LB. \quad (3.6)$$

$$RU=(NL+NDJ) \times PU \times LU. \quad (3.7)$$

РА – ймовірність зменшення пошкодження за рахунок вчасних дій з обслуговування електрообладнання, внаслідок якісного діагностування;

$$RV=(NL+NDJ) \times PV \times LV. \quad (3.8)$$

Для початкового розрахунку розглядаємо РП як такий, що не обладнаний системою діагностування.

3.7.1 Розрахунок РА

Розраховуємо елемент ризику РА:

$$RA=ND \times PA \times LA= 7,967 \times 10^{-7}, \text{ в. о.}$$

РА – ймовірність зменшення пошкодження за рахунок вчасних дій з обслуговування електрообладнання, внаслідок якісного діагностування;

$$ND=NG \times AD \times CD \times 10^{-6}=0,033195 \text{ в.о.};$$

$$NG=2,9 \text{ в.о.};$$

$$AD=0,25 \text{ в.о.}$$

Ймовірність зменшення пошкодження за рахунок вчасних дій з обслуговування електрообладнання, внаслідок якісного діагностування

$$PA=P_{TA} \times PB=1;$$

$$P_{TA}=1.$$

$PB=1$ – ймовірність зменшення пошкодження за рахунок вчасних дій з обслуговування електрообладнання, внаслідок якісного діагностування;

Подібним шляхом здійснено розрахунок ризиків пошкоджень та небезпечних ситуацій без використання систем діагностування вимикачів та з використанням трьох варіантів таких систем. Результати показані в таблиці 3.4.

Ризики пошкоджуваності вимикачів та зв'язаного з ними видами обладнання РП не повинні перевищувати 10^{-5} в.о. одиниць за рік.

Таблиці 3.4 – Визначення ризиків з експлуатації обладнання ВРП

Ризики з експлуатації трьох варіантів РП , од. за рік.	Заходи on-line діагностування відсутні , од. за рік.	Заходи on-line діагностування Використовуються, од. за рік
R1	$11,16 \times 10^{-5} > 10^{-5}$	$7,5 \times 10^{-6} < 10^{-5}$
R2	$2,93 \times 10^{-3} > 10^{-3}$	$1,48 \times 10^{-4} < 10^{-3}$
R3	$1,395 \times 10^{-2} > 10^{-3}$	$1,486 \times 10^{-4} < 10^{-3}$

Отже для трьох варіантів РП використання систем on-line моніторингу зменшує ризик пошкоджень РП, викликаних відмовами в роботі високовольтних вимикачів.

3.7.2 Прогнозування ймовірності відмови комірки високовольтного вимикача на інтервалі часу експертно-статистичним методом

Для вирішення задачі оцінення поточного стану електричної мережі, до складу яких входять розподільчі установки високої напруги, взято відображення мережі у вигляді матриці. Метод, розроблений Р. Біллінтоном та Н. Аланом, полягає в переході від структури мережі до матриці. Цей перехід спрощує математичне моделювання розподільчих пристроїв будь-якої конфігурації, від простих до складнозамкнених (тупикових або транзитних). На рис. 3.2 зображено перехід структури мережі до матриці, яка характеризує топологію цієї мережі.

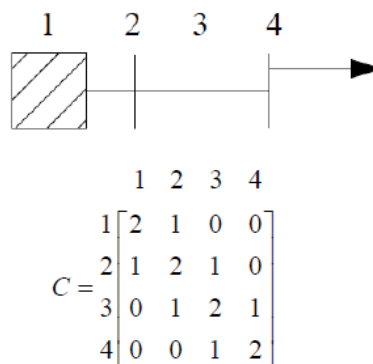


Рисунок 3.3 – Перехід від структури мережі до топологічної матриці.

Таблиця 3.5 – Ймовірно-топологічна матриця станів елементів у випадку відмови кожного (одного) елемента

	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	$p(H_1/B)_1$	1	1	1
3	1	$p(H_1/B)_2$	1	1
4	1	1	$p(H_1/B)_3$	1
5	1	1	1	$p(H_1/B)_4$

За розробленою методикою визначення ризику порушення роботи РП, в діагональ матриці замість «0» (відмова елемента) ставиться $p(H_1/B)_i$ с (ймовірність відмови i -го елемента електроустановки) і оцінюється ймовірність роботоздатного стану інших елементів відповідно до топологічного зв'язку. Роботоздатний стан позначається як 1.

Згідно з ймовірно-топологічною матрицею стану елементів складається матриця часу відновлення нормальної роботи електроустановки. Замість ймовірності відмови ставиться час відновлення кожного елемента схеми, враховуючи топологічний вплив. Час відновлення визначається за довідковою літературою, або нормативною літературою та за виробничою документацією.

Таблиця 3.6 – Матриця часу відновлення нормальної роботи електроустановки

	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	$p(H_1/B)_1$	$p(H_1/B)_1$	$p(H_1/B)_1$	$p(H_1/B)_1$
3	1	$p(H_1/B)_2$	$p(H_1/B)_2$	$p(H_1/B)_2$
4	1	1	$p(H_1/B)_3$	$p(H_1/B)_3$
5	1	1	1	$p(H_1/B)_4$

t_B - час відновлення вимикача.

В основу алгоритму розрахунку надійності електричного обладнання покладено формування послідовності топологічних матриць, які відображають стадії роботи алгоритму.

Висновки до третього розділу

1. Використання методів визначення ризиків експлуатації, а саме визначення ризиків викликаних використання систем діагностування високовольтних вимикачів створює передумови якісної та без аварійної експлуатації шляхом вибору більш складних умов експлуатації для вимикачів у яких ризик експлуатації менший.
2. Розрахункові значення ризиків можуть бути використані під час проектних робіт, пов'язаних з проектуванням РП електричних станцій та підстанцій.

4 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИМИКАЧІВ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

4.1 Розробка математичної моделі вимикача

Існуючі системи контролю і діагностики високовольних вимикачів спираються в своїх розрахунках на вже існуючі математичні моделі вимикачів, але класичні моделі мають досить суттєвий недолік – вони не можуть визначити і врахувати функціональні зв'язки між всіма вхідними величинами. Для таких випадків є дуже конструктивною технологія нечіткого моделювання. Нечітке моделювання дозволяє одержувати більш адекватні результати в порівнянні з результатами, які ґрунтуються на використанні традиційних аналітичних моделей і алгоритмів керування [7, 28].

Після аналізу літератури [33 - 36] та протоколів випробувань вимикачів Південно-Західної електроенергосистеми були складені таблиці причин відмов вимикачів (табл. 4.1, табл. 4.2).

Таблиця 4.1 – Причини відмов елегазних вимикачів по окремим елементам

Елемент вимикача	% від загального числа відмов
Дугтєвий клапан камери	9,52
Дугтєвий клапан відокремлювача	9,52
Контакти відокремлювача	4,76
Контакти камери	4,76
Обігрів шафи	4,76
Клапана відключення	4,76
Клапана включення	4,76
Гумові ущільнення	19,04
Фарфор камери	19,04
Фарфор відокремлювача	9,52
Електромагніти	4,76
Клапана управління	4,76

Таблиця 4.2 – Причини відмов елегазних вимикачів по вузлам

№ п/п	Вузол вимикача	% від загального числа відмов
1	Опорно стрижнева ізоляція	23,56
2	Електромагнітний привід	4,76
3	Дугогасильна камера	19,04
4	Ресивер	4,1
5	Контактна система	9,52
6	Клапана система шафи керування	14,28
7	Пнемо – кінематична схема	19,04
8	Магістраль подачі повітря	5,7

Проаналізувавши наведені таблиці, літературу [38] та поради фахівців Південно – Західної електроенергосистеми, запропоновано наступну функціональну схему вимикача (рис. 4.1).

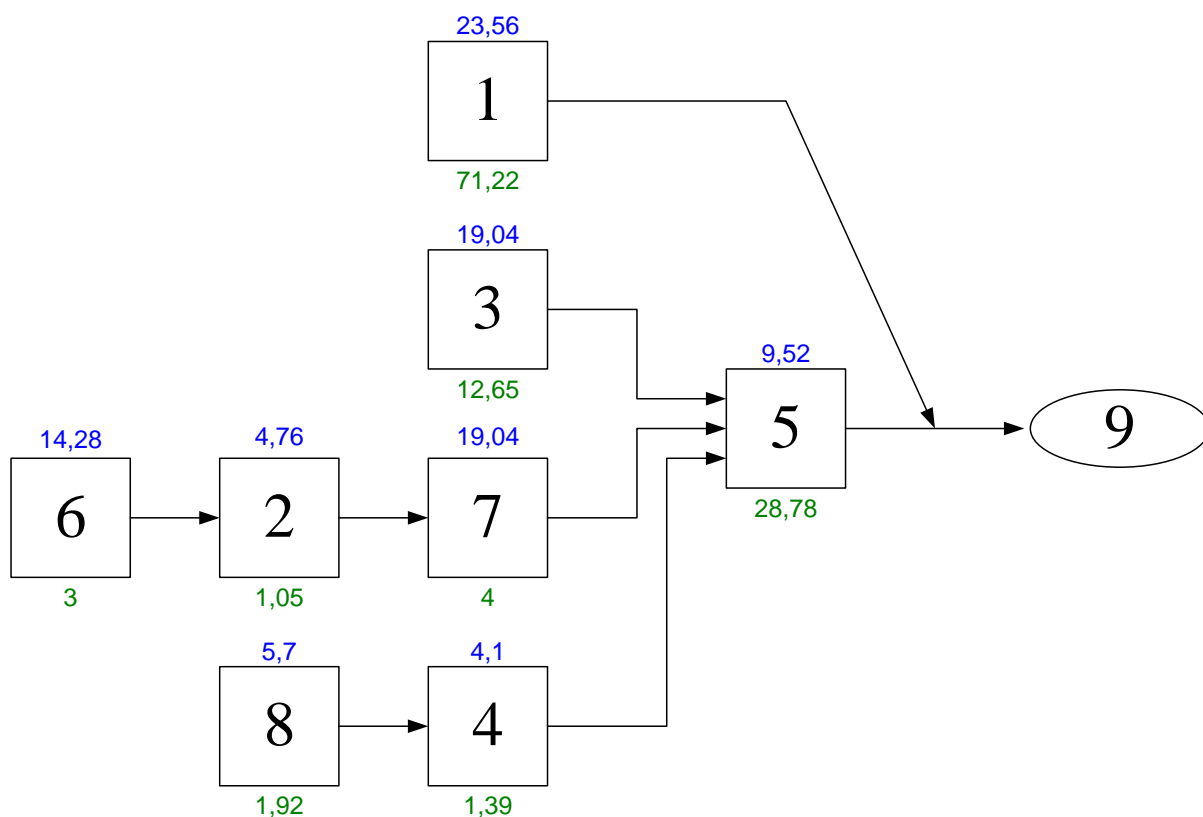


Рисунок 4.1 – Функціональна схема високовольтного вимикача

Примітка: кожен блок схеми – елегазо вузла з відповідним порядковим номером з табл. 4.2. Блок 9 – елегазо вимикача.

На рисунку 4.1 синім кольором наведені відсотки відмов вимикачів, які сталися саме через цей блок, які взяті з табл. 4.2.

Далі запропонована методика переоцінки вагових коефіцієнтів впливу, яка складається з трьох правил, що наведені нижче.

Правило 1. Елегазо повністю справної системи дорівнює 1.

Правило 2. Параметри, що впливають паралельно (рис. 4.2) на елегазо системи, додаються.

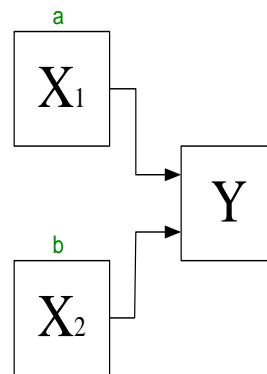


Рисунок 4.2 – Графічне пояснення до 2 правила методики

X_1, X_2 – роботоздатності відповідних вузлів; a, b – вагові коефіцієнти впливу відповідних вузлів на загальну елегазо системи; Y – загальна елегазо системи.

Загальна елегазо системи в такому випадку розраховується за формулою:

$$a \cdot X_1 + b \cdot X_2 = Y. \quad (4.1)$$

Наприклад. Вагові коефіцієнти впливу роботоздатності вузлів X_1 і X_2 на загальну елегазо дорівнюють 0,4 і 0,6 відповідно. Тоді при повній роботоздатності цих вузлів (тобто такій, що дорівнює 1), елегазо системи за формулою 4.1 буде дорівнювати 1. Якщо ж їх елегазо з певних причин впаде 0,5, то елегазо системи буде:

$$0,4 \cdot 0,5 + 0,6 \cdot 0,5 = 0,5.$$

Правило 3. Параметри, що впливають на елегазо системи за схемою, що подана на рис. 4.3 , перемножуються.

Загальна елегазо системи в такому випадку розраховується за формулою:

$$a \cdot X_1 \cdot b \cdot X_2 = Y. \quad (4.2)$$

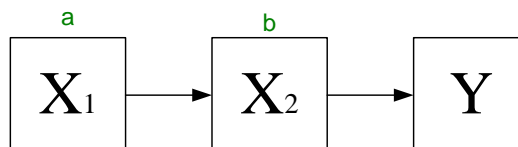


Рисунок 4.3 – Графічне пояснення до 3 правила методики

X_1, X_2 – роботоздатності відповідних вузлів; a, b – вагові коефіцієнти впливу відповідних вузлів на загальну елегазо системи; Y – загальна елегазо системи.

Наприклад. Вагові коефіцієнти впливу роботоздатності вузлів X_1 і X_2 на загальну елегазо дорівнюють 0,5 і 2 відповідно. Тоді при повній роботоздатності цих вузлів (тобто такій, що дорівнює 1), елегазо системи за формулою 4.2 буде дорівнювати 1. Якщо ж їх елегазо з певних причин впаде 0, 5, то елегазо системи буде:

$$0,5 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 0,5 = 0,25.$$

Після застосування цих правил вагові коефіцієнти впливу кожного вузла на загальну елегазо запропонованої функціональної схеми були перераховані з урахуванням даних з таблиці 4.2 і наведені зеленим кольором на рис. 4.1.

Після аналізу функціональної схеми і запропонованої методики була запропонована математична модель вимикача для визначення його роботоздатності:

4.2 Нечітке моделювання в середовищі MathLab

Нечітке моделювання проводилося в середовищі програми fuzzyTECH програмного комплексу MATLAB .

Система MATLAB (від англ. MATrix LABoratory – матрична лабораторія) являє собою інтегроване програмне середовище для проведення чисельних розрахунків, комп'ютерного моделювання і числових дослідів, які охоплюють в тому чи іншому об'ємі різні розділи класичної та сучасної математики, а також великий спектр інженерних додатків [43].

Нечітке моделювання в середовищі MATLAB виконується з використанням пакету розширення Fuzzy Logic Toolbox, в якому реалізовані десятки функцій нечіткої логіки і нечіткого висновку.

Нейро – нечітке моделювання оперує наступними поняттями: штучний нейрон, штучна нейрона мережа.

Штучний нейрон – складається з помножників (синапсів), суматора і нелінійного перетворювача. Нейрон має визначену внутрішню структуру (рис. 4.4) і правила перетворення сигналів [47].

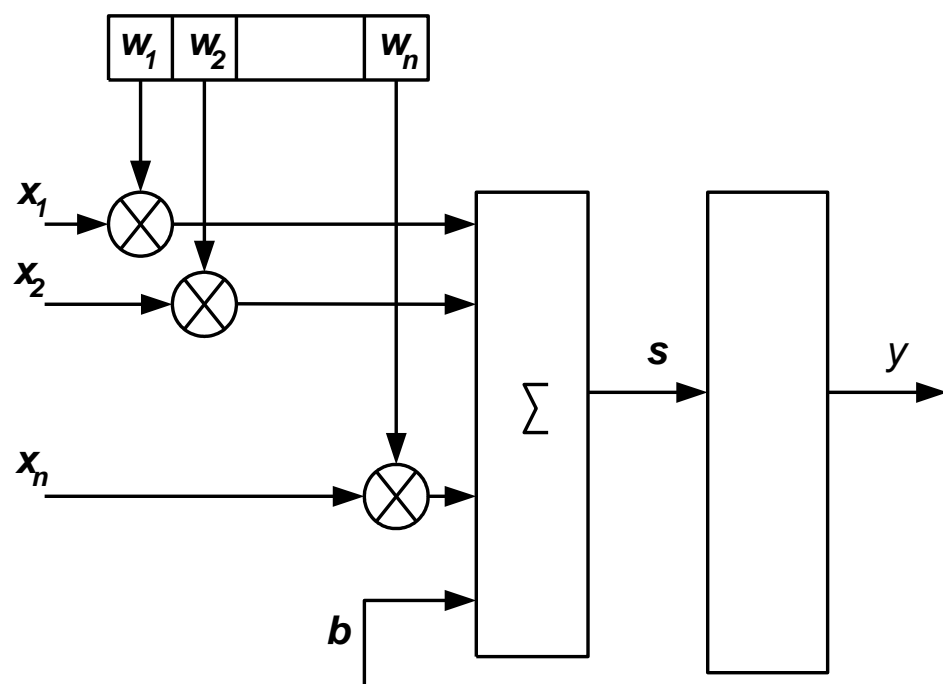


Рисунок 4.4 – Структура штучного нейрона

Синапси, які зображені перекресленим колом (рис. 4.4), призначені для зв'язку нейронів між собою та помножують вхідний сигнал x_1 на деяке постійне число [43]. Число w_1 називається вагою синапсу і характеризує силу зв'язку. Суматор виконує додавання всіх сигналів, які поступають на вхід нейрона від інших нейронів та зовнішні вхідні сигнали. Нелінійний перетворювач призначений для нелінійного перетворення вихідного значення суматора згідно деякої функції від одного аргументу. Ця функція називається функцією активації або передаточною функцією нейрона [48].

Правила перетворення сигналів визначаються математичною моделлю нейрона, яка може бути записана у формі наступних аналітичних виразів:

$$s = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i + b; \quad (4.4)$$

$$y = f(s), \quad (4.5)$$

де w_i – вага синапса ($i \in \{1, 2, \dots, n\}$); b – значення зміщення; s – результат сумування; x_i – компонент вектора входу або вхідного сигналу ($i \in \{1, 2, \dots, n\}$); y – вихідний сигнал нейрону; n – число входів нейрону; f – функція активації нейрону.

Синаптичний зв'язок з додатніми вагами w_i називається збуджуючим, з від'ємним – гальмуючим.

Нейрона мережа являє собою сукупність окремих нейронів, які взаємодіють між собою деяким фіксованим чином. При цьому взаємозв'язок нейронів визначається чи задається структурою нейроної мережі [13].

Нейро-нечітка модель діагностування вимикача була побудована у відповідності до наступних етапів:

1. Створення навчальної вибірки. Вибірка даних була сформована з використанням запропонованої моделі. Навчальні дані представлені у вигляді матриці розмірності $m \times (n+1)$, в якій кількість рядків m відповідає кількості серій вимірів, n – кількість контрольованих параметрів, останній стовпець $(n+1)$

відповідає значенню вихідної змінної, а інші – значенню вхідних змінних. Об'єм вибірки для навчання: $m=200$ при $n+1=8$. Фрагмент навчаючої вибірки наведений в таблиці 4.3.

2. Вибір архітектури нейро-нечіткої мережі. Система нечіткого висновку для даної архітектури була визначена як Сугено. Система Сугено оперує логічними правилами вигляду:

$$\text{ПРАВИЛО\#}: \text{ЯКЩО } \langle \beta_1 \in \alpha' \rangle \text{ I } \langle \beta_2 \in \alpha'' \rangle \text{ ТОДІ } \langle \omega = \varepsilon_1 \cdot a_1 + \varepsilon_2 \cdot a_2 \rangle, \quad (4.6)$$

де ε_1 і ε_2 – деякі вагові коефіцієнти. При цьому значення вихідної змінної ω визначається як деяке дійсне число.

3. Навчання нейронної мережі на основі наявної інформації, отриманої з за - пропонованої моделі. Були завантаженні навчаючі дані (рис. 4.5), вибрано тип функцій приналежності. Навчання проходило для різних функцій приналежності: П – подібна функція (pimf), функція приналежності типу функції Гауса (gaussmf), S – подібна функція (sffis), Z – подібна функція (zmf), трикутна функція приналежності (trimf) та трапецієвидна функція (trapmf).

Трикутна функція приналежності. Функція використовується для задання таких множин, які характеризують невизначеність типу: “приблизно дорівнює”, “середнє значення”, “розташований у інтервалі”.

В загальному вигляді може бути задана аналітично слідуючим виразом :

$$f_{\square}(x; a, b, c) = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{array} \right\} \quad (4.7)$$

де a, b, c – деякі числові параметри, що приймають довільне значення і впорядковані виразом $a \leq b \leq c$.

Z – і S – подібна функції. Отримали свої назви від вигляду кривих, що представляють їх графіки. Інша назва функцій – сплайн – функції. Функції використовуються для задання таких множин, які характеризують невизначеність типу: “мала кількість”, “невелике значення”, “незначна величина”.

Перша аналітично задається виразом:

$$f_z(x; a, b) = \left\{ \begin{array}{ll} 1, & x < a \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{x-a}{b-a} \pi\right), & a \leq x \leq b \\ 0, & x > b \end{array} \right\} \quad (4.8)$$

де a, b , – деякі числові параметри, що приймають довільне значення і впорядковані виразом $a < b$.

Друга аналітично задається виразом:

$$f_s(x; a, b) = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & x < a \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{x-b}{b-a} \pi\right), & a \leq x \leq b \\ 1, & x > b \end{array} \right\} \quad (4.9)$$

де a, b , – деякі числові параметри, що приймають довільне значення і впорядковані виразом $a < b$.

4.2.1 Створення моделі з використанням алгоритму Сугено

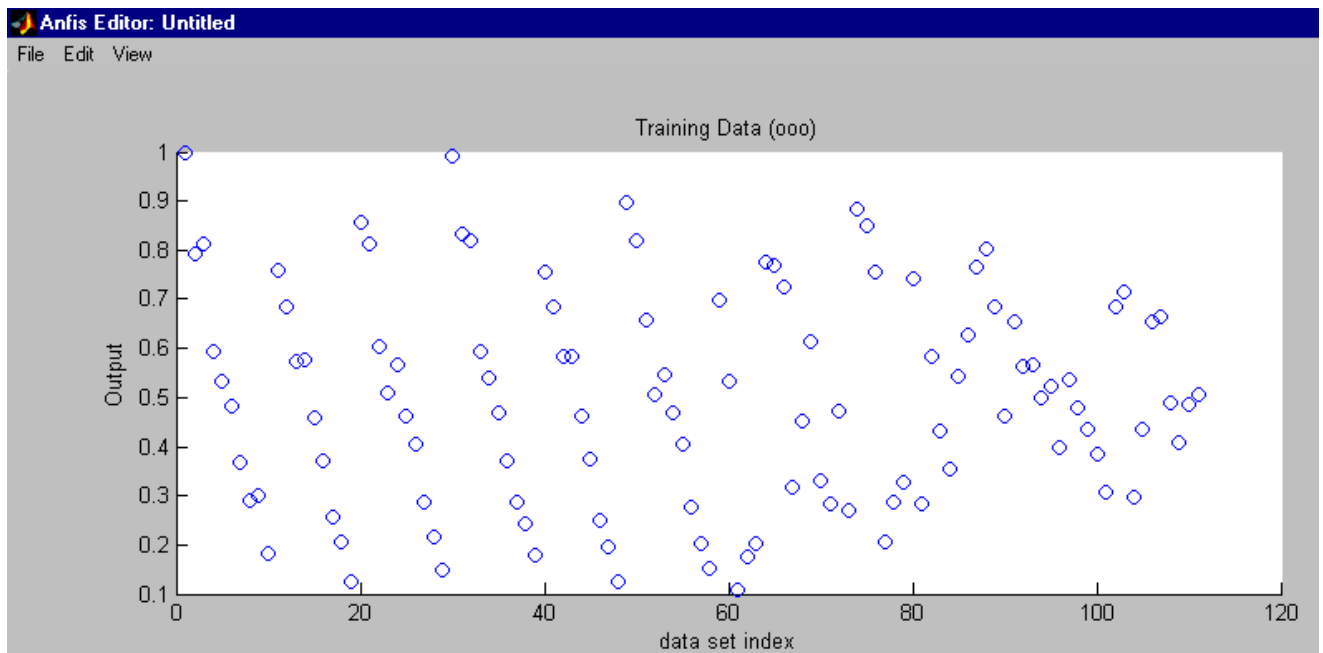


Рисунок 4.5 – Графічний інтерфейс редактора ANFIS після завантаження навчальних даних

Трапецієвидна функція. Функція використовується для задання таких самих множин, що і трикутна функція. Аналітично задається наступним виразом:

$$f_T(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x - a}{b - a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d - x}{d - c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (4.10)$$

де a, b, c, d – деякі числові параметри, що приймають довільне значення і впорядковані виразом $a \leq b \leq c \leq d$.

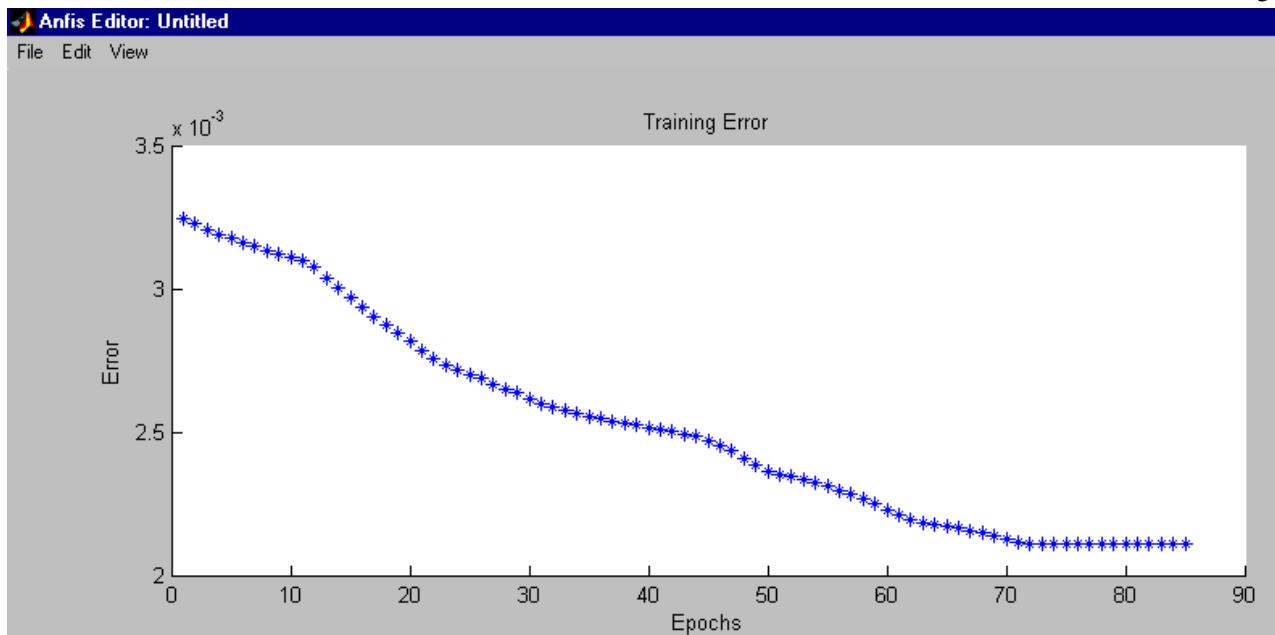


Рисунок 4.6 – Графічний інтерфейс редактора ANFIS після навчання з функцією приналежності trapmf

П – подібна функція. Аналітично задається виразом:

$$f_{\Pi}(x; a, b, c, d) = f_S(x; a, b) \cdot f_Z(x; c, d), \quad (4.11)$$

де a, b, c, d – деякі числові параметри, що приймають довільне значення і впорядковані виразом $a \leq b < c \leq d$, а знак “.” позначає звичайний арифметичний добуток значень відповідних функцій.

Функція приналежності типу функції Гауса. Симетрична функція Гауса визначається виразом:

$$f_G(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.12)$$

де σ і c – числові параметри, при цьому квадрат першого з них в теорії ймовірності називається дисперсією розподілення, а другий – математичним очікуванням.

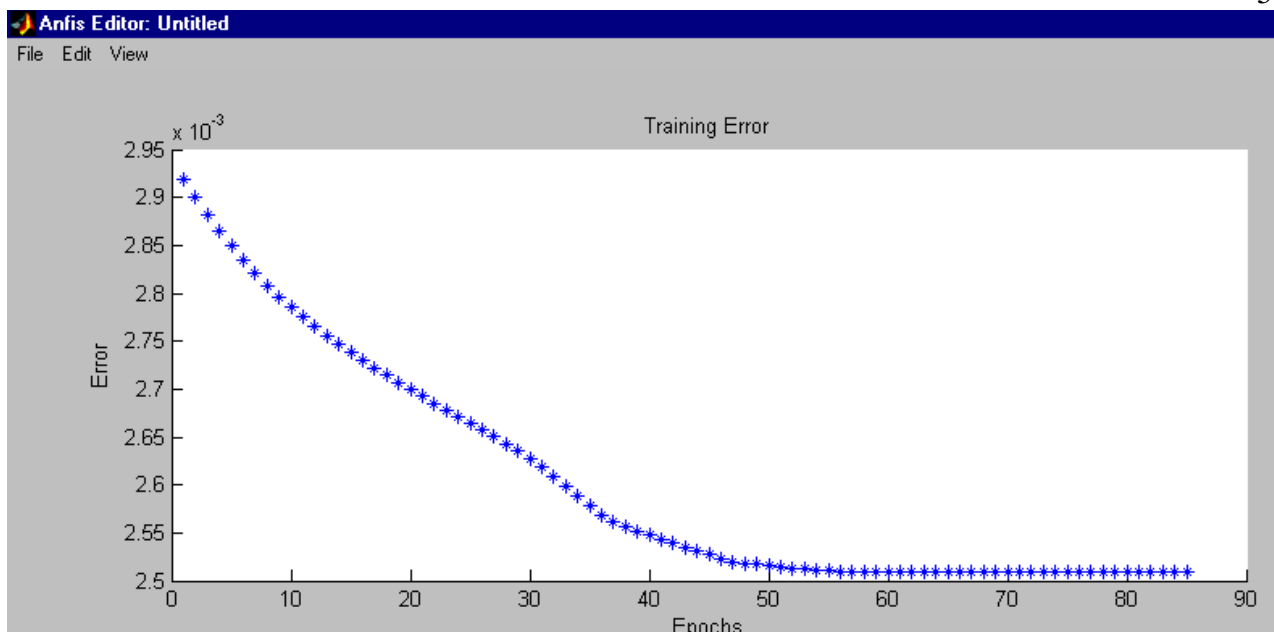


Рисунок 4.7 – Графічний інтерфейс редактора ANFIS після навчання з функцією приналежності `gaussmf`

При навчанні для всіх функцій була виставлена тривалість навчання у 85 епох.

Метод навчання вибраний гібридним, що являє собою комбінацію методів найменших квадратів і методу зворотного поширення помилки.

Таблиця 4.4 – Похибки функцій приналежності при навчанні

Функція приналежності	Похибка навчання (%)
<code>pimf</code>	0,78
<code>gaussmf</code>	0,25
<code>sffis</code>	0,84
<code>zmf</code>	0,39
<code>trimf</code>	0,62
<code>tramf</code>	0,21

Похибки, показанні різними функціями при навчанні, зведенні в таблицю 4.4.

Після аналізу похибок, які були отримані різними функціями приналежності, базовою функцією приналежності для параметрів нейро – нечіткої моделі діагностування вимикача була вибрана трапецієвидна функція

(trapmf).

Після навчання і отримання оптимальної нейро – нечіткої моделі діагностування вимикача було проведено її перевірку з даними, які надали експерти Південно – Західної електроенергосистеми.

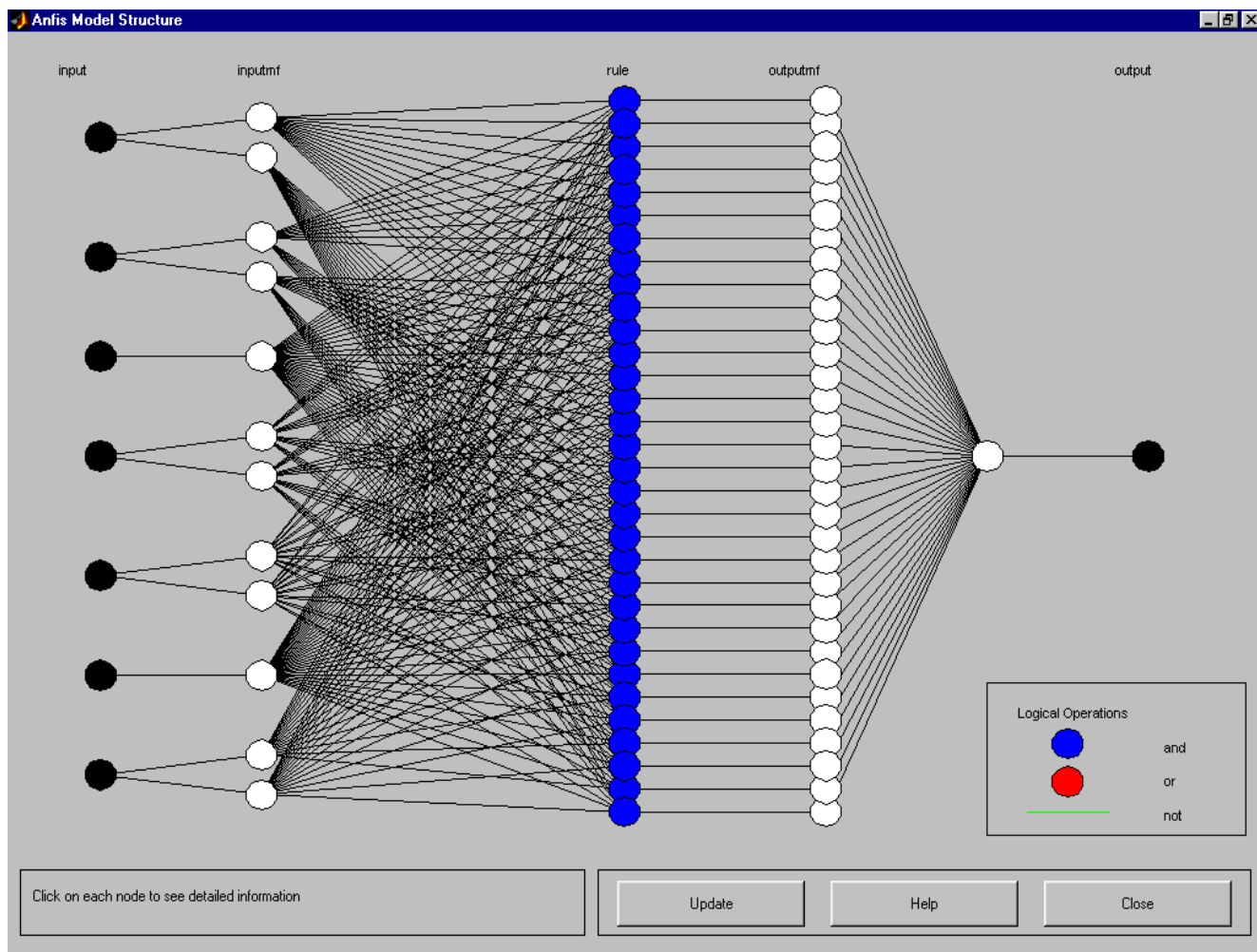


Рисунок 4.8– Структура згенерованої системи нечіткого висновку після навчання з функцією приналежності trapmf з термами 2 – 2 – 1 – 2 – 2 – 1 – 2

input – вхідні сигнали (елегазо блоків вимикача); inputmf – функції приналежності вхідних сигналів; rule – правила обробки вхідних сигналів; outputmf – функції приналежності вихідних сигналів; output – загальний вихідний сигнал (елегазо вимикача)

Дані були сформовані наступним чином всі значення параметрів, отриманні з датчиків і контролерів переводились у відносні одиниці, при цьому

вважалось, що значення параметру при вводі вимикача дорівнює 1 і під час експлуатації може змінюватися до 0 (під час аварії). З цього випливає, що навіть якщо вимикачі при вводі в експлуатацію мали різні рівні контролюваного параметру, то все одно по оцінках експертів елегазо цього параметра для вимикача у відносних одиницях дорівнювала 1, а при знятті з експлуатації 0.

Потім експерти по цій інформації визначали загальний стан вимикача, також у відносних одиницях. Вибірка даних експертів наведена в таблиці 4.5.

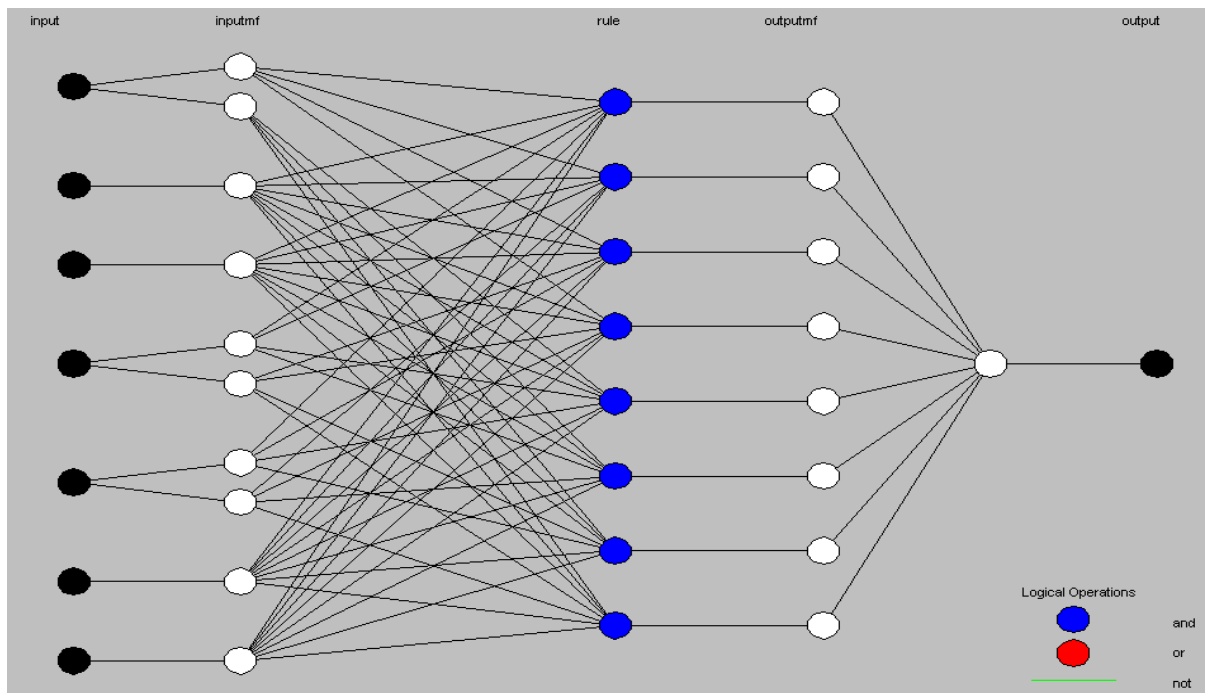


Рисунок 4.9– Структура згенерованої системи нечіткого висновку після навчання з функцією приналежності trapmf з термами 2 – 1 – 1 – 2 – 2 – 1 – 1

input – вхідні сигнали (елегазо блоків вимикача); inputmf – функції приналежності вхідних сигналів; rule – правила обробки вхідних сигналів; outputmf – функції приналежності вихідних сигналів; output – загальний вихідний сигнал (елегазо вимикача)

Таблиця 4.5 – Вибірка з даних, наданих експертами Південно – Західної електроенергосистеми

X1	X2	X3	X4	X6	X7	X8	Y
1	1	1	1	1	1	1	1
0,9	1	0,4	1	0,6	1	1	0,810796
0,8	0,9	1	0,9	1	0,8	1	0,828611
0,7	0,4	0,7	0,2	0,8	0,1	0,6	0,612891
0,6	0,4	0,7	0,4	0,8	0,2	0,9	0,556083
0,5	0,7	0,8	0,2	0,9	0,3	0,3	0,508097
0,3	0,7	0,5	0,9	0,4	0,3	0,1	0,30747
0,2	0,9	0,6	0,2	1,0	0,7	0,3	0,323986
0,1	0,4	0,8	0,3	0,3	0,5	0,2	0,182274
0,9	0,4	0,8	0,9	0,7	0,4	0,1	0,785372
0,8	0,6	0,4	0,7	0,9	0,7	0,9	0,710072
0,7	0,1	0,5	0,3	0,9	0,8	0,3	0,595468
0,6	0,7	0,9	0,5	0,3	0,9	0,8	0,59801
0,5	0,3	0,6	0,8	0,6	0,4	0,8	0,470298
0,3	0,4	0,2	0,1	0,5	0,6	0,9	0,265664
0,2	0,7	0,3	0,1	0,4	0,7	0,8	0,219797
0,1	0,2	0,4	0,1	0,3	0,5	0,2	0,142277
0,9	0,9	1,0	1,0	0,8	0,7	1,0	0,869759
0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	1,0	1,0	0,827128
0,6	0,5	0,4	0,4	0,5	0,7	0,8	0,53272
0,5	0,7	0,6	0,7	0,8	0,3	0,5	0,470403
0,4	0,7	0,8	0,3	0,6	0,3	0,5	0,421361
0,3	0,5	0,4	0,3	0,5	0,7	0,2	0,298161
0,2	0,6	0,3	0,5	0,6	0,7	0,3	0,23352
0,1	0,5	0,5	0,3	0,6	0,2	0,7	0,160673
.....

Перевірка таким методом дала помилку 18,53 % (рис. 4.11), що є доволі великою для визначення стану роботоздатності вимикача.

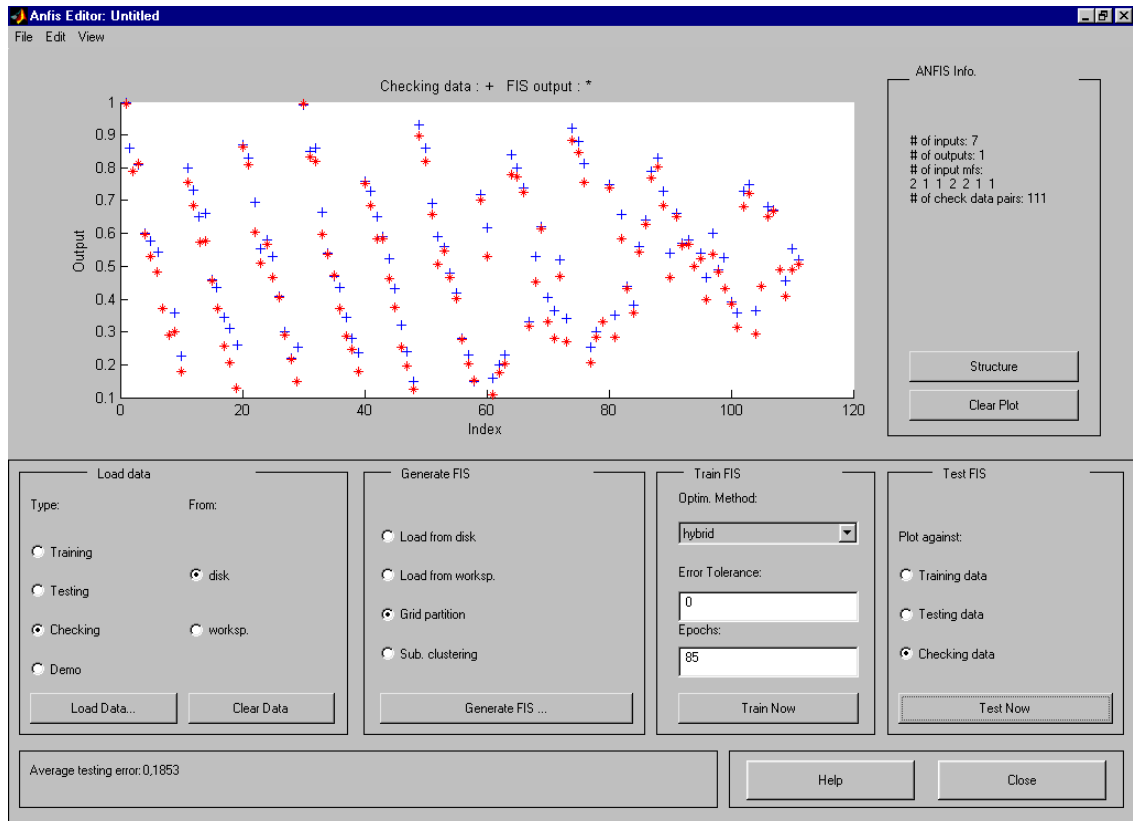


Рисунок 4.10 – Графічний інтерфейс редактора ANFIS при першій перевірці нейро – нечіткої моделі вимикача по даним експертів

Для зменшення похибки було проведене повторне навчання нейро – нечіткої моделі але вже з новими навчаючими даними, які були сформовані з початкових навчаючих даних шляхом додавання до них даних експертів.

Потім була проведена повторна перевірка, яка показала похибку 14,27 %. Це свідчить про те, що отримана нейро – нечітка модель діагностики вимикача здатна до самонавчання, при якому вихідне значення роботоздатності вимикача корегується і похибка розрахунку при цьому зменшується. Мінімальна похибка перевірки для створеної моделі склала 9,84 %.

У відповідності до функціональної схеми вимикача (рис. 4.1) та моделі (формула 4.3), які характеризують якість функціонування складових частин вимикача і з встановленням нечіткої змінної - якість функціонування вимикача, складено правила нечіткої моделі.

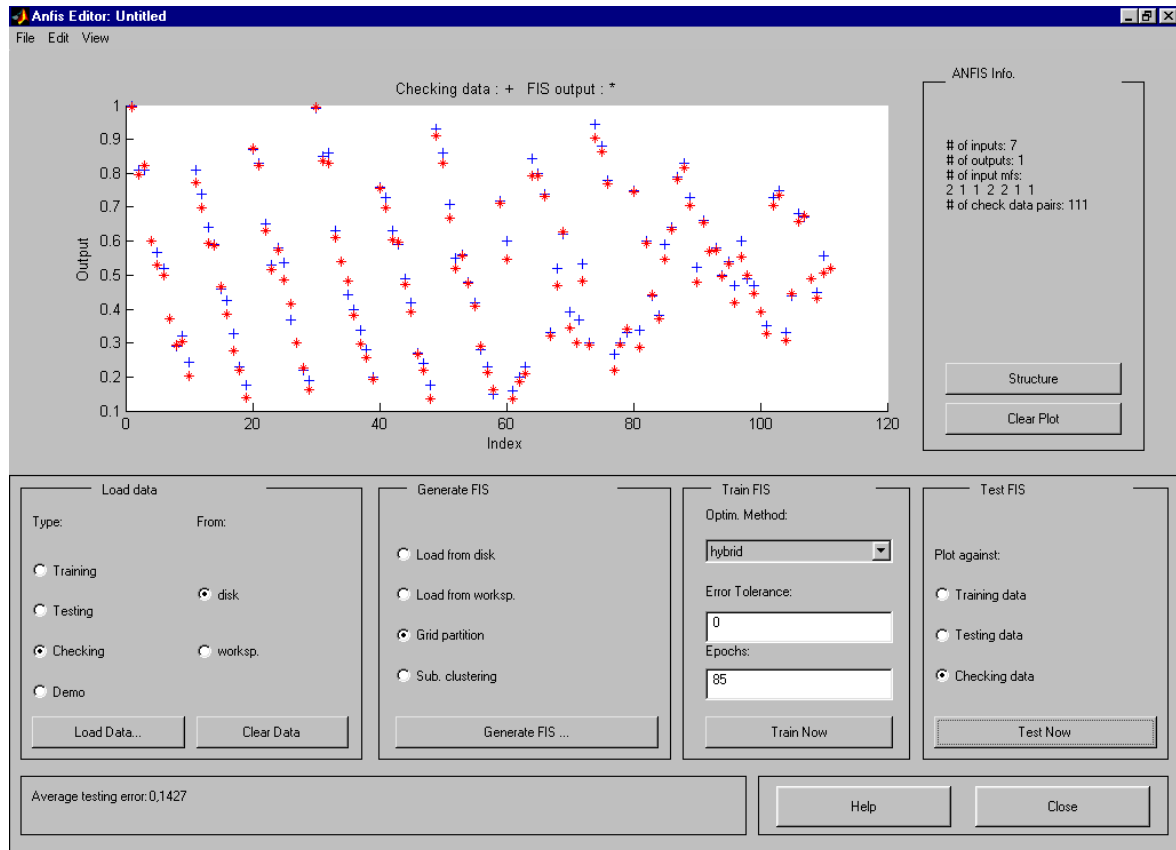


Рисунок 4.11– Графічний інтерфейс редактора ANFIS при повторній перевірці нейро – нечіткої моделі вимикача по даним експертів

Правила відображають зміну коефіцієнта якості функціонування вимикача в точках вибірки відповідно до початкових значень. Правила мають такий вигляд:

1. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf1) and (input4 is in4mf1) and (input5 is in5mf1) and (input6 is i65mf1) and (input7 is in7mf1) then (output is out1 mf1) (1)
2. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf1) and (input4 is in4mf1) and (input5 is in5mf2) and (input6 is i65mf1) and (input7 is in7mf1) then (output is out1 mf2) (1)
3. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf1) and (input4 is in4mf2) and (input5 is in5mf2) and (input6 is i65mf1) and (input7 is in7mf1) then (output is out1 mf3) (1)
4. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf1) and (input4 is in4mf2) and (input5 is in5mf2) and (input6 is i65mf1) and (input7 is in7mf1) then (output is out1 mf4) (1)

5. If (input1 is in1mf2) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf1) and (input4 is in4mf1) and (input5 is in5mf2) and (input6 is i65mf1) and (input7 is in7mf1) then (output is out1 mf5) (1)

6. If (input1 is in1mf2) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf1) and (input4 is in4mf1) and (input5 is in5mf2) and (input6 is i65mf1) and (input7 is in7mf1) then (output is out1 mf6) (1)

7. If (input1 is in1mf2) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf1) and (input4 is in4mf2) and (input5 is in5mf1) and (input6 is i65mf1) and (input7 is in7mf1) then (output is out1 mf7) (1)

8. If (input1 is in1mf2) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf1) and (input4 is in4mf2) and (input5 is in5mf2) and (input6 is i65mf1) and (input7 is in7mf1) then (output is out1 mf2) (1)

де вхідні параметри вимикача позначені відповідно:

опорно стрижнева ізоляція – input1, ресивер – input4, клапана система шафи керування – input5; дугогасильна камера – input2, електромагнітний привід – input3, магістраль подачі елегаз – input6, пневмо – кінематична схема – input7, якість функціонування вимикача – input.

Проведений засобами Matlab 6.5 регресійний аналіз дозволив отримати модель у вигляді поліному четвертої степені :

$$y = e_1 x_8^3 + e_2 x_2 x_8^3 + e_3 x_1 x_7 x_8 + e_4 x_1 x_6 x_8^2 + e_5 x_1 x_4 x_8 + e_6 x_2 x_4 x_8^2 + e_7 x_1 x_3 x_8^2 + e_8 x_3 x_8^2 + e_9 x_1 x_2 x_8 + \dots ,$$

де $e_1 = 0.011$, $e_2 = -1.394 \cdot 10^{-4}$, $e_3 = 0.011$, $e_4 = 0.011$, $e_5 = 0.011$, $e_6 = -1.394 \cdot 10^{-4}$, $e_7 = 0.011$, $e_8 = -3.22 \cdot 10^{-3}$, $e_9 = -1.827 \cdot 10^{-3}$

Перевірка середньоквадратичного відхилення цієї моделі від результатів перевірочних даних попередньої моделі - 23,8%.

4.2.2 Цифрова модель вимикача з використанням алгоритму Мамдани

Для підвищення ефективності виконуваних робіт пропонується використовувати інформаційну систему, яка реалізована на персональній ЕОМ

та складається з реляційної бази даних (БД), продуктивної бази знань (БЗ) і експертної системи (ЕС).

Ресурсна діагностика елегазних вимикачів містить такі етапи контролю: експлуатаційний – випробування електрообладнання та контроль параметрів (в міжремонтний період, в експлуатації) без відключення та з відключенням напруги; критичний – розширені випробування ВВ при відмовах, при швидкому погіршенні контрольованих (на першому етапі) параметрів та при вимогах експертних систем в результаті запитів до БД і БЗ, ремонтний та перед-експлуатаційний етапи контролю .

Формування бази знань. При проведенні ресурсного діагностування ВВ експертні системи забезпечують необхідну інформаційну підтримку. Вона базується на структурованих знаннях-правилах, складених на основі знань висококваліфікованих спеціалістів-експертів та на основі потрібних даних із бази даних. Правила мають вигляд: “ЯКЩО..., ТО..., коментар, пояснення, порада). Приклади БЗ для експлуатаційного етапу наведені в таблиці 4.6

„Область ризику” відповідає інтервалу від значень в області нормального стану параметрів (параметр на момент введення ВВ в експлуатацію – нового, або після ремонту) до гранично допустимих значень показників в експлуатації. Погіршення одного із показників (від 1 в.о. до 0 в.о.) призводить до зниження надійності обладнання. В цьому випадку необхідний більш розширений контроль для прогнозування терміну служби вимикачів або прийняття спеціальних заходів по відновленню експлуатаційних характеристик обладнання. Експертна система здатна підказати персоналу які саме заходи потрібні (таблиця 4.7). Таким чином можна запобігти виводу обладнання в ремонт.

Таблиця 4.6 - Приклад бази знань для визначення потрібних дій при експлуатаційному контролі

БЗ: Досвід експлуатації (бакові вимикачі)	
ЯКЩО	вимикач, який знаходиться під напругою
ТО	вимикач необхідно оглядати один раз на добу, в тому числі перевіряти наявність роботи системи вентиляції по вказівникам продування
БЗ: Досвід експлуатації (елегазаповненні з відокремлювачем)	
ЯКЩО	при вимірюваннях перехідного опору елементів камер та відокремлювачів, струмоведучого контуру одержані нормативні значення
ТО	занести в звітні документи та базу даних для зрівнювання з значеннями капітального ремонту

На ремонтному етапі контролю уточнюються та виявляються (після експлуатаційного) дефекти, повніше оцінюється стан вимикачів. Для цього виконується внутрішній контроль характеристик та параметрів (перехідний опір контактів, опір електромагнітів, ємності конденсаторів та інших [15,2]) по стандартним методикам з відключенням напруги. Крім того, повторно проводяться теплові випробування. Аналіз проведення вимірювань перехідного опору контактів та теплових випробувань, дозволяє виявити степінь порушення гальванічного покриття із срібла головних контактів від дії дуги, що особливо важливо для прогнозування можливості продовження роботи вимикачів. При зменшенні площини гальванічного покриття дотику рухомого та нерухомого контактів, при їх відключенні, під дією дуги бризами міді, пошкоджується глазур внутрішньої порожнини фарфору дугогасильних камер.

Таблиця 4.7 - Приклад бази знань для проведення заходів по відновленню характеристик обладнання підчас експлуатації при відхиленнях контрольованих параметрів від норми

БЗ: Досвід експлуатації (бакові вимикачі)	
ЯКЩО	при великих змінах температури навколишнього середовища
ТО	необхідно збільшити витрати елегазу на вентиляцію, періодично 1-2 рази в місяць, через спускові клапани видаляти конденсат, відвернувши на 3-4 оберти болт спускового клапану.
БЗ: Досвід експлуатації (елегазаповненні з відокремлювачем)	
ЯКЩО	при вимірюваннях перехідного опору елементів камер та відокремлювачів, струмоведучого контуру раніше отримані нормативні значення збільшилися в межах норми
ТО	довести до величини паспортних даних шляхом зачистки та змащення тонким шаром мастилом місця приєднання шин між камерами та відокремлювачами

Тому порушується структура порцеляни, що призводить до зменшення динамічної та статичної міцності контактних елементів вимикачів. Теплові випробування дають можливість виявити причини підвищених нагрівів, погіршення ізоляції, які впливають на функціонування, а також сприяють прийняттю рішень про подальшу експлуатацію електроапаратів. Якщо при розбиранні ВВ виявлені порушення, то рішення про подальшу експлуатацію приймається у відповідності до правил БЗ. Наприклад, як у таблиці 4.7.

Важливим елементом для прогнозування та тестової діагностики є профілактичні випробування епоксидних вводів бакових вимикачів та ізоляторів елегазнаповнених з відокремлювачем вимикачів. В процесі тривалої експлуатації виникає осипання глазури, утворення на ній волосяних тріщин на внутрішній поверхні ізоляторів та оплавлення фарфору в зоні дії електричної дуги.

Таблиця 4.8 - Приклад бази знань для прийняття рішення про експлуатацію після розбирання ВВ

БЗ: Досвід експлуатації	
ЯКЩО	Накопичення конденсату в резервуарах вимикача перевищує норму
ТО	Не допускається експлуатація ВВ
БЗ: Досвід експлуатації	
ЯКЩО	Перехідний опір елементів камер та відокремлювачів, струмоведучого контуру більше норми заводу-виробника.
ТО	Не допускається експлуатація ВВ
БЗ: Досвід експлуатації	
ЯКЩО	$\text{tg}\delta$ експлуатації епоксидних введів перевищує 1% .
ТО	Не допускається експлуатація введів ВВ
БЗ: Досвід експлуатації	
ЯКЩО	Тріщини, деформації, значне зношування, пошкодження більше 20% контактної поверхні рухомих та нерухомих контактів вимикачів
ТО	Не допускається експлуатація ВВ
БЗ: Досвід експлуатації	
ЯКЩО	Вологість стисненого елегазу в компресорних установках більше норми.
ТО	Не допускається експлуатація ВВ

Таблиця 4.9 - БЗ для прийняття зваженого рішення

БЗ: Досвід експлуатації(бакові вимикачі)	
ЯКЩО	в процесі експлуатації при перевірці якості вентиляції або при явному витокі стиснутого елегазу з вказівника продування
ТОДІ	терміново вивести вимикач з роботи для заміни гумових ущільнень по місці встановлення епоксидного вводу або приєднання склопластикової труби постійного високого тиску
	Не допускається в порожнині фарфорової покришки вводу номінальний тиск вимикача, що може призвести до аварійної ситуації.
БЗ: Досвід експлуатації (елегазонаповненні з відокремлювачем	
ЯКЩО	при вимірюваннях перехідного опору елементів камер та відокремлювачів, струмоведучого контуру одержані значення більше норми заводу-виготовлювача
ТОДІ	обладнання необхідно вивести в ремонт для з'ясування причини дефекту

Аналітичний етап другого рівня дослідження складається з оцінки альтернативи попередньої діагностики та прийняття зваженого рішення.

Порівняння отриманих результатів випробовувань з нормами (таблиця 4.10) є діагностичною оцінкою. При цьому можуть бути визначені пошкодження у вигляді часткових розрядів, іскріння контактів, вібрація контактів, зволоження, забруднення і старіння ізоляції, пошкодження головних і допоміжних контактів, порушення в регулюванні пружин і т.і.

Таблиця 4.10 – Нормовані параметри елегазних вимикачів 330кВ (ГКД 34.20.302-2002) для формування БД

Показник	$R_{\text{із.контакті в, МОм}}$	$R_{\text{.контактів, мкОм}}$	Власний час спрацювання, мкс	Різночасність спрацювання контактів, мкс	$\text{tg}\delta$ епоксидних введів, %
Граничне значення	≥ 5000	≤ 16	≤ 18	≤ 3	≤ 1

На основі всіх одержаних результатів етап завершується прийняттям одного із рішень:

– продовження експлуатації зношеного обладнання по системі технічного обслуговування та ремонту, виконуючи планові попереджувальні ремонти. При цьому параметри, які контролюються повинні відповідати вимогам Правил технічної експлуатації та іншим нормативам;

– продовження експлуатації зношеного обладнання з частішою діагностикою, так як відхилення від норми деяких параметрів вимагають оцінки швидкості розвитку процесу на відносно тривалому відрізку часу, який однак менше встановлених нормативів;

– продовження експлуатації зношеного обладнання, при якому необхідно комплексний, відносно швидкий нагляд за кількома відхиленнями від норм параметрами, коли можливо стрімкий розвиток дефекту, який можна виявити на ранній стадії розвитку;

– продовження експлуатації зношеного обладнання за рахунок зменшення навантаження, так як експлуатація при номінальному навантаженні не відповідає умовам і не може привести до швидкого розвитку дефекту;

– перехід до третього рівня дослідження для визначення складу та об'єму ремонту зношеного обладнання, по-скільки є дефекти, в тому числі невизначені, які не дають можливості для подальшого продовження експлуатації без їх усунення шляхом ремонту вимикачів.

На критичному етапі – здійснюється діагностика стану ВВ по одержаним результатам випробувань та експертних запитів в БД і БЗ.

Третій рівень дослідження – спеціалізована діагностика та ревізія, виконується персоналом спеціалізованих ремонтних підрозділів та організацій. Даний рівень має велике значення для оцінки достовірності результатів попередніх досліджень, їх вдосконалення та поповнення баз даних і знань. В той самий час ефективність третього рівня залежить від раніше одержаних результатів. При цьому належить прийняти одне з рішень, зв'язаних з виведенням зношеного обладнання з експлуатації:

1. Проведення ревізії з внутрішнім оглядом складових частин вимикача для визначення об'єму ремонту зношеного обладнання.

БЗ: Досвід експлуатації(бакові вимикачі)

ЯКЩО	при зовнішньому огляді поверхні та протирання їх спиртом виявлено велику кількість копоті
ТОДІ	підготувати епоксидний ввід до високовольтних випробувань

БЗ: Досвід експлуатації (елегазнаповненні з відокремлювачем)

ЯКЩО	при огляді на внутрішній поверхні фарфорового ізолятора виявлені оплавлення фарфору в зоні дії електричної дуги, осипання глазурі, утворення волосяних тріщин, сколи, нанесення незмивної міді
ТОДІ	провести заміну контактів та фарфоровий ізолятор

2. Вибрати схему капітального ремонту зношеного обладнання.

БЗ: Досвід експлуатації (бакові вимикачі)

ЯКЩО	при виконанні вимірювання $\text{tg}\delta$ епоксидного вводу перевищує 1%
ТОДІ	епоксидний ввід демонтувати для заміни на новий

БЗ: Досвід експлуатації (елегазонаповненні з відокремлювачем)

ЯКЩО	в процесі експлуатації вимірювання параметрів не перевищували нормативні заводу-виготовлювача
ТОДІ	незалежно переліку зауважень дефектного акту капітальний ремонт виконується в повному обсязі (повністю розбирання всіх складових частин вимикача, їх ревізія, ремонт та регулювання роботи механізмів)

3. Зношене обладнання, яке потребує модернізації.

БЗ: Досвід експлуатації (бакові вимикачі)

ЯКЩО	при детальному огляді внутрішньої частини вводу виявлено нерівності та елегазні включення заводського виконання
ТОДІ	при замовленні нових ввідів на заводі ретельно додержувати технологію виготовлення

БЗ: Досвід експлуатації (елегазнаповненні з відокремлювачем)

ЯКЩО	при виконанні ремонту та розбиранні дугогасильних камер та відокремлювачів виявлені контакти застарілого виконання до 1963 року випуску
ТОДІ	згідно циркуляру заводу-виготовлювача провести відповідну модернізацію контактної частини

4. Заміна зношеного обладнання новим.

БЗ: Досвід експлуатації (бакові вимикачі)

ЯКЩО	при вимірюваннях епоксидного вводу $\text{tg}\delta$ перевищує нормативні значення
ТОДІ	підготувати новий ввід для високовольтних випробувань та монтажу на дугогасильну камеру

БЗ: Досвід експлуатації (елегазнаповненні з відокремлювачем)

ЯКЩО	при наявності на контактах виявлені тріщини, деформації, значний знос, обгоряння більше 1/5 контактної поверхні
ТОДІ	Контакти підлягають заміні

Нечітка модель для аналізу результатів випробовувань вимикача

Відомо багато моделей високовольтних вимикачів [46]. Оскільки норми визначались емпірично і мають статистично-імовірнісне згладжування, а результати аналізу вимірів параметрів ВВ залежать від багатьох факторів: (особливостей роботи вимикача, методу вимірів, кількості вимірів, конструкції засобів вимірів, кваліфікації персоналу, тривалості випробовувань) результат порівняння є умовно чітким. Тому для компенсації перерахованих факторів невизначеності і спрощення порівняння різних форм представлення даних норми і результати аналізу за допомогою розрахунків в експертній системі перетворюються в нечіткі числа.

Діапазон зміни контрольованого параметра в процесі експлуатації представлений у вигляді функції приналежності лінгвістичної змінної, наприклад “tgδ” (рис. 4.12):

$$G_i = \langle T_R^i, T_{LR1}^i, T_{LR2}^i, T_L^i \rangle, \quad (4.13)$$

де i — номер параметра: 1 — $R_{\text{із.контактів}}$, 2 — $R_{\text{контактів}}$, 3 — Власний час спрацювання, мкс, 4 — Різномісність спрацювання контактів, мкс, 5 — tgδ епоксидних ввідів; $T = \mu(x)$ — терм-множина, яка визначається нечітким числом функції приналежності μ від значення контрольованого параметра x ; $R = f(\beta)$, $L = f(\alpha)$, $LR = f(\alpha, \beta)$ — види нечітких чисел (НЧ) відповідно з правою і лівою спадаючими частинами (коефіцієнтами нечіткості α і β), а також з двома спадаючими частинами.

На відміну від відомих моделей ВВ [41] пропонується модель нечіткого висновку в якій використовується алгоритм нечіткого висновку Мамдані. Розробка нечіткої моделі виконувалась в системі MATLAB, а саме Fuzzy Logic Toolbox.

На основі норм випробовувань та паспортних даних на вимикач складені таблиці терм-множин норм контрольованих параметрів ВВ.

Запишемо ці правила у вигляді БД, прийнятному для побудови нечіткої моделі — співвідношення різних параметрів. Така БД має вигляд таблиці, яка дозволяє здійснювати діагностику пошкоджень в ВВ.

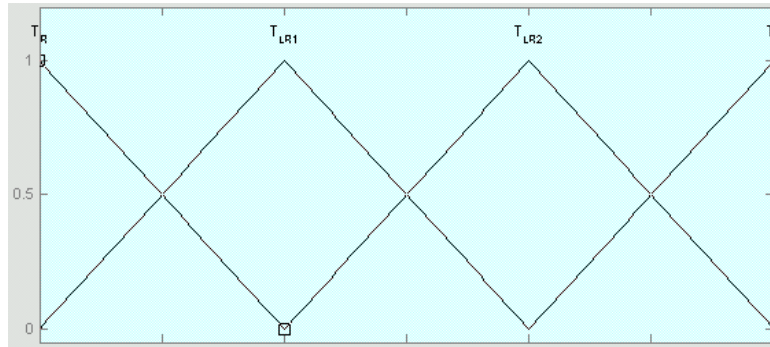


Рисунок 4.12 - Терм-множина лінгвістичної змінної у вигляді трикутних функцій приналежності

При розрахунках використовувались різні види функцій приналежності для лінгвістичної змінних, які характеризують значення контрольованих параметрів.

Таблиця 4.11 - Співвідношення величин різних параметрів ВВ

$R_{\text{із.контактів}},$ Мом	$R_{\text{.контактів}},$	Власний час спрацювання	Різночасність спрацювання	$\text{tg}\delta$ епоксидних вводів, %	Терм-множина дефектів D
Дія на ізоляцію електричних розрядів ($D^{(1)}_j$)					
T^1_L	T^2_{LR1}	T^3_R	T^4_{LR1}	T^5_L	$D^{(1)}_1$
T^1_L	T^2_{LR2}	T^3_R	T^4_{LR2}	T^5_L	$D^{(1)}_2$
T^1_L	T^2_{LR3}	T^3_R	T^4_R	T^5_{LR2}	$D^{(1)}_3$
Пошкодження головних контактів ($D^{(2)}_j$)					
T^1_L	T^2_{LR1}	T^3_R	T^4_{LR1}	T^5_L	$D^{(2)}_1$
T^1_L	T^2_{LR2}	T^3_R	T^4_{LR2}	T^5_L	$D^{(2)}_2$
T^1_L	T^2_{LR3}	T^3_R	T^4_R	T^5_{LR2}	$D^{(2)}_3$
T^1_R	T^2_{LR1}	T^3_L	T^4_{LR2}	-	$D^{(3)}_4$
Пошкодження системи приготування елегазу ($D^{(3)}_j$)					
T^1_R	T^2_{LR1}	T^3_L	T^4_{LR2}	-	$D^{(3)}_1$
T^1_{LR2}	T^2_{LR1}, T^2_{LR2}	T^3_R	T^4_L	-	$D^{(3)}_2$
T^1_{LR2}	T^2_{LR1}, T^2_{LR2}	T^3_R	T^4_L	-	$D^{(3)}_3$

Терм-множинам T^i привласнені лінгвістичні значення, що ідентифікують значення контрольованого параметра:

T_R — маловпливовий параметр;

T_{LR1} — зона ризику;

T_{LR2} — граничне значення;

T_L — сильновпливовий параметр .

Таблиця 4.12 - Залежність пошкодження від сукупності параметрів

Руйнування ізоляції електричними розрядами ($D_j^{(1)}$)	
$D_1^{(1)}$	Дуговими
$D_2^{(1)}$	Іскровими
$D_3^{(1)}$	Частковими
Місцеві перегриви $D_j^{(3)}$	
$D_1^{(2)}$	до 300 °С
$D_2^{(2)}$	від 300 до 700 °С
$D_3^{(2)}$	понад 700 °С
$D_4^{(2)}$	Місцевий перегрів елементів ВВ при температурі 300 °С
Пошкодження системи приготування елегазу $D_j^{(3)}$	
$D_1^{(3)}$	Вологе елегаз
$D_2^{(3)}$	Малий тиск елегазу
$D_3^{(3)}$	Підвищена кількість конденсату

Після введення результатів вимірів, розрахунку в середовищі Matlab моделлю, яка реалізує правила складені у відповідності до таблиці 4.11 можна встановити вид дефекту

Вдосконалення діагностування високовольтних вимикачів по параметру часових характеристик.

Елегазо вимикачів високої напруги при ремонтах визначається вимірюванням часових характеристик спрацьовування їх контактів. До тепер для цього використовували світлопроменеві шлейфові осцилографи або електромілісекундомери. Ці пристрої мають ряд недоліків:

- недостатня точність вимірів через малу швидкість розгортки осцилограм та точність приладів;
- складність у підготовці приладів до роботи;
- необхідність у тривалій кропіткій ручній обробці результатів вимірів;

- робота з хімічними реактивами при обробці фотоматеріалів;
- відсутність швидкої оперативної оцінки результатів вимірів.

Ці недоліки уповільнюють оцінку результатів вимірів та затримують введення вимикача в експлуатацію на 1-2 доби.

Швидкий розвиток мікропроцесорної техніки створив підґрунття, а недоліки світлопроменевих осцилографів змусили ряд вітчизняних та закордонних наукових, проектних та виробничо-експлуатаційних закладів розробити, виготовити та провести досліду експлуатацію приладів контролю часових характеристик елегазних вимикачів високої напруги на базі сучасних мікропроцесорів. Відмінною рисою таких приладів є автоматизація вимірів, виведення результатів в цифровому чи графічному вигляді на дисплей, табло або принтер, можливість стиковки з комп'ютером для більш точної обробки результатів та створення архіву.

Основні характеристики деяких з цих пристроїв наведені в таблиці. Дані для складення таблиці одержані з рекламних матеріалів фірм-виготовлювачів приладів [1 – 5], з огляду, який наданий Інститутом проблем енергетики СВ РАН (м. Іркутськ) [6] та з матеріалів засідань електротехнічної секції науково-технічної ради НЕК “Укренерго”, які відбулися 15-18 травня 2000 року та 30травня – 01 червня 2001 року.

Основними характеристиками таких приладів є: час реєстрації процесу випробувань, дискретність проведення вимірів, кількість контактів вимикача, стан яких контролюється, та кількість аналогових сигналів, що реєструється.

На підставі аналізу результатів цих характеристик розроблені нижченаведені вимоги до пристроїв, що застосовуються для визначення часових характеристик елегазних вимикачів високої напруги 110 – 750 кВ.

Більшість приладів вимірює час події тривалістю 1 сек з дискретністю вимірів 1 мсек, у деяких приладів ці характеристики значно кращі, але доцільність цього потребує обґрунтування. Так, тривалість найскладнішого циклу О – В – О близько 0,5 сек, тому збільшувати тривалість процесу реєстрації мабуть недоцільно.

Дискретність вимірів повинна бути набагато менша за значення

найменшого параметру, для деяких вимикачів нормується неодноразовість спрацьовування контактів 3 мсек, окрім того, згідно заводських норм у багатьох випадках потрібно звертати увагу на так звані відскоки контактів, які можуть бути тривалістю до 0,1 мсек. Слід зауважити, що при дуже малій дискретності вимірів зростає вірогідність появи високочастотних завад, які можуть суттєво перешкодити аналізу процесу. З дослідної експлуатації приладів визначено, що вона повинна бути не більше 0,1 – 1 мсек.

Кількість каналів, що реєструється, залежить від типу вимикачів, що випробуються. Так, елегазні вимикачі 750 кВ потребують реєстрації стану до 8 основних контактів і до 6 допоміжних, а також до 2 пар соленоїдів, 500 кВ – 18 контактів камер та відокремлювачів, 330 кВ – 14 контактів, 35 – 110 кВ потребують (на три фази) – 12 каналів реєстрації стану контактів та 1 – 2 канали реєстрації струму соленоїдів. Масляні вимикачі потребують реєстрації стану до 3 контактів, 1 – 2 струмів соленоїдів та ходу контактної системи, по якому була б можливість обчислювати швидкість її руху. Доцільність використання універсального приладу, який задовольняв би вимогам усіх типів вимикачів сумнівна тому, що це призводить до ускладнення приладу, незручності його експлуатації, нераціональності використання та зростання вартості приладу. Потрібні окремі прилади для елегазних та масляних вимикачів.

Усі прилади використовують сучасні засоби обчислювальної техніки, тому питання не у тому чиє в складі приладу персональний комп'ютер (ПК), а у тому де зосереджено цей ПК – у самому приладі, поруч з ним, або на відстані від нього. На наш погляд оптимальним є забезпечення можливості на місці проведення випробувань виконання оперативної оцінки результатів, збереження їх, а складання заключного протоколу може бути здійснено з застосуванням сучасних засобів оргтехніки.

Розміри та вага не мають суттєвого значення для приладів, що використовуються при випробуваннях елегазних вимикачів тому, що ці випробування проводяться з пересувних лабораторій-майстерень, але для приладів, призначених для масляних вимикачів цей параметр уже має вирішальне значення тому, що випробування виконуються з пересувних стендів.

Оптимальна вага приладу 5 - 10 кг.

Вартість приладу – одна з найбільш суттєвих характеристик. Як правило, найдосконаліші прилади найдорожчі, але їх експлуатація та придбання викликають труднощі. Вітчизняні прилади мають ціни майже такі, як і російські, західно європейські та американські прилади мають ціни на порядок вищі.

Допоміжні та додаткові функції приладів слід поділяти на ті, що суттєво впливають на умови експлуатації приладу та ефективність діагностування вимикача і ті, що покращують інші характеристики приладів. Для приладів, що застосовуються при випробуваннях елегазних вимикачів, характеристиками першої групи є можливість керування операціями вимикача, вимірювання напруги на соленоїдах, вимірювання тиску елегазу. Досвіду використання таких характеристик, як вимірювання динамічного перехідного опору контактів та вимірювання механічних вібрацій конструкцій в процесі виконання комутаційних операцій ще не досить для оцінки їх ефективності. Вимірювання опору резисторів, ємності шунтуючих конденсаторів і т. п. слід розглядати як функції другої групи. Для приладів, що застосовуються при випробуваннях масляних вимикачів характеристиками першої групи є в першу чергу можливість вимірювання ходу контактів та швидкості цього ходу.

В Україні вимір часових характеристик елегазних вимикачів засобами мікропроцесорної техніки виконується у Донбаській, Дніпровській, Центральній, Південно-Західній, Північній та Кримській енергосистемах приладами, що розроблені та виготовлені Симферопольським МЕМ, НВП “Рекон”, Інститутом електродинаміки (ІЕД) АН України та Вінницьким державним технічним університетом (ВДТУ) спільно з Південно-Західною електроенергетичною системою (ПЗЕС).

Розроблений та виготовлений Симферопольським МЕМ Кримської енергосистеми прилад – це багатоканальний одноплатний осцилограф. Надлишок кількості аналогових та цифрових каналів не компенсує проблем завадостійкості. Загально-технічне призначення цього осцилографа потребує тільки настільний комп’ютер, у слот якого слід вставити плату осцилографа. Цей прилад має найменшу вартість.

Прилади “Рекон” не потребують коштовного переносного комп’ютера. Результати випробувань безпосередньо відображуються на екрані вмонтованого у прилад рідкокристалевого індикатора. Внутрішня енергонезалежна пам’ять місткістю 8МБ дозволяє зберігати велику кількість випробувань, які в подальшому можуть бути перенесені на персональний комп’ютер шляхом підключення приладу по інтерфейсу RS-232 (RS-485) або шляхом запису на дискету 3”. Кількість дискретних каналів 16 (дві ізольовані групи по 8 каналів), кількість аналогових каналів – 4. Автоматичне складання та заповнення протоколів не передбачено.

Прилад діагностування високовольтних вимикачів “Регіна” виробництва ІЕД АН України складається з двох блоків – блоку уведення-виведення та переносного комп’ютера “Notebook”. Передбачена можливість виміру перехідних опорів контактів. Автоматичне формування та заповнення протоколів випробувань не передбачено.

ПЗЕС та ВДТУ розроблений та виготовлений прилад " Аналізатор роботи вимикачів високої напруги" (АРВВН). Цей прилад дозволяє реєструвати стан до 16 контактів, струм соленоїдів включення та відключення з дискретністю вимірів 1 мсек, автоматично формується протокол випробувань та база даних. Ця база упорядкована по назві підстанції та по типу вимикача.. До середини 2001 року виготовлено 4 пристроїв, проведено їх метрологічну атестацію. Прилади, які були виготовлені першими, пройшли модернізацію, і тепер усі вони мають однакові характеристики, тому маркуються як АРВВН – 3.

У приладах АРВВН – 3 порівняно з описаними раніш приладами АРВВН – 1 зроблені такі зміни:

- запуск пристрою по фактору появи струму соленоїда замінено на запуск від кнопки на комп’ютері. Це дозволило усунути похибку визначення моменту появи імпульсу струму;

- забезпечене керування вимикача від пристрою, що значно спростило процес випробувань та дозволило відмовитися від стенду керування вимикачем;

- розроблено схему захисту електромагнітів вимикача від тривалого протікання струму. Це дозволяє запобігати пошкодження електромагнітів при

відмові приводу вимикача або його СБК;

- розроблено та впроваджено дві програми виконання випробувань. По першій, що працює в середовищі DOS, можна виконувати "наладочні" випробування навіть на комп'ютерах застарілих моделей з малою швидкістю. Кінцевим продуктом є осцилограма, масштаб якої досить легко змінюється. По другій програмі, яка працює в середовищі Windows, краще виконувати "чистові" випробування, на які треба оформляти протоколи на папері. Кінцевим продуктом програми є протоколи на кожен окрему операцію випробувань і заключний протокол на усі випробування конкретного вимикача. Удосконалено протоколи окремих операцій вимикача. Тепер осцилограма і протокол вміщуються на одному стандартному аркуші паперу.

Проведено державну метрологічну атестацію приладу. Розроблено та впроваджено програму, методику та пристрій для метрологічної атестації. Похибка приладу не перевищує 0,002 с, але і вона здебільшого зумовлена коливаннями частоти напруги в енергосистемі під час вимірювання, фактично похибка не перевищує часу дискретизації вимірів, тобто 0,001с. Методика атестації не потребує застосування складних спеціальних приладів та значного часу на її виконання. Фактично потрібен тільки частотомір, джерело струму та напруги промислової частоти і нескладний електронний пристрій для імітації роботи контактів.

Досвід проведення випробування приладів на багатьох типах вимикачів 35, 110, 330 та 750 кВ показав його елегано, можливість випробувань на вимикачах, що мають до 14 розривів на фазу.

В кінці 2001 року виготовлено прилад АРВВН – 4, який не потребує комп'ютера на місці проведення випробувань, результати дослідів виведені на рідкокристалічний дисплей і можуть бути перенесені на дискету 3" для подальшої обробки та складання протоколів на будь-якому комп'ютері. У приладі є 4 аналогових канали, що дозволяє виконувати випробування вимикачів, головні контакти яких зашунтовані послідовно ввімкнутими резисторами та дугогасильними контактами.

Таким чином, у залежності від оснащення комп'ютерами, виду вимикачів та місця розташування випробувального пристрою підприємства мають можливість застосовувати різні модифікації пристроїв для виміру часових характеристик елегазних вимикачів.

Висновки до четвертого розділу.

1. Існуючі системи контролю і діагностики високовольтних вимикачів спираються в своїх розрахунках на вже існуючі математичні моделі вимикачів,
2. Класичні моделі мають досить суттєвий недолік – вони не можуть визначити і врахувати функціональні зв'язки між всіма вхідними величинами

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Визначення поточних витрат

Необхідно провести порівняння двох варіантів із застосуванням елегазового вимикача ВГТ-110 У1 і оливного МКП-110 У1.

Вартість обладнання: - вимикач ВГТ-110 – 456 000 гривень; залишкова балансова вартість вимикача МКП-110 – 34 200 гривень.

Для розрахунку поточних витрат вихідними даними служать технічні параметри та експлуатаційні показники. Необхідний набір показників визначається в залежності від особливостей об'єктів, технічних засобів, їх призначення, цілей, які повинні бути досягнуті. Склад поточних витрат визначається відповідно до номенклатури витрат по основній діяльності залізниць, промислових підприємств і прийнятим порядком калькуляції собівартості.

5.2 Розрахунок заробітної плати

Заробітна плата визначається шляхом безпосереднього розрахунку, виходячи з потрібної кількості працівників, їх кваліфікації, прийнятої системи оплати праці, тарифних ставок і посадових окладів. На підставі періодичності проведення обслуговування вимикачів (див. табл. 5.1) визначимо річні витрати на оплату праці персоналу, що обслуговує вимикач.

Розрахунок заробітної плати здійснюється на основі єдиних тарифних ставок і окладів, які визначаються виходячи з мінімальної заробітної плати.

Вартість 1 години праці електромонтера визначимо за формулою:

$$Z_{\text{номонт}} = \left(\frac{T_m}{t_m} \cdot K_N \right) \cdot (1 + K_{II} + K_T) \quad (5.1)$$

де T_m - мінімальний розмір оплати праці робітника, прийнятий 3611 грн; t_m - середньомісячна норма робочого часу 164,17 годин; K_N - тарифний коефіцієнт n-го розряду (для електромонтера IV розряду дорівнює 1,89, для V-го – 2,12; K_{II} - розмір премії 25%; K_T - коефіцієнт доплат за важкі умови праці, рівний 10%;

Таблиця 5.1– Норми часу на ремонт ВГТ-110, МКП-110

Вид ремонту	Періодичність проведення обслуговування	Склад бригади	Норма часу, людина - година
ВГТ-110			
Поточний ремонт	1 раз в 5 років	ст. ел. мех – 1 ел.мех. – 1 ел. монт. – 1(IV)	10, 86
Капітальний ремонт	1 раз в 25 років	ст. ел. мех – 1 ел.мех. – 1 ел. монт. – 2(IV)	76,1
Профілактичні випробовування	1 раз в 10 років	ст. ел. мех – 1 ел.мех. – 1(V) ел. монт. – 1(IV)	14,2
МКП-110			
Поточний ремонт	1 раз в 2 років	ст. ел. мех – 1 ел.мех. – 1 ел. монт. – 1(IV)	6, 82
Капітальний ремонт	1 раз в 12 років	ст. ел. мех – 1 ел.мех. – 1 ел. монт. – 2(IV)	59,7
Профілактичні випробування	1 раз в 4 роки	ст. ел. мех – 1 ел.мех. – 1(V) ел. монт. – 1(IV)	11,58

$$Z_{\text{монт}V} = \left(\frac{3611}{164,17} \cdot 2,12 \right) \cdot (1 + 0,25 + 0,1) = 62,951 \text{ (грн / год)}$$

$$Z_{\text{монт}IV} = \left(\frac{3611}{164,17} \cdot 1,89 \right) \cdot (1 + 0,25 + 0,1) = 56,121 \text{ (грн / год)}$$

Виходячи із годинної тарифної ставки вартість 1 години праці електромеханіка підстанції розраховується за формулою:

$$Z_{\text{нмех}} = \frac{T_N}{t_m} \cdot (1 + K_{\text{П}} + K_T) \quad (5.2)$$

де T_N - місячний оклад оплати праці робітника, для електромеханіка – 7,750 грн, для старшого електромеханіка – 9,650 грн;

t_m - середньомісячна норма робочого часу 164,17 годин;

K_T - коефіцієнт доплат за важкі умови праці, рівний 10%;

$K_{\text{П}}$ - розмір премії 25%;

$$Z_{\text{нстмех}} = \frac{9650}{164,17} \cdot (1 + 0,25 + 0,1) = 79,354 \text{ (грн / год)}$$

$$Z_{\text{нмех}} = \frac{7750}{164,17} \cdot (1 + 0,25 + 0,1) = 63,73 \text{ (грн / год)}$$

Для розрахунку річних витрат на обслуговування вимикача скористаємося формулою:

$$Z = \frac{Z_{\text{нгод}} \cdot \frac{T_n}{N}}{T_{\text{об}}} \quad (5.3)$$

де $T_{\text{об}}$ - періодичність проведення обслуговування;

T_n - типова норма часу;

N - кількість членів бригади.

Обчислимо річні витрати з обслуговування вимикача:

- на поточний ремонт:

$$Z_{\text{ПРЕ}} = \frac{(Z_{\text{нстмех}} + Z_{\text{нмех}} + Z_{\text{нмонтиV}}) \cdot \frac{T_n}{N}}{T_{\text{об}}} = \frac{(79,354 + 63,73 + 56,121) \cdot \frac{10,86}{3}}{5} = 144,224 \text{ (грн)};$$

$$Z_{\text{ПРМ}} = \frac{(Z_{\text{нстмех}} + Z_{\text{нмех}} + 2 \cdot Z_{\text{нмонтиV}}) \cdot \frac{T_n}{N}}{T_{\text{об}}} = \frac{(79,354 + 63,73 + 56,121) \cdot \frac{6,82}{3}}{2} = 226,43 \text{ (грн)};$$

- на капітальний ремонт:

$$Z_{КАПЕ} = \frac{(Z_{пстмех} + Z_{пмехV} + Z_{пмонтIV}) \cdot \frac{T_n}{N}}{T_{об}} = \frac{(79,354 + 63,73 + 2 \cdot 56,121) \cdot \frac{76,1}{4}}{25} = 194,303 \text{ (грн)};$$

$$Z_{КАПМ} = \frac{(Z_{пстмех} + Z_{пмех} + 2 \cdot Z_{пмонтIV}) \cdot \frac{T_n}{N}}{T_{об}} = \frac{(79,354 + 63,73 + 2 \cdot 56,121) \cdot \frac{59,7}{4}}{12} = 317,562 \text{ (грн)};$$

- на профілактичні випробування:

$$Z_{ПВЕ} = \frac{(Z_{пстмех} + Z_{пмехV} + Z_{пмонтIV}) \cdot \frac{T_n}{N}}{T_{об}} = \frac{(79,354 + 63,73 + 56,121) \cdot \frac{14,2}{3}}{10} = 94,29 \text{ (грн)};$$

$$Z_{ПВМ} = \frac{(Z_{пстмех} + Z_{пмехV} + Z_{пмонтIV}) \cdot \frac{T_n}{N}}{T_{об}} = \frac{(79,354 + 63,73 + 56,121) \cdot \frac{11,58}{3}}{4} = 192,233 \text{ (грн)};$$

Загальні затрати на обслуговування вимикачів складають:

$$Z_E = 144,224 + 194,303 + 94,29 = 432,817 \text{ (грн)};$$

$$Z_M = 226,43 + 317,562 + 192,233 = 736,225 \text{ (грн)}.$$

Відрахування на соціальні потреби складають 30,4% від заробітної плати:

$$Z_{Есоц} = 432,817 \cdot 0,304 = 131,576 \text{ (грн)};$$

$$Z_{Мсоц} = 736,225 \cdot 0,304 = 223,812 \text{ (грн)}.$$

5.3 Розрахунок затрат на матеріали при капітальному та середньому ремонті

Сума затрат дорівнює 10% від вартості обладнання:

$$Z_p = \frac{C_0 \cdot 0,1}{T_{об}}, \quad (5.4)$$

де Z_p - затрати на ремонт;

C_0 - вартість обладнання;

T_{OB} - строк служби обладнання, що дорівнює 25 років для МКП і 30 років для ВГТ.

Обрахуємо затрати на матеріали:

$$Z_{pВГТ} = \frac{456000 \cdot 0,1}{30} = 1520 \text{ (грн)};$$

$$Z_{pМКП} = \frac{34200 \cdot 0,1}{25} = 136 \text{ (грн)}.$$

5.4 Порівняння показників впровадження

Проведемо порівняння варіантів модернізації по приведеним затратам.

Приведені затрати для ВГТ:

$$\begin{aligned} Z_{np}^{ВГТ} &= \frac{2084,393 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^1} + \frac{2084,393 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^2} + \frac{2084,393 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^3} + \frac{2084,393 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^4} + \\ &+ \frac{2084,393 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^5} + \frac{2084,393 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^6} + \frac{2084,393 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^7} + \frac{2084,393 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^8} = 7482,673 \text{ (грн)}; \end{aligned}$$

Приведені затрати для МКП:

$$\begin{aligned} Z_{np}^{МКП} &= \frac{2328,037 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^1} + \frac{2328,037 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^2} + \frac{2328,037 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^3} + \frac{2328,037 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^4} + \\ &+ \frac{2328,037 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^5} + \frac{2328,037 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^6} + \frac{2328,037 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^7} + \frac{2328,037 \cdot (1-0,2)}{(1+0,12+0,03)^8} = 8357,32 \text{ (грн)}; \end{aligned}$$

Результати розрахунків зведені в таблицю 5.2:

Таблиця 5.2 – Порівняння показників впровадження в експлуатацію вимикачів

Показники	МКП-110	ВГТ-110
Вартість обладнання, грн	34200	456000
Затрати праці на ТР, грн	226,43	144,224
Затрати праці на КР, грн	317,562	194,303
Відрахування на соціальні служби, грн/рік	223,812	131,576
Затрати на матеріали в процесі експлуатації, грн/рік	1368	1520
Експлуатаційні витрати, грн/рік	2328,037	2084,393
Приведені витрати, грн/рік	8357,32	7482,673

Висновки до п'ятого розділу

В даному розділі проведено порівняння показників застосування масляних і елегазових вимикачів. Приведені витрати на застосування масляного вимикача складають 8357,32 грн/рік, а витрати на застосування елегазового вимикача становлять 7482,673 грн/рік . По розрахунками видно, що елегазовий вимикач простіший і дешевший в експлуатації, в порівнянні з масляним. Для впровадження на підстанції виберемо сучасне, надійне і більш просте в експлуатації елегазове обладнання - вимикач ВГТ-110 У1.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Задачі розділу

Високовольтні вимикачі – відносяться до основного комутаційного обладнання, яке забезпечує надійність і селективність електричних мереж але вони також є одними із небезпечних апаратів.

На основі даних, які показані на рисунку 6.1 і 6.2 ми робимо висновок, що протягом останніх років в Україні існує серйозна проблема з електротравматизмом.

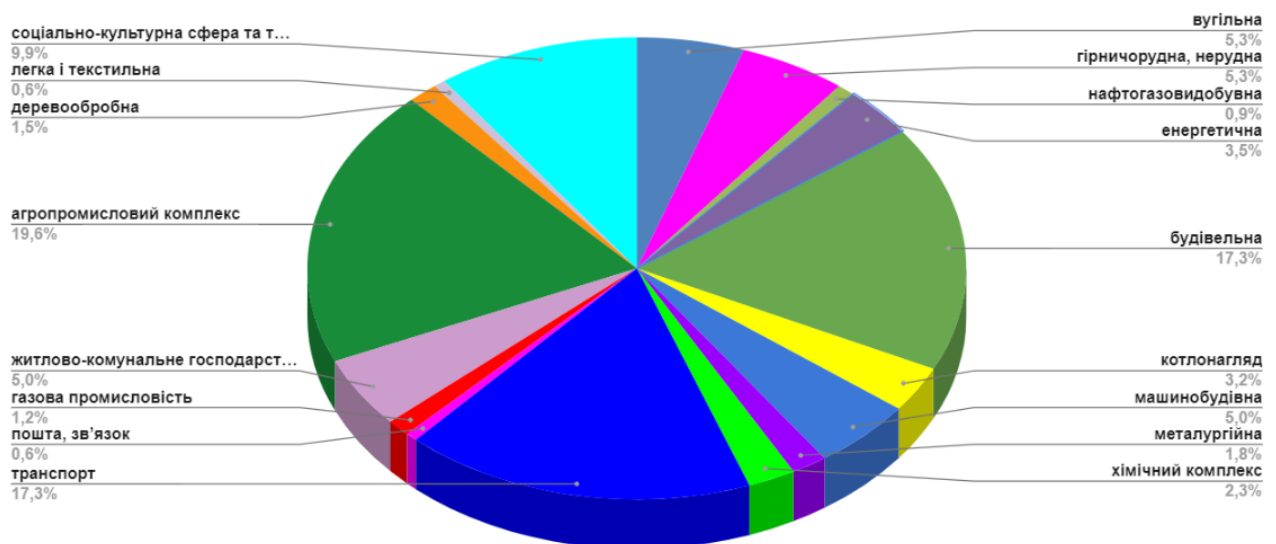


Рисунок 6.1 - Кількість потерпілих внаслідок нещасних випадків зі смертельним наслідком, пов'язаних з виробництвом, за видами діяльності. З початку року, станом на 02.12.2021

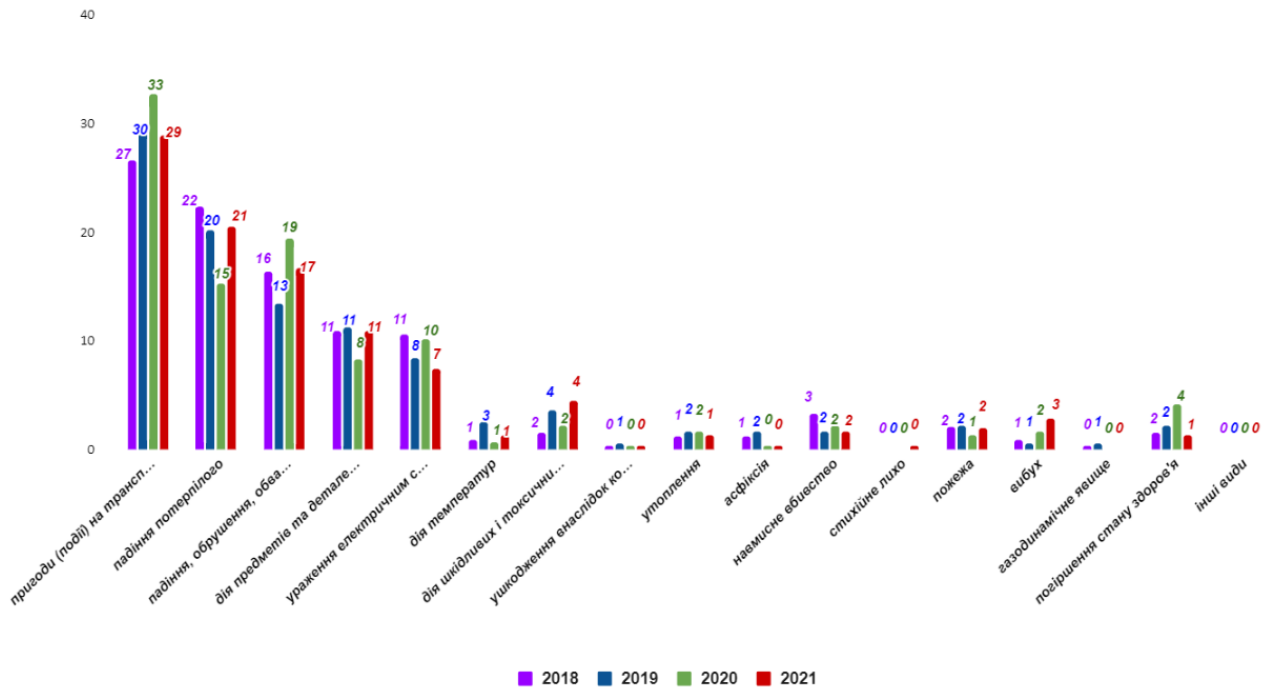


Рисунок 2 - Динаміка подій, що призвели до нещасних випадків зі смертельним наслідком за 10 місяців 2017—2021 рр. (% від загальної кількості загиблих).

Найбільша кількість зі смертельних травм в енергетичній галузі за даними статистики припадає на електротравми. В енергетиці електротравматизм першочергово зумовлений експлуатацією зовнішніх електроустановок, до яких належать трансформаторні підстанції високої напруги, повітряні лінії електропостачання, конденсаторні та перетворювальні установки. Домінуюче значення такого чинника впливає з аналізу причин травматизму за місцем їх виникнення: 47 % електротравм отримано в приміщеннях; 53 % — під час експлуатації зовнішніх електроустановок. Найбільш травмонебезпечними професіями на підприємствах енергетичної галузі залишаються: електрослюсар з ремонту обладнання розподільчих пристроїв та електромонтер. [13]

Задачі розділу: проаналізувати умови праці, визначити можливі небезпечні і шкідливі фактори, причини травматизму та професійного захворювання, розрахунок заземлення, розробка організаційно-технічні рішень.

6.2 Аналіз умов праці при виконанні робіт

Найбільш поширеними причинами травматизму і професійного захворювання під час виконання робіт (до чого відноситься визначення технічного стану високовольтних вимикачів) є:

- Поява напруги там, де її в нормальних умовах не повинно бути (на корпусах обладнання, на металевих конструкціях споруд тощо); найчастіше це відбувається внаслідок ушкодження ізоляції;
- Можливість дотику до неізольованих струмоведучих частин за відсутності відповідних огорож;
- Вплив електричної дуги, що виникає між струмопровідною частиною та людиною в мережах напругою вище 1000В, якщо людина опиниться в безпосередній близькості від струмопровідних частин;
- Високий рівень напруженості електромагнітного поля
- Необхідність виконання електромонтажних робіт на великій висоті і під напругою
- Неузгоджені та помилкові дії персоналу, подача напруги на установку, де працюють люди
- Залишення установки під напругою без нагляду
- Допуск до робіт на вимкненому електрообладнанні без перевірки відсутності напруги.

Після аналізу умов праці ми робимо висновки про небезпеки й шкідливі виробничі фактори при визначенні технічного стану високовольтного вимикача:

Фізичні небезпечні й шкідливі виробничі фактори:

- підвищена напруженість електричного поля;
- підвищена напруженість магнітного поля;
- недостатня освітленість робочої зони;

Додатково мають бути враховані такі фізичні небезпечні виробничі фактори:

– підвищений рівень електричної енергії;

Психофізіологічні небезпечні й шкідливі фактори:

– фізичні перевантаження;

– нервово-психологічні – втрата самовладання, порушення координації

рухів, необережні дії, недбале виконання своєї роботи.

Джерелами (носіями) небезпеки є:

– електрообладнання;

– людина.

6.3 Розробка організаційно-технічні рішення з охорони праці при визначенні технічного стану високовольтних вимикачів

6.3.1 Заходи та засоби, що мінімізують ризик ураження персоналу при проведенні ремонтних робіт з вимикачем (вказати тип та клас напруги)

За умовами МКР розробка організаційно-технічних рішень з охорони праці проводиться для повітряного вимикача ВВН-330.

Для розробки рішень з охорони праці за темою МКР мають бути проаналізовані документи, що наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Державні стандарти

1	НПАОП 40.1-1.01-97	Правила безпечної експлуатації електроустановок
2	ГНД 34.12.102-2004	Положення про спеціальну підготовку і навчання з питань технічної експлуатації об'єктів електроенергетики
3	НПАОП 0.00-1.71-13	Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями

4	НПАОП 40.1-1.07-01	Правила експлуатації електрозахисних засобів (ПЕЕЗ)
5	ПУЕ	Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання) (ПУЕ)

Для захисту персоналу використовують технічні і організаційні заходи.

Технічні засоби (ПБЕЕ п.7.) :

- Вимикання (знімання напруги) (ПБЕЕ п. 7.2);
- Вивішування плакатів безпеки, огороження робочого місця (ПБЕЕ п. 7.3.);
- Перевірка відсутності напруги (ПБЕЕ п. 7.4.);
- Встановлення заземлень (ПБЕЕ п. 7.5. і п.7.6);

Для безпечного проведення робіт слід вживати такі організаційні заходи (відповідно до ПБЕЕ п.6.1.1.) :

- призначення працівників, відповідальних за безпечне проведення робіт (ПБЕЕ п.6.1.2);
- видавання наряду або розпорядження (видавати наряд та розпорядження можуть робітники які мають групу V (ПБЕЕ п.6.1.3.), а також ПБЕЕ п.6.2) ;
- видавання дозволу на підготовку робочих місць та на допуск (давати дозвіл можуть лише оперативні працівники з групою V (ПБЕЕ п.6.1.5.), а також ПБЕЕ п.6.4.);
- підготовка робочого місця та допуск до роботи (підготовка робочого місця полягає у виконанні технічних заходів) (ПБЕЕ п.6.5.);
- нагляд під час виконання роботи (покладається на керівника робіт (наглядача)) (ПБЕЕ п.6.6.);
- переведення на інше робоче місце (ПБЕЕ п.6.7.);
- оформлення перерв у роботі та її закінчення (ПБЕЕ п.6.8.).

Також персона слід забезпечити індивідуальними засобами захисту (ПЕЕЗ Таблиця 4.1. і Таблиця 4.2.) та інструментом, що відповідає нормам (вимоги до інструментів НПАОП 0.00-1.71-13 Розділ 3 п.2):

- Захисний одяг
- Спеціальне діелектричне взуття (ПЕЕЗ п.13.2) ;
- Каска (ПБЕЕ п. 5.2.12);
- Діелектричні рукавички (ПЕЕЗ п.13.1) ;
- Переносні заземлення (ПЕЕЗ п. 14.1.) ;
- Спеціальні рукавиці (ПЕЕЗ п. 17.6.) ;
- Плакати і знаки безпеки (ПЕЕЗ п. 18.) ;
- Переносні ручні електричні світильники (ПБЕЕ п.5.2.10) (вимоги до світильників НПАОП 0.00-1.71-13 Розділ 3 п.1.22-1.30).

Перед виконанням робіт на вимикачі потрібно отримати допуск до робіт та виконати певні організаційні та технічні заходи (таблиця 6.2).

Таблиця 6.2 – Заходи під час підготовки робочого місця для під час визначення технічного стану високовольтного вимикача

Етап	Захід	Порядок виконання
1	Підготовка робочого місця до роботи	Здійснити необхідні вимкнення і заходів, які унеможливають помилкове або самочинне ввімкнення комутаційної апаратури
		Вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою.
		Перевірити відсутність напруги на струмопровідних частинах
		Встановити ПЗ (увімкнути заземлюючі ножі, установити переносні заземлення), вивісити вказівні плакати.
		Огородити робочі місця та струмопровідні частини вимикача, які залишилися під напругою, і вивісити на огородженнях плакати безпеки.
2	Вимикання (знімання напруги) зі струмопровідних частини, на яких	З кожного боку, звідки комутаційним апаратом може бути подано напругу на робоче місце, повинен бути видимий розрив, створений від'єднанням або зніманням шин і проводів, вимиканням роз'єднувачів, зніманням

	виконуватиме роботи	запобіжників, а також вимкненням вимикачів навантаження.
3	Вивішування плакатів безпеки	На приводах вимикача, на ключах і кнопках дистанційного керування
		На засувках, що закривають доступ повітря у пневматичні приводи комутаційної апаратури вивішується плакат «Не відкривати! Працюють люди!».
4	Перевірка відсутності напруги	Перевіряти відсутність напруги необхідно показчиками відповідного класу напруги, справність яких перед застосуванням слід перевірити.
		Використовувати показчик напруги, застосовувати діелектричні рукавички.
5	Заземлення	Встановлювати ПЗ на струмопровідні частини вимкненої для робіт ділянки ЕУ необхідно безпосередньо після перевірки відсутності напруги.
		ПЗ спочатку треба приєднати до заземлювального пристрою, а потім, після перевірки відсутності напруги, до струмопровідних частин.
		Знімати ПЗ необхідно у зворотній послідовності: спочатку зняти його із струмопровідних частин, а потім від'єднати від заземлювального пристрою.
		Установлення і зняття ПЗ слід виконувати в діелектричних рукавичках.
6	Обгородження робочого місця	Не вимкнені струмопровідні частини, які перебувають під напругою і доступні для випадкового доторкання, мають бути на час роботи обгороджені.
		Для тимчасового обгороджування струмопровідних частин, які залишилися під напругою, можуть застосовуватися щити, ширми, екрани тощо, виготовлені з ізоляційних матеріалів.
		У разі виконання робіт в зоні впливу електричного поля напруженістю понад 5кВ/м обмежувати тривалість перебування людей або застосовувати засоби захисту від впливу електричного поля.
		На тимчасовому огороженні слід вивісити плакат «Стій! Напруга!»

6.3.2 Розрахунок параметрів заземлювального пристрою високовольтного вимикача

Належне заземлення підвищує рівень безпеки вимикача, зменшує ризик ураження персоналу електричною енергією.

Для обґрунтування параметрів заземлювального пристрою, який використовується, проведемо розрахунок за загальноприйнятою методикою.

При розрахунку заземлювального пристрою вимикача використано програмне забезпечення Mathcad (додаток А).

1. Захисту підлягає високовольтний вимикач.

2. Захисне заземлення, яке розташовано по периметру від вимикача.

Напруга мережі – 330 кВ.

3. Тип заземлювального пристрою – вертикальні сталеві труби з розмірами: $l_B = 3$ м; $d=0,035$ м; відстань між вертикальними заземлювачами $a = 3$ м, тобто $a/l_B = 1$. Глибина закладання заземлювачів $H_0 = 0,7$ м, $B_c = 40$ мм.

4. Ґрунт – глина; склад – однорідний; вологість – мала. Кліматична зона – III.

Розв'язання

1. Визначаємо R_0 – допустиме (нормативне) значення опору розтікання струму в заземлювальному пристрої.

Згідно з ПУЕ (п. 1.7.106), $R_0 \leq 0.5$ Ом.

2. Визначаємо розрахунковий питомий опір глини для III кліматичної зони:

$$\rho_{розр} = \rho_{табл} \cdot K_c = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

3. Визначаємо H – відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача.

$$H = H_0 + \frac{l_B}{2} = 2.2 \text{ м.}$$

4. Визначаємо опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$R_B = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot l_B} \left(\ln \frac{2 \cdot l_B}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot H + l_B}{4 \cdot H - l_B} \right) = 17.5 \text{ Ом.}$$

5. Визначаємо орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів при $\eta_B = 1$:

$$n_{OP} = \frac{R_B}{R_0 \cdot \eta_B} = 35.01; \text{ приймаємо } n_{OP} = 36 \text{ шт.}$$

6. Визначаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів η_B , заземлювачі розташовані по контуру, $a/l_B = 1$, $n = 36$. Приймаємо $\eta_B = 0.66$.

7. Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта використання:

$$n_B = \frac{n_{OP}}{\eta_B} = 54.545; \text{ Приймаємо } n_B = 55 \text{ шт.}$$

8. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах при $n_B = 55$, без врахування з'єднувальної стрічки

$$R_{\text{розр.В}} = \frac{R_B}{n_B \cdot \eta_B} = 0.482 \text{ Ом.}$$

9. Визначаємо довжину з'єднувальної стрічки:

$$Lc = 1.05 \cdot a(n-1) = 173.25 \text{ м.}$$

10. Визначаємо опір розтікання струму для горизонтальних електродів, розташованих в ґрунті:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot Lc} \ln \frac{2 \cdot Lc^2}{H_0 \cdot Bc} = 0.804 \text{ Ом.}$$

11. Визначаємо коефіцієнт використання горизонтального заземлювача при $a/l=1$, $n=55$. Приймаємо $\eta_{\Gamma} = 0,2$.

12. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі з урахуванням η_{Γ} :

$$R_{\text{РОЗР.}\Gamma} = \frac{R_{\Gamma}}{\eta_{\Gamma}} = 4.018 \text{ Ом.}$$

13. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму заземлювального пристрою:

$$R_{\text{РОЗР}} = \frac{R_{\text{РОЗР.В}} \cdot R_{\text{РОЗР.}\Gamma}}{R_{\text{РОЗР.В}} + R_{\text{РОЗР.}\Gamma}} = 0.431 \text{ Ом.}$$

$$R_{\text{РОЗР}} \leq R_{\text{о}}$$

Отриманий розрахунковий опір розтікання струму відповідає вимогам ПУЕ п.1.7.106.

14. Вибираємо матеріал та поперечний переріз з'єднувальних проводів і магістральної шини за ПУЕ табл. 1.7.5, 1.7.6 .

Приймаємо сталеву шину товщиною 4 мм і перерізом 100 мм².

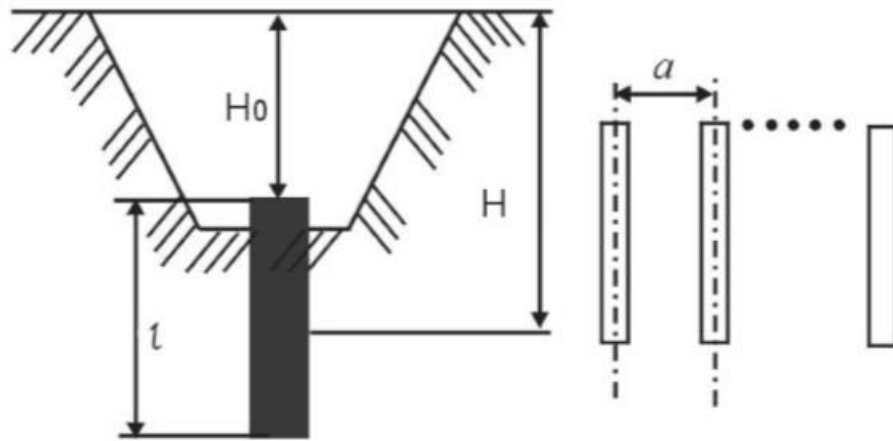


Рисунок 6.3 – Схема розміщення заземлювача в ґрунті

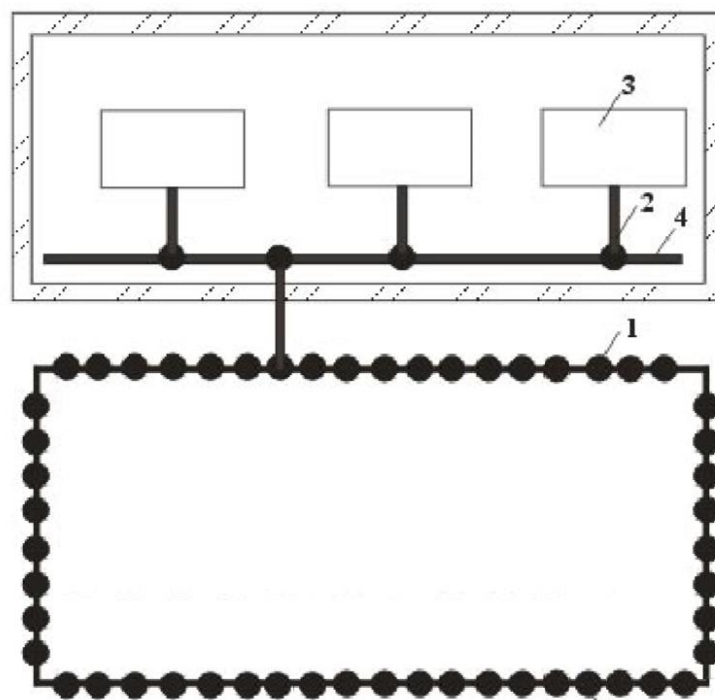


Рисунок 6.4 – Схема захисного заземлення: 1 – заземлювальний пристрій; 2 – заземлювальні провідники; 3 – заземлюване обладнання; 4 – внутрішня магістраль заземлення

Розрахунок параметрів заземлювального пристрою вимикача в програмі Mathcad наведено у додатку В.

Висновки до шостого розділу

У даному розділі були запропоновані організаційно-технічні рішення з охорони праці щодо запобігання та зменшення впливу на працівників шкідливих і небезпечних виробничих чинників які виникають у ході робіт на вимикачі з робочою напругою 330 кВ; визначені причини травматизму і професійного захворювання; розрахунок параметрів заземлювального пристрою для конкретних умов експлуатації вимикача; проаналізовані документи з охорони праці у електроустановок.

Урахування та виконання запропонованих заходів з охорони праці дозволяє мінімізувати ризик травматизму та професійного захворювання при виконанні робіт при визначенні технічного стану високовольтних вимикач

ВИСНОВКИ

1. _Аналіз конструктивних особливостей високовольтних вимикачів свідчить про різне дугогасне середовище (олива, вакуум, повітря під тиском, елегаз під тиском), різний тип привода, різний клас напруги;
2. _ У високовольтних вимикачів часто пошкоджуються котушки увімкнення та вимкнення, а також головні контакти, апаратні вводи та елементи шафи керування;
3. _Методи діагностування передбачають періодичне накладання на апаратні вводи вимикача постійної або змінної напруги джерела тестового сигналу. визначити складові ризиків під час експлуатації високовольтних вимикачів.
4. Розроблена математична модель коефіцієнта залишкового ресурсу високовольтного вимикача, яка дозволяє визначити технічний стан вимикача в умовах неповноти даних про значення діагностичних параметрів.
5. Порівняльний аналіз результатів експлуатації оливних та елегазових вимикачів їх вартості, та вартості відмов свідчить про те, що незважаючи на більш високу вартість елегазових вимикачів, вартість ремонтів оливних вимикачів набагато більша за вартість ремонтів елегазових вимикачів і тому виправданою є заміна застарілих оливних вимикачів на елегазові.
6. Використання результатів розрахунків ризиків дозволяє обрентувати доцільність проектних рішень, щодо конструкцій розподільних пристроїв, щодо заміни високовольтних вимикачів застарілих конструкцій на новію
7. Використання запропонованих в роботі заходів з охорони праці під час експлуатації високовольтних вимикачів зменшить ризики з експлуатації високовольтних вимикачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рубаненко, О. Є. Вдосконалення методів і засобів діагностування високовольтних вимикачів : монографія / О. Є. Рубаненко. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 188 с.
2. Кукеков Г. А. Выключатели переменного тока высокого напряжения / Г.А. Кукеков. – Л. : Энергия, 1972. – 336 с.
3. Белкин Г. С. Выключатели высокого напряжения / Г. С. Белкин, Н. В. Шилин. // Электричество. – 1989. – № 8. – С. 24–27
4. Тарасевич П. Й. Перспективи розвитку засобів виявлення високовольтних вимикачів напругою 110–750 кВ, що відмовили / П. Й. Тарасевич // Электроэнергетичні та електромеханічні системи. – Л. : Вид-во Нац. університету «Львівська політехніка», – 2009. – С. 91–96.
5. Абдурахманов А.М., Мисриханов М.Ш., Неклепаев Б.Н., Шунтов А.В. Еще раз о составляющих модели отказов выключателя//Электрические станции. 2005. № 4.
6. Богомоллов В.С., Зихерман М.Х., Львов Ю.Н., Назаров И.А., Тимашова Л.В., Шлейфман И.Л., Ясинская Н.В. Повреждаемость основного электрооборудования ПС напряжением 110-750 кВ в РФ// Энергия единой сети. 2003. №2 (7). С.14-27.
7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy ТЕСН. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 736 с.
8. Козлов В. Д., Соломаха М. І. Електричні апарати. Модуль 2. Комутаційні апарати низької та середньої напруги: Посібник – К.: НАУ, 2006. – 84 с.
9. Чернышев Н.А. Приборы контроля высоковольтных выключателей. Энергетик – 2003, №11, с. 8 – 14.
10. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ВВ-330. ВД2.025.061.ТО. – Л. Электроаппарат. – 1992. - 87 с.

11. Тихонов В. И. Марковские процессы / В. И. Тихонов, М. А. Миронов. — М.: Сов. радио, 1977. — 488 с.
12. Норми випробування електрообладнання: СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 Е офіц. вид., наказ Мінпаливенерго 2007-01-15 г. № 13. Е К. : ОЕП ГРІФРЕ» : М-во палива та енергетики України, 2007. Е 262 с. Е (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
13. Бондаренко Є. А., Вишневський С. Я., Бондаренко А. Є. Сучасний стан електротравматизму в енергетичній галузі .. Стор 18 – 24 Вісник ВПІ №3 2021 рік
14. Тихонов В. И. Марковские процессы / В. И. Тихонов, М. А. Миронов. — М.: Сов. радио, 1977. — 488 с.
15. Обоскалов В.П. Структурная надежность электроэнергетических систем: учебное пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 194 с.
16. Шушпанов И. Н. Разработка методов оценки надежности распределительной электрической сети и выбора мероприятий по ее повышению: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.14.02 - Иркутск, 2013. - 25 с.
17. Офіційна веб-сторінка Фонду соціального страхування від нещасних випадків. [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://www.fssu.gov.ua/fse/control/main/uk/publish/article/971983> .
18. Офіційна веб-сторінка Міністерства енергетики України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=245293124 .
19. Правила улаштування електроустановок :/ Міненерговугілля України. – Київ : , 2020. – 617 с.
20. ГКД 34.20.507-2003. Правила технічної експлуатації електричних станцій і мереж: галузевий керівний документ [електронний документ] / Львів ОРГРЕС. – 2003. –595 с.
21. В.М. Кутін Методи та засоби діагностування елегазових вимикачів: монографія / В. М. Кутін, О.Є. Рубаненко, С.В. Мисенко. – Вінниця: ВНТУ, 2018.

– 124 с.

22. РІЧНИЙ ЗВІТ. ANNUALREPORT 2010. [Електронний ресурс]: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2011 р. – 96 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/richnizvity/>, (дата звернення: 05.10.2018);

23. РІЧНИЙ ЗВІТ. ANNUALREPORT 2011. [Електронний ресурс]: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України Державне підприємство «Націо-нальна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2012 р. – 81 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/richnizvity/>. (дата звернення: 05.10.2018).

24. РІЧНИЙ ЗВІТ. ANNUALREPORT 2012. [Електронний ресурс]: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2013 р. – 114 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/richnizvity/>. (дата звернення: 05.10.2018).

25. РІЧНИЙ ЗВІТ. ANNUALREPORT 2013. [Електронний ресурс]: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2014 р. – 115 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/richnizvity/>. (дата звернення: 05.10.2018).

26. РІЧНИЙ ЗВІТ. ANNUALREPORT 2014. [Електронний ресурс]: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2015 р. – 107 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/richnizvity/>. (дата звернення: 05.10.2018).

27. РІЧНИЙ ЗВІТ. ANNUALREPORT 2015. [Електронний ресурс]: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2016 р. – 105 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/richnizvity/>. (дата звернення: 05.10.2018).

28. РІЧНИЙ ЗВІТ. ANNUALREPORT 2016. [Електронний ресурс]: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2017 р. – 103 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/richnizvity/>. (дата звернення: 05.10.2018).

29. Миркес Е. М., Нейрокомпьютер. Проект стандарта. — Новосибирск: Наука, 1999. — 337 с

30. Папков Б.В., Пашали Д.Ю. Надежность и эффективность электроснабжения: учебное пособие. Уфа: УГАТУ, 2005. 380 с.

31. Папков Б. В., Куликов А. Л. Теория систем и системный анализ для электроэнергетиков. М. : Изд-во Юрайт, 2016. 470 с.

32. Ситников В. Ф. Вероятностно-статистический подход к оценке ресурсов электросетевого оборудования в процессе эксплуатации / В. Ф. Ситников, В. А. Скопинцев // Электричество. - 2007. - № 11. - С. 9-15.

33. Панов А. В. Актуальні питання моніторингу і технічного обслуговування високовольтних вимикачів / А. В.Панов, В. І. Паньків, М. Ф. Сопель, Б. С. Стогній, Є. М. Танкевич // Технічна Електродинаміка. - 2018. - № 2. - С. 75-85.

34. Медиковський М. О. Дослідження ефективності методів визначення вагових коефіцієнтів важливості / М. О.Медиковський, О. Б. Шуневич // Вісник Хмельницького національного університету. - 2011. - № 5. - С. 176-182.

35. Лебедка С. Н. Математическое моделирование режимов работы электросетей с ОПН [Текст] / Ю. Н. Веприк, С. Н. Лебедка // Східно-Європейський журнал передових технологій. - 2012. - № 3/8. - С. 25-29.

36. Мордкович А. Г. О построении подсистем мониторинга, управления и диагностики оборудования подстанций сверхвысокого напряжения и интеграции в АСУТП ПС. / А. Г. Мордкович, Р. А. Горожанкин // Электрические станции. - 2007. - № 7. - С. 30-38.

37. Сви П. М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения / П. М. Сви. - М. : Энергоатомиздат, 1992 - 240 с.

38. Костерев М. В. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об'єктів електричних систем [Текст]: монографія / М. В. Костерев, Є. І. Бардик. - Київ : НТУУ КПІ, 2011. - 148 с.
39. Бондаренко Є.А. Пробіт-аналіз ризику електротравматизму // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 6. – С. 97-100
40. Абдурахманов А. М. Влияние продолжительности эксплуатации на отказы выключателей в высоковольтных электрических сетях / А. М. Абдурахманов, М. Ш. Мисриханов, А. В. Шунтов // Электрические станции. - 2007. - № 7. - С. 59-63.
41. Абдурахманов А. М. Анализ моделей отказа выключателей в схемах коммутации электроустановок / А. М. Абдурахманов, М. Ш. Мисриханов, А. В. Шунтов // Электричество. - 2007. - № 4. - С. 2-11.
42. Абдурахманов А. М. Об особенностях структуры параметра потока отказов выключателя / А. М. Абдурахманов, М. Ш. Мисриханов, Б. Н. Неклепаев // Электрические станции. - 2005. - № 5. - С. 54-57.
43. Дьяконов В.В. MATLAB: учебный курс. – СПб: Питер, 2001. – 560 с.
44. Круглов В.В., Борисова Н.Н. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М: Горячая линия – Телеком, 2001. – 382 с.
45. Афанасьев В. В. Приводы к выключателям и разъединителям высокого напряжения / В. В. Афанасьев, Э. Н. Якунин. Е Л. : Энергоатомиздат, 1982. - 224 с.
46. Костерев М. В. Оцінка ймовірності відмови електрообладнання при керуванні режимами електричної системи енергосистем / М. В. Костерев, Є. І. Бардик, В. В. Літвінов // Наук. пр. Донец. нац. техн. ун-ту. Сер.: Електротехніка і енергетика». - Вип. 11 (186).- Донецьк, 2011. - С. 199-204.
47. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский; пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 344 с. ISBN 5-279-02567-4.
48. Калан Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Калан; пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. – 288 с. ISBN 5-8459-0210-X.

49. Рубаненко О.Є. Особливості експлуатації високовольтних електричних вимикачів// Рубаненко О.Є. Лесько В.О. Поліщук А. В., Мельничук Д.О. / Міжнародна науково-технічна конференція (ОКЕУ-2021), Вінниця, 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-okeu/index/pages/view/zbirn2021>. Дата звернення: Черв. 2021. С. 1-4.

50. О.Є. Рубаненко Особливості експлуатації високовольтних електричних вимикачів // Рубаненко О.Є. Гунько І. О., Мельничук Д.О. / Міжнародна науково-технічна конференція (ОКЕУ-2021), Матеріали L науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2021) 10-12 березня 2021 року Вінниця, 2021. Електронний ресурс. Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/vntu_2021_netpub.pdf Дата звернення: Черв. 2021. С. 2240-2244.

ДОДАТОК А

Протокол перевірки навчальної (кваліфікаційної) роботи

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)

" _____ " _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
**РИЗИКИ У ВИЗНАЧЕННІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ
ВИМИКАЧІВ**
08-13.МКР.008.00.004 ТЗ

Науковий керівник: к.т.н.

_____ Рубаненко О.Є.

(підпис)

Магістр групи ЕС-20м

_____ Мельничук Д. О.

(підпис)

Вінниця 2021 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

а) актуальність дослідження обумовлена тим, що під час пошкоджень високовольтного електричного обладнання, наприклад, під час коротких замикань, пошкоджене обладнання необхідно швидко відключати найближчим до пошкодження вимикачем. Виконавчим обладнанням, яке відключає коротке замикання є високовольтний вимикач.

В наш час все ще знаходяться в експлуатації застарілі оливні або повітряні вимикачі, які поступово замінюються на нові вакуумні або елегазові. Водночас така заміна обґрунтована результатами діагностування вимикачів. Діагностування вимикачів дозволяє визначити їх технічний стан.

Тому необхідно враховувати ризики електротравматизму, внаслідок експлуатації некісного електрообладнання, наприклад, високовольтних вимикачів; ризиків фінансових збитків викликаних заміною пошкодженого обладнання на нове; збитками викликаними вартисними ремонтами; збитками викликаними втратами в електричному обладнанні під час не оптимальних режимів експлуатації. Ці збитки можуть виникати внаслідок неякісного діагностування, тобто неякісного визначення поточного технічного стану високовольтних вимикачів. Оже магістерська кваліфікаційна роботи є актуальною.

б) наказ ректора ВНТУ № 277 від 24 вересня 2021 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

а) мета – аналіз методів визначення ризиків, які виникають під час експлуатації високовольтних вимикачів для покращення безпеки та якості експлуатації високовольтного обладнання;

б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3. Джерела розробки

Список використаних джерел розробки:

1. Правила улаштування електроустановок :/ Міненерговугілля України. – Київ : , 2020. – 617 с.

2. ГКД 34.20.507-2003. Правила технічної експлуатації електричних станцій і мереж: галузевий керівний документ [електронний документ] / Львів ОРГРЕС. – 2003. – 595 с.

3. В.М. Кутін Методи та засоби діагностування елегазових вимикачів: монографія / В. М. Кутін, О.Є. Рубаненко, С.В. Мисенко. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 124 с.

4. РІЧНИЙ ЗВІТ. ANNUALREPORT 2010. [Електронний ресурс]: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2011 р. – 96 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/richnizvity/>, (дата звернення: 05.10.2018);

5. РІЧНИЙ ЗВІТ. ANNUALREPORT 2011. [Електронний ресурс]: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України Державне підприємство «Націо-нальна енергетична компанія «Укренерго». – Київ, 2012 р. – 81 с. – Режим доступу: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/richnizvity/>. (дата звернення: 05.10.2018).

4. Технічні вимоги до виконання МКР

Вимоги до виконання викладені у відповідних нормативних матеріалах з використанням основних методів та засобів діагностування технічного стану для визначення ризиків висиковольтних вимикачів, а також виконання математичного моделювання вимикачів в середовищі Matlab.

5. Економічні показники

Провести розрахунок економічного ефекту від впровадження сучасних засобів діагностування та моніторингу технічного стану високовольтних вимикачів.

6. Етапи МКР та очікувані результати

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	02.09.21	06.09.21	формування технічного завдання
2	Загальні відомості про високовольтні вимикачі.	07.09.21	12.09.21	аналітичний огляд

				літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
3	Діагностування високовольтних вимикачів	13.09.21	05.10.21	розділ 2
4	Визначення ризиків під час діагностування високовольтного обладнання.	06.10.21	20.10.21	розділ 3
5	Математичне моделювання вимикачів в середовищі Matlab.	21.10.21	30.10.21	розділ 4
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	01.11.21	10.11.21	розділ 5
7	Економічна частина	11.11.21	16.11.20	розділ 6
8	Оформлення пояснювальної записки	17.11.21	25.11.20	пояснювальна записка
9	Виконання графічної частини та оформлення презентації	26.12.21	30.11.21	плакати, презентація

7. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, відгук рецензента, протоколи складання державних іспитів, анотації до МКР українською та іноземною мовами.

8. 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.

9. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:2, 2021р.

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

Відсутні.

ДОДАТОК В

Розрахунок параметрів заземлювального пристрою вимикача в програмі Mathcad

Вводимо початкові дані

Довжина вертикального заземлювача, м $l := 3$

Діаметр вертикального заземлювача, м $d := 0.035$

Відстань між заземлювачами, м $a := 3$

Сезонний кліматичний коефіцієнт $K_c := 1.5$

Визначаємо величину (нормативне)
значення опору розтікання струму в
заземлювальному пристрої, Ом $R_n := 4$

+

Коефіцієнт використання заземлювачів $n := 1$

розрахунковий питомий опір $\rho := 40$

Глибина закладання заземлювачів $H_0 := 0.7$ $V_c := 0.04$

1. Визначаємо допустиме (нормативне) значення опору розтікання струму в заземлювальному пристрої.

$R_d := 0.5$

2. Визначаємо розрахунковий питомий опір ρ

$\rho_c := \rho \cdot K_c = 60$

3. Визначаємо відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача, м

$H_H := H_0 + \frac{l}{2} = 2.2$

4. Визначаємо опір струму розтікання в одному вертикальному заземлювачі, Ом

$R_{B1} := \frac{\rho_c}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln\left(\frac{2 \cdot l}{d}\right) + \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot H_H + l}{4 \cdot H_H - l}\right) \right) = 17.505$

5. Орієнтовна кількість вертикальних заземлювачів, шт.

$n_{op} := \frac{R_B}{R_d \cdot n} = 35.01$

$n_{op} := 36$

6. Визначаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів

$\eta_B := 0.66$

7. Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта використання:

$n_B := \frac{n_{op}}{\eta_B} = 54.545$

$n_B := 55$

8. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах, без врахування з'єднувальної стрічки

$R_{розрB} := \frac{R_B}{n_B \cdot 0.66} = 0.482$

9. Визначаємо довжину з'єднувальної стрічки:

$$L_c := 1.05 \cdot 3 \cdot (55) = 173.25$$

10. Визначаємо опір розтікання струму для горизонтальних електродів, розташованих в ґрунті:

$$R_r := \frac{\rho_c}{(2 \cdot \pi \cdot L_c)} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot L_c^2}{B_c \cdot H_0} \right) = 0.804$$

11. Визначаємо коефіцієнт використання горизонтального заземлювача

$$\eta_r := 0.2$$

12. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі з урахуванням η_r

$$R_{розрГ} := \frac{R_r}{\eta_r} = 4.018$$

13. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму заземлювального пристрою:

$$R_{розр} := \frac{R_{розрГ} \cdot R_{розрВ}}{R_{розрГ} + R_{розрВ}} = 0.431$$

ДОДАТОК Г**Ілюстративний матеріал**

Презентация 2 Мельничук - PowerPoint (Свой активация продукта)

Файл Главная Вставка Дизайн Переходы Анимация Слайд-шоу Рецензирование Вид MathType Что вы хотите сделать? Выход Общий доступ

Вставить Вырезать Копировать Формат по образцу Буфер обмена

Создать слайд Раздел

Направление текста Выровнять текст Преобразовать в SmartArt

Заливка фигуры Контур фигуры Упорядочить Экспресс-стили Эффекты фигуры

Найти Заменить Выделить Редактирование

1 Винницький національний технічний університет
Кафедра електричних станцій та систем
Ризики у визначенні технічного стану
високовольтних вимикачів

2

3

4

5

6

Заметки к слайду

Слайд 1 из 21 украинский

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Заметки Примечания 83%

Презентация 2 Мельничук - PowerPoint (Свой активация продукта)

Файл Главная Вставка Дизайн Переходы Анимация Слайд-шоу Рецензирование Вид MathType Что вы хотите сделать? Выход Общий доступ

Вставить Вырезать Копировать Формат по образцу Буфер обмена

Создать слайд Раздел

Направление текста Выровнять текст Преобразовать в SmartArt

Заливка фигуры Контур фигуры Упорядочить Экспресс-стили Эффекты фигуры

Найти Заменить Выделить Редактирование

1 Актуальність теми 1.1

2

3

4

5

6

Заметки к слайду

Слайд 2 из 21 украинский

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Заметки Примечания 83%

Актуальність теми

Ознакою сьогодення є поява сучасних підприємств, які використовують мікропроцесорну техніку, виробляють вартісну продукцію і тому висувають високі вимоги до безпечного, надійного та якісного електропостачання. Водночас обладнання енергопостачальних компаній застаріло. Також, на жаль, зростає кількість випадків електро травматизму.

Відомо, що під час пошкодження високовольтного електричного обладнання, наприклад, під час коротких замикань, пошкоджене обладнання необхідно швидко відключати найближчим до пошкодження вимикачем.



Виконавчим обладнанням, яке відключає коротке замикання є високовольтний вимикач. В наш час все ще знаходяться в експлуатації застарілі оливні або повітряні вимикачі, які поступово замінюються на нові вакуумні або елегазові. Водночас така заміна обґрунтована результатами діагностування вимикачів.

Діагностування вимикачів дозволяє визначити їх технічний стан. Однак для обґрунтування доцільності та обсягів заміни застарілих вимикачів на нові, для обґрунтування схем розподільних пристроїв виправданим є використання розрахунків ризиків, які виникали під час експлуатації вимикачів в минулому, виникають в наш час та можуть виникнути у майбутньому.

Презентация 2 Мельничук - PowerPoint (Свой активации продукта)

Актуальність теми 1.2

Необхідно враховувати ризики електро травматизму, внаслідок експлуатації некісного електрообладнання, наприклад, високовольтних вимикачів; ризиків фінансових збитків викликаних заміною пошкодженого обладнання на нове; збитками викликаними вартісними ремонтами; збитками викликаними втратами в електричному обладнанні під час не оптимальних режимів експлуатації. Ці збитки можуть виникати внаслідок неякісного діагностування, тобто неякісного визначення поточного технічного стану високовольтних вимикачів

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є аналіз методів визначення ризиків, які виникають під час експлуатації високовольтних вимикачів для покращення безпеки та якості експлуатації високовольтного обладнання

Отже тема та мета магістерської кваліфікаційної роботи є **актуальними**.

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Заметки к слайду

Слайд 3 из 21 украинской

Презентация 2 Мельничук - PowerPoint (Свой активации продукта)

Мета, задачі, об'єкт та предмет досліджень 2

Мета досліджень. Мета – підвищення якості експлуатації вимикачів за рахунок врахування ризиків під час визначення технічного стану вимикачів.

Задачі: проаналізувати конструктивні особливості високовольтних вимикачів; визначити пошкоджуваність високовольтних вимикачів; дослідити методи та засоби діагностування вимикачів; визначити складові ризиків під час експлуатації високовольтних вимикачів; розробити математичну модель коефіцієнта залишкового ресурсу високовольтного вимикача; порівняти показники заміни оливного вимикача на елегазовий; проаналізувати заходи з охорони праці під час експлуатації високовольтних вимикачів.

Предметом дослідження є методи визначення ризику.

Об'єктом дослідження є процеси погіршення технічного стану вимикачів, методи визначення їх ресурсу та ризику, що вони несуть.

Методи дослідження. методи теорії ризиків для визначення ризиків діагностування технічного стану високовольтних вимикачів.

Практична цінність роботи полягає у наведених в роботі результатах аналізу пошкоджень вимикачів та в прикладі визначення залишкового ресурсу вимикача.

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Заметки к слайду

Слайд 4 из 21 украинской

Презентация 2 Мельничук - PowerPoint (Своей активации продукта)

Файл Главная Вставка Дизайн Переходы Анимация Слайд-шоу Рецензирование Вид MathType Что вы хотите сделать? Выход Общий доступ

Вставить Вырезать Копировать Формат по образцу Буфер обмена

Создать слайд Сбросить Раздел

Шрифт Абзац Рисование

Направление текста Выровнять текст Преобразовать в SmartArt Упорядочить Экспресс-стили Заливка фигуры Контур фигуры Эффекты фигуры Найти Заменить Выделить Редактирование

4

5

6

7

8

9

Слайд 5 из 21 украинский

Види експлуатаційних робіт

Зберігання

Діагностування

Ремонт

Огляди

Поточні ремонти

Позаплановий ремонт (за станом)

Капітальні ремонти

Заметки к слайду

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Презентация 2 Мельничук - PowerPoint (Своей активации продукта)

Файл Главная Вставка Дизайн Переходы Анимация Слайд-шоу Рецензирование Вид MathType Что вы хотите сделать? Выход Общий доступ

Вставить Вырезать Копировать Формат по образцу Буфер обмена

Создать слайд Сбросить Раздел

Шрифт Абзац Рисование

Направление текста Выровнять текст Преобразовать в SmartArt Упорядочить Экспресс-стили Заливка фигуры Контур фигуры Эффекты фигуры Найти Заменить Выделить Редактирование

4

5

6

7

8


9

Слайд 6 из 21 украинский

Призначення високовольтних вимикачів

Вимикач є основним комутаційним апаратом в електричних установках різних номінальних напруг. Він призначений для увімкнення та вимкнення електричних кіл в різних режимах роботи електричних мереж: тривалому навантаженні, перевантаженні, короткому замиканні, холостому ході, несинхронній роботі. Найбільш важкою і відповідальною операцією є вимкнення струмів коротких замикань (КЗ) і увімкнення вимикача на відповідне коротке замикання. Більшість високовольтних вимикачів (включаючи їх приводи) призначені для комутації електричних кіл при нормальних і аварійних режимах в мережах трифазного змінного струму частотою 50 Гц з номінальною напругою від 6 до 750 кВ включно.

Види вимикачів повітряні вимикачі (таких типів, як ВВ-330Б на підстанції «Кам'янець-Подільська-330», ВВН-330 на підстанції «Тернопільська 330»; ВВ-330Б на підстанції «Чернівець -330»; ВВДМ на підстанції «Козятин 330»), оливні, повітряні, вакуумні, элегазові.



Заметки к слайду

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Презентация 2 Мельник - PowerPoint (Своей активации продукта)

4 5 6 7 8 9

Високовольтні вимикачі

5

Високовольтний вимикач — комутаційний апарат, призначений для оперативних вмикань та вимикань окремих електричних кіл або електрообладнання в енергосистемі в нормальних чи аварійних режимах при ручному, дистанційному або автоматичному керуванні.

Тип вимикача	Відсоток
ОЛІВНІ БАКОВІ	50%
МАЛОБЕСМІН ОЛІВНІ	33%
ПОВІТРЯНІ	15%
ЕЛЕГАЗОВІ	2%

```

    graph TD
      A[Високовольтні вимикачі] --> B[Масляні]
      A --> C[Елегазові]
      A --> D[Вакуумні]
      B --> B1[Малообемні]
      B --> B2[Бакові]
      C --> C1[Повітряні]
      D --> D1[Електромагнітні]
    
```

Класифікація вимикачів за способом гасіння дуги

Заметки к слайду

Слайд 7 из 21 | украинский

Презентация 2 Мельник - PowerPoint (Своей активации продукта)

4 5 6 7 8 9

Оливні вимикачі

6

-високовольтний вимикач, в якому середовищем для гасіння електричної дуги є масло.

Причина пошкодження	Відсоток
завдяки механізму привода	22%
ввод	18%
включаючі і відключаючі електромагніти, лашетки управління	18%
інші елементи	11%
перелачні механізми від приводу	7%
дугогасний пристрій	9%
комутуючі пристрої у ланцюзі приводу	15%

Заметки к слайду

Слайд 6 из 21 | украинский

Презентация 2 Мельник - PowerPoint (Свой активация продукта)


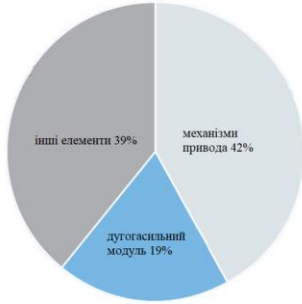
Файл Главная Вставка Дизайн Переходы Анимация Слайд-шоу Рецензирование Вид MathType Что вы хотите сделать? Ввод Общий доступ

Вставить Вырезать Копировать Формат по образцу Создать слайд Раздел Буфер обмена Слайды Шрифт Абзац Рисование Найти Заменить Выделить

Елегазові вимикачі

7

- високовольтний вимикач, в якому середовищем для гасіння електричної дуги є елегаз (гексафторид сірки, SF₆).

Категорія	Відсоток
механізми привода	42%
дугогасильний модуль	19%
інші елементи	39%

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Заметки к слайду

Слайд 9 из 21 украинской


Презентация 2 Мельник - PowerPoint (Свой активация продукта)

Файл Главная Вставка Дизайн Переходы Анимация Слайд-шоу Рецензирование Вид MathType Что вы хотите сделать? Ввод Общий доступ

Вставить Вырезать Копировать Формат по образцу Создать слайд Раздел Буфер обмена Слайды Шрифт Абзац Рисование Найти Заменить Выделить

Класифікація елегазових вимикачів

8



```

graph TD
    Root[Класифікація елегазових вимикачів] --> Col[Колонкові]
    Root --> Bak[Бакові]
    Col --> Col1[За типом привода]
    Col --> Col2[За кількістю приводів]
    Col --> Col3[За типом дугогасильного пристрою]
    Col --> Col4[За дугогасильним середовищем]
    Col --> Col5[За способом управління]
    Bak --> Col1
    Bak --> Col2
    Bak --> Col3
    Bak --> Col4
    Bak --> Col5
    Col1 --> C1_1[З пружинно-гідрравлічним]
    Col1 --> C1_2[З пружинним]
    Col2 --> C2_1[З одним на вимикач]
    Col2 --> C2_2[З одним на полюс]
    Col3 --> C3_1[Компресійного]
    Col3 --> C3_2[Автокомпресійного]
    Col4 --> C4_1[З одним приводом на фазу]
    Col4 --> C4_2[Елегаз]
    Col4 --> C4_3[Елегаз+тетрафторметан]
    Col5 --> C5_1[Однополюсного]
    Col5 --> C5_2[Триполюсного]
    
```

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Заметки к слайду

Слайд 10 из 21 украинской

Презентация 2 Мельничук - PowerPoint (Своей активации продукта)

Файл Главная Вставка Дизайн Переходы Анимация Слайд-шоу Рецензирование Вид MathType Что вы хотите сделать? Выход Общий доступ

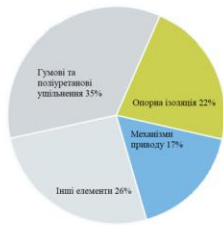

Вставить Вырезать Копировать Формат по образцу Буфер обмена Создать слайд Сбросить Раздел

Направление текста Выровнять текст Преобразовать в SmartArt Упорядочить Экспресс-стили Рисование Заливка фигуры Контур фигуры Эффекты фигуры Найти Заменить Выделить Редактирование

Повітряні вимикачі

9

- високовольтний комутаційний пристрій з існуючими повітряними потоками для придушення розряду, який проявляється при робочому або аварійному спрацюванні.



Повітряні вимикачі

- Бакони
- Вимикачі з повітряним наповненням відокремлювачів
- З конденсатором

Гуми та позретинові ушкодження 35%

Опори (ізоляція) 22%

Механічні правду 17%

Інші елементи 26%

ПРИЧИНИ ПОШКОДЖЕНЬ

Заметки к слайду

Слайд 11 из 21 украинской

Презентация 2 Мельничук - PowerPoint (Своей активации продукта)

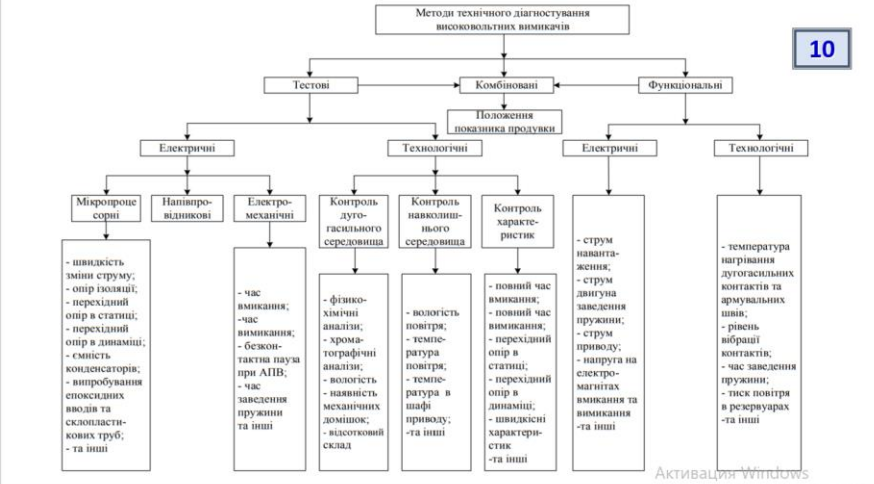
Файл Главная Вставка Дизайн Переходы Анимация Слайд-шоу Рецензирование Вид MathType Что вы хотите сделать? Выход Общий доступ

Вставить Вырезать Копировать Формат по образцу Буфер обмена Создать слайд Сбросить Раздел

Направление текста Выровнять текст Преобразовать в SmartArt Упорядочить Экспресс-стили Рисование Заливка фигуры Контур фигуры Эффекты фигуры Найти Заменить Выделить Редактирование

Методи технічного діагностування високовольтних вимикачів

10



Методи технічного діагностування високовольтних вимикачів

- Тестові
 - Електричні
 - Мікропроцесорні
 - швидкість зміни струму;
 - опір ізоляції;
 - перехідний опір в статичі;
 - перехідний опір в динаміці;
 - сміст конденсаторів;
 - випробування епоксидних в'єдів та склопластикових труб;
 - та інші
 - Напівпровідникові
 - Електромеханічні
 - час вмикання;
 - час вимкання;
 - безконтактна пауза при АПВ;
 - час заведення пружини та інші
 - Технологічні
 - Контроль дугогасильного середовища
 - фізико-хімічні аналізи;
 - хромотографічні аналізи;
 - вологість;
 - наявність механічних домішок;
 - висотковий склад
 - Контроль навколишнього середовища
 - вологість повітря;
 - температура повітря;
 - температура в шафі приводу;
 - та інші
 - Контроль характеристик
 - повний час вмикання;
 - повний час вимкання;
 - перехідний опір в статичі;
 - перехідний опір в динаміці;
 - швидкісні характеристики;
 - та інші
- Комбіновані
 - Положення показника продукції
- Функціональні
 - Електричні
 - струм навантаження;
 - струм двигуна заведення пружини;
 - струм приводу;
 - напруга на електромагнітах вимкання та вимкання
 - та інші
 - Технологічні
 - температура нагрівання дугогасильних контактів та армувальних швів;
 - рівень вібраті контактів;
 - час заведення пружини;
 - тиск повітря в резервуарах
 - та інші

Заметки к слайду

Слайд 12 из 21 украинской

Презентация 2 Мельничук - PowerPoint (Своей активации продукта)

11

Структурна схема нечіткої моделі для оцінення технічного стану елегазового вимикача

```

    graph LR
      Rmex --> FRmex
      Rkom --> FRkom
      Relg --> FRrelg
      Dlim["Δlim"] --> FDlim["FΔlim"]
      FRmex --> RuleBase["База правил оцінення технічного стану елегазового вимикача"]
      FRkom --> RuleBase
      FRrelg --> RuleBase
      FDlim --> RuleBase
      RuleBase --> FS
      FS --> S
  
```

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Заметки к слайду

Слайд 13 из 21 украинской

Презентация 2 Мельничук - PowerPoint (Своей активации продукта)

12

Використання приладів контролю високовольтних вимикачів

Серед різних форм представлення результатів контролю параметрів вимикачів необхідно обирати таку, щоб вона була інформативною і зручною. Такою є графічна форма представлення інформації. Якщо зіставити графіки двох процесів, то легко виявити відмінності в перебігу процесів, погіршення технічного стану (деградації) обладнання.

При використанні пристроїв є можливість як відразу після закінчення циклу виводити осцилограми сигналів для аналізу на вбудованому дисплеї або використати ПЗ обробки даних, яке дозволяє виконати на персональному комп'ютері докладний аналіз аналогових сигналів та діаграм роботи контактів, оформити та роздрукувати протокол налагодження.

ПКВ/М6Н

Рекон-08ВВ

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Заметки к слайду

Слайд 14 из 21 украинской

Презентация 2 Мельничук - PowerPoint (Своей активации продукта)

Файл Главная Вставка Дизайн Переходы Анимация Слайд-шоу Рецензирование Вид MathType Что вы хотите сделать? Выход Общий доступ

Вставить Вырезать Копировать Формат по образцу Буфер обмена Создать слайд Сбросить Раздел

Направление текста Выровнять текст Преобразовать в SmartArt Упорядочить Экспресс-стили Заливка фигуры Контур фигуры Эффекты фигуры Найти Заменить Выделить Редактирование

15

Компоненти ризику

13

RA_в	Компонент ризику нанесення шкоди живим істотам в результаті ураження електричним струмом внаслідок неспрацювання вимикача
RB_в	Компонент ризику фізичного пошкодження суміжного з вимикачем обладнання, викликаного помилками оцінювання технічного стану ВВ під час діагностування
RC_в	Компонент ризику відмови вторинних внутрішніх систем розподільних пристроїв, викликаного неспрацюванням вимикача

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Заметки к слайду

Слайд 15 из 21 украинской

Презентация 2 Мельничук - PowerPoint (Своей активации продукта)

Файл Главная Вставка Дизайн Переходы Анимация Слайд-шоу Рецензирование Вид MathType Что вы хотите сделать? Выход Общий доступ

Вставить Вырезать Копировать Формат по образцу Буфер обмена Создать слайд Сбросить Раздел

Направление текста Выровнять текст Преобразовать в SmartArt Упорядочить Экспресс-стили Заливка фигуры Контур фигуры Эффекты фигуры Найти Заменить Выделить Редактирование

16

Компоненти ризику для обладнання РП

14

Компоненти ризику для обладнання розподільних пристроїв при невідключеного вимикачем пошкодженого обладнання	
RU	Компонент ризику нанесення шкоди живим істотам внаслідок ураження їх електричним струмом при надструмах КЗ в обладнання РП
RV	Компонент ризику фізичного пошкодження РП (пожежа або вибух вимикачів, викликані пошкодженнями вимірювальних олівних трансформаторів, силових трансформаторів, олівних вимикачів і т.п.)
RW	Компонент ризику відмови систем управління та автоматики, викликаного стрибками напруги та струму під час відмови обладнання, не відключеного вимикачем

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Заметки к слайду

Слайд 16 из 21 украинской

Презентация 2 Мельничук - PowerPoint (Своей активации продукта)

Методи розрахунку ризиків 15

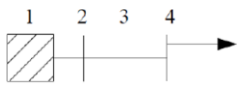
Експертно-статистичний метод

спрощує математичне моделювання розподільчих пристроїв будь-якої конфігурації, від простих до складнозамкнених (тупикових або транзитних)

Ймовірнісно-топологічний метод

Основні особливості побудови математичної моделі оцінення порушення роботи РПВН такі:

- визначення ТС електричних апаратів, які входять до складу розподільчої установки;
- за даними ТС визначення ймовірності відмови елемента електроустановки на прогнозованому інтервалі часу;
- перехід від структури мережі до топологічної матриці;
- визначення топологічного зв'язку між елементами РПВН;
- відповідно до топології електроустановки та стану електрообладнання визначення ризиків порушення роботи РПВН;
- згідно з ризиками порушення роботи РПВН визначення терміну відновлення нормальної роботи розподільчої електроустановки.



$$C = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 1 & 2 \\ 4 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Заметки к слайду

Слайд 17 из 21 украинской

Презентация 2 Мельничук - PowerPoint (Своей активации продукта)

Причини відмов вимикачів по окремих елементам 16

№ п/п	Вузол вимикача	% від загального числа відмов
1	Опорно стрижнева ізоляція	23,56
2	Електромагнітний привід	4,76
3	Дугогасильна камера	19,04
4	Ресивер	4,1
5	Контактна система	9,52
6	Клапана система шафи керування	14,28
7	Пнемо – кінематична схема	19,04
8	Магістраль подачі повітря	5,7

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Заметки к слайду

Слайд 18 из 21 украинской

Презентация 2 Мельник - PowerPoint (Своей активации продукта)

Файл Главная Вставка Дизайн Переходы Анимация Слайд-шоу Рецензирование Вид MathType Что вы хотите сделать? Ввод Общий доступ

Вставить Вырезать Копировать Формат по образцу Буфер обмена

Создать слайд Раздел

Макет Сбросить

Направление текста Выровнять текст Преобразовать в SmartArt

Заливка фигуры Контур фигуры Эффеkты фигуры

Найти Заменить Выделить Редактирование

Слайды Шрифт Абзац Рисование

Причини відмов вимикачів по окремим елементам та етапи моделювання

17

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Заметки Примечания

Слайд 19 из 21 украинской 83 %

Презентация 2 Мельник - PowerPoint (Своей активации продукта)

Файл Главная Вставка Дизайн Переходы Анимация Слайд-шоу Рецензирование Вид MathType Средства рисования Формат Что вы хотите сделать? Ввод Общий доступ

Вставить Вырезать Копировать Формат по образцу Буфер обмена

Создать слайд Раздел

Макет Сбросить

Направление текста Выровнять текст Преобразовать в SmartArt

Заливка фигуры Контур фигуры Эффеkты фигуры

Найти Заменить Выделить Редактирование

Слайды Шрифт Абзац Рисование

Висновки

18

1. Аналіз конструктивних особливостей високовольтних вимикачів свідчить про різне дугогасне середовище (олива, вакуум, повітря під тиском, елегаз під тиском), різний тип привода, різний клас напруги;
2. У високовольтних вимикачів часто пошкоджуються котушки увімкнення та вимкнення, а також головні контакти, апаратні вводи та елементи шафи керування;
3. Методи діагностування передбачають періодичне накладання на апаратні вводи вимикача постійної або змінної напруги джерела тестового сигналу, визначити складові ризиків під час експлуатації високовольтних вимикачів;
4. Розроблена математична модель коефіцієнта залишкового ресурсу високовольтного вимикача, яка дозволяє визначити технічний стан вимикача в умовах неповноти даних про значення діагностичних параметрів
5. Порівняльний аналіз результатів експлуатації оливних та елегазових вимикачів їх вартості, та вартості відмов свідчить про те, що незважаючи на більш високу вартість елегазових вимикачів, вартість ремонтів оливних вимикачів набагато більша за вартість ремонтів елегазових вимикачів і тому виправдано є заміна застарілих оливних вимикачів на елегазові.
6. Використання результатів розрахунків ризиків дозволяє обрентувати доцільність проектних рішень, щодо конструкцій розподільних пристроїв, щодо заміни високовольтних вимикачів застарілих конструкцій на новію
7. Використання запропонованих в роботі заходів з охорони праці під час експлуатації високовольтних вимикачів зменшить ризики з експлуатації високовольтних вимикачів .

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Заметки Примечания

Слайд 20 из 21 украинской 83 %

Скриншот екрана програмного забезпечення Microsoft PowerPoint 2010. Інтерфейс розташований на українській мові. У верхній частині відкрито меню "Файл" та "Головна". Панель інструментів містить розділи "Вставка", "Дизайн", "Переходи", "Анімація", "Слайд-шоу", "Рецензування", "Вид", "MathType" та "Що ви хочете зробити?". Лінійка показує розмір шрифта 18. У центрі екрана відображено слайд 21 з синім фоном та червоною надписом: "Доповідь закінчена. Дякую за увагу.". Лінійка слайдів зліва показує слайди 17, 18, 19, 20 та 21. У нижній частині екрана відображено панель "Заметки к слайду" та панель управління слайд-шоу з кнопками "Заметки" та "Примечания". Статус-бар показує "Слайд 21 из 21" та "української".