

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ

(повна назва інституту/факультету)

ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ С. О. Кудря
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” 2020 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
спеціалізація «Електричні станції»

на тему: Моделювання технічного стану високовольтних вимикачів
теплоелектроцентралі потужністю 620 МВт

Виконав: студент 2(6) курсу, групи ЕТ-91мп
(шифр групи)

АТАМАНЕНКО В'ЯЧЕСЛАВ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н. БАРДИК Є.І.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант охорона праці професор, д.т.н. ТРЕТЬЯКОВА Л.Д.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант стартап-проект ст. викладач БАХМАЧУК С.В.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут/факультет ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ
(повна назва інституту)

Кафедра ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною (освітньо-науковою) програмою

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва)

спеціалізація «Електричні станції»

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ С. О. Кудря _____
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2020 р

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Атаманенку В'ячеславу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Моделювання технічного стану високовольтних вимикачів теплоелектроцентралі потужністю 620 МВт

науковий керівник дисертації Бардик Євген Іванович, проф., к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації 21.12.2020

3. Об'єкт дослідження теплоелектроцентраль потужністю 620 МВт

4. Предмет дослідження дослідження технічного стану високовольтного вимикача на теплоелектроцентралі

5. Перелік завдань, які потрібно розробити надати інформацію про спрацьований ресурс, технічний стан вимикача, імовірність відмов комутаційного обладнання, методи розрахунку технічного стану комутаційного обладнання, метод парних порівнянь Сааті, розробка нечіткої моделі визначення спрацьованого ресурсу повітряного вимикача

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу 1) обрана структурна схема ТЕЦ потужністю 620 МВт 2) Аналіз статистики пошкодження високовольтних вимикачів 3) Нечітка моделювання та елегазового вимикача 4) Нечітка модель повітряного вимикача 5) Нечітка модель елегазового вимикача 6) Результати розрахунку спрацьованого ресурсу та імовірності відмов вимикачів двох типів

Орієнтовний перелік публікацій 1) Бардик Є.І., Бондаренко О.Л., Атаманенко В.О. Визначення індексу ризику електроенергетичної системи при відмовах вузлів навантаження. 2) Бардик Є.І., Безбережьев Ю.В., Атаманенко В.О. Switching, 2020 vol.12 p.91-94.

7. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Стартап-проект	Бахмачук С.В., старший викладач		
Охорона праці	Третьякова Л.Д., професор		

8. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Пошук теоретичного матеріалу	04.10.2020 – 11.10.2020	
2	Аналіз теоретичного матеріалу	12.10.2020 – 27.10.2020	
3	Аналіз сучасного стану задачі оцінки технічного стану комутаційного обладнання	27.10.2020 – 04.11.2020	
4	Моделювання технічного стану високовольтного вимикача	05.11.2020 – 20.11.2020	
5	Визначення технічного стану вимикача за відомими експертними даними	21.11.2020 – 27.11.2020	
6	Оформлення отриманих результатів	28.11.2020 – 04.12.2020	
7	Оформлення технічних креслень	05.12.2020 – 10.12.2020	

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка виконана на 105 сторінках формату А4, яка включає в себе 18 малюнків, 40 таблиць, 34 джерела використаної літератури. Графічна частина містить 6 аркушів технічних креслень форматом А1.

В магістерській дисертації розглядається питання моделювання технічного стану високовольтних вимикачів теплоелектроцентралі. Було проведено моделювання технічного стану вимикача за допомогою використання нечіткої логіки. Для оцінки кількісних показників стану вимикача був використаний метод Мамдані.

Актуальність роботи. Наразі в ЕЕС України є багато комутаційного обладнання, яке відпрацювало свій ресурс. Навіть після капітального ремонту обладнання існує велика можливість того, що обладнання не буде відповідати нормам, а з цього слідує, що старий агрегат потрібно утилізувати, а новий виготовити та змонтувати. Ці маніпуляції коштують дуже дорого, але мова йде не лише про кошти, а й про надійність електропостачання. Під час ремонту вимикача залишається лише один вимикач, який не замінюється, тобто при відмові вимикача, відбувається відмова всієї системи. А оскільки сучасний регламент ремонту обладнання досить довгий в часі, то імовірність відмови іншого вимикача лише зростає.

Тому потрібно розробити систему, що складається з теоретичної бази та математичного представлення обладнання (моделі), яка буде визначати технічний стан вимикача в будь-який момент. Крім цього головним недоліком старого регламенту поточних ремонтів є визначення стану вимикача лише за комутаційним ресурсом, тобто кількості операцій чи просто за часом роботи вимикача. Цей метод застарілий і не дозволяє навіть наближено зрозуміти технічний стан обладнання. Для цього потрібно визначати стан не лише комутаційного вузла, а й інших вузлів, які впливають безпосередньо на визначення спрацьованого ресурсу обладнання.

Завдяки розробці нового методу можна попереджати відмови обладнання, робити поточні ремонти тоді, коли потрібно для відновлення ресурсу вимикача. Визначення стану кожного вузла окремо дозволяє попередити каскадні відмови частин та вузлів обладнання.

Метою магістерської дисертації є визначення технічного стану високовольтних вимикачів на теплоелектроцентралі потужністю 620 МВт. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступне:

- забезпечити теоретичну базу для вирішення питання оцінки технічного стану вимикача;

- розглянути існуючі методи оцінки технічного стану комутаційного обладнання. Проаналізувати переваги та недоліки кожного з методів та дати оцінку;

- побудувати нечітку модель оцінки технічного стану елегазового вимикача ;

- на основі даних експертної оцінки стану і статистики відмов високовольтних вимикачів визначити вагові коефіцієнти значущості функціональних вузлів ;

- провести розрахунки для визначення спрацьованого ресурсу та імовірності відмови вимикачів різних типів.

Об'єкт дослідження: високовольтний вимикач встановлений розташований на теплоелектроцентралі .

Предмет дослідження: методи і моделі оцінки технічного стану високовольтних вимикачів .

Методи дослідження. В основу роботи покладено дослідження технічного стану високовольтних вимикачів. Моделювання технічного стану вимикачів проведене за допомогою використання нечіткої логіки , а саме методу Мамдані.

Наукова новизна результатів. Математична модель оцінки технічного стану вимикача, а саме спрацьованого ресурсу, ґрунтується на оцінці стану не лише комутаційного вузла, а й інших вузлів комутаційного обладнання для

більш чіткого розуміння стану цілісної системи. Для оцінки стану вимикача використовуємо нечіткий логічний вивід в якому задаються лінгвістичні змінні та терми, що відповідають вузлам комутаційного обладнання, які впливають на його спрацьований ресурс.

Для моделювання ресурсу кожного вузла потрібно описати входні лінгвістичні змінні та розробити базу правил нечіткого логічного виводу. Для побудови функцій належності термів входних змінних використовують результати експертних оцінок обладнання, що дає можливість отримати вихідні дані та коректувати модель за допомогою вагових коефіцієнтів. Завдяки використанню вагових коефіцієнтів можливо точно відрегулювати модель для визначення технічного стану вимикача. Також можливо моделювати вимикачі різних типів, оскільки вагові коефіцієнти в кожному типі вимикачів будуть різними.

Зі збільшенням кількості експертних оцінок можливо збільшити точність моделі, оскільки чим більша виборка – тим більша точність моделі. Тобто маємо систему, яка з кожним використанням буде вдосконалюватись.

Публікації за тематикою досліджень.

1. Бардик Є.І., Бондаренко О.Л., Атаманенко В.О. Визначення індексу ризику електроенергетичної системи при відмовах вузлів навантаження.
2. Бардик Є.І. ,Безбережьев Ю.В., Атаманенко В.О. Switching 2020 vol.12 p.91-94.

РЕЖИМНА НАДІЙНІСТЬ, ТЕПЛОЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛЬ,
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНА СИСТЕМА, ІМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИЙ
МЕТОД, СААТІ, МАМДАНІ, НЕЧІТКА ЛОГІКА, ІМОВІРНІСТЬ, РИЗИК

ABSTRACT

The master's dissertation consists of an explanatory note and a graphic part. The explanatory note is made on 132 pages of A4 format, which includes 28 figures, 36 tables, 34 sources of references. The graphic part contains 6 sheets of technical drawings in A1 format.

In the master's dissertation the question of modeling of a technical condition of high-voltage switches of thermal power plant is considered. The technical condition of the switch was simulated using fuzzy logic. The Mamdani method was used to quantify the state of the switch.

Relevance of the topic. Currently, the UES of Ukraine has a lot of switching equipment that has exhausted its resource. Even after the overhaul of the equipment, there is a great possibility that the equipment will not meet the standards, and it follows that the old unit must be disposed of, and the new one must be manufactured and installed. These manipulations are very expensive, but it is not only about money, but also about the reliability of electricity supply. When repairing the circuit breaker, there is only one circuit breaker that cannot be replaced, ie if the circuit breaker fails, the entire system fails. And since the current equipment repair regulations are quite long in time, the probability of failure of another switch only increases.

Therefore, it is necessary to develop a system consisting of a theoretical basis and a mathematical representation of the equipment (model), which will determine the technical condition of the switch at any time. In addition, the main disadvantage of the old regulations of current repairs is to determine the state of the switch only by the switching resource, ie the number of operations or simply by the operating time of the switch. This method is outdated and does not allow even a rough understanding of the technical condition of the equipment. To do this, you need to determine the state of not only the switching node, but also other nodes that directly affect the determination of the spent equipment life.

Thanks to the development of a new method, you can prevent equipment failures, make current repairs when needed to restore the life of the switch.

Determining the state of each node separately allows you to prevent cascading failures of parts and assemblies of equipment.

The purpose of the master's dissertation is to determine the technical condition of high-voltage switches at a thermal power plant with a capacity of 620 MW. To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks:

- Provide a theoretical basis for solving the technical condition of the switch;
- Consider the existing methods of assessing the technical condition of switching equipment. Consider the advantages and disadvantages of each of the methods and evaluate;
- Based on the data of expert evaluation of high-voltage switches, select the weights and adjust the model to obtain more realistic data on the service life of the high-voltage switch.

The object of research: the high-voltage switch is located on the thermal power plant

Subject of study: research of a technical condition of the high-voltage switch

Methods of research. The work is based on the study of the technical condition of high-voltage switches. Modeling of technical condition of switches is carried out by means of fuzzy logic, namely Mamdani's method.

The scientific novelty of the results. Mathematical model for assessing the technical condition of the switch, namely the triggered resource, is based on assessing the condition of not only the switching unit, but also other units of the switching equipment for a clearer understanding of the state of the whole system. To assess the state of the switch, we use a fuzzy inference in which the linguistic variables and terms that correspond to the nodes of the switching equipment, which affect its resource.

To model the resource of each node, it is necessary to describe the input linguistic variables and develop a base of rules of fuzzy inference. To construct the membership functions of the terms of input variables use the results of expert evaluations of the equipment, which makes it possible to obtain the original data and adjust the model using weights. Thanks to the use of weights, it is possible to

precisely adjust the model to determine the technical condition of the switch. It is also possible to model switches of different types, as the weights in each type of switch will be different.

As the number of expert assessments increases, it is possible to increase the accuracy of the model, because the larger the sample, the greater the accuracy of the model. That is, we have a system that will improve with each use.

1. Bardik Y.I., Bondarenko O.L. Modeling and evaluation of regime reliability of the subsystem of the electric power system with a heat power plant // International scientific and technical journal of young scientists, postgraduates and students "Modern problems of electric power engineering and automatics"
2. Бардик Є.І., Безбережьев Ю.В., Атаманенко В.О. Switching 2020 vol.12 p.91-94.

REGIME RELIABILITY, HEAT POWER PLANT, ELECTRIC POWER SYSTEM, PROBABILISTIC STATISTICAL METHOD, SAITI, MAMDANI, FUZZY LOGIC, PRORABILITY, RISK

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРЕЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....	12
ВСТУП	13
РОЗДІЛ 1. ВИБІР СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТЕЦ	15
1.1 Загальна характеристика і умови роботи ТЕЦ в підсистемі ЕЕС.....	15
1.2 Структурна схема і схема електричних з'єднань ТЕЦ	15
1.3 Техніко-економічне порівняння варіантів	18
1.4 Техніко-економічне порівняння варіантів	23
1.5 Розрахунок струму КЗ на РУ110 кВ.....	27
1.6 Розрахунок струму КЗ на РУ110 кВ.....	30
1.7 Перевірка за умовами корони	32
1.8 Перевірка шин на дотик при К.З.....	33
Висновки до першого розділу	35
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАДАЧІ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ	36
2.1 Умови функціонування високовольтних вимикачів. Статистичний аналіз відмов вимикачів	36
2.2 Існуючі методи і моделі оцінки технічного стану та ресурсу працездатності високовольтних вимикачів	43
2.3 Аналіз проблеми оцінки післяремонтного технічного стану і ресурсу працездатності обладнання після ремонту	50
Висновки до другого розділу	51
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ НЕЧІТКИМ МОДЕЛЮВАННЯМ	53
3.1 Обґрунтування застосування експертної оцінки для визначення технічного стану і ресурсу високовольтного вимикача	53
3.2 Формування нечітких моделей високовольтних вимикачів різних типів.....	53
Висновки до третього розділу	67
РОЗДІЛ 4. Модельно-експериментальні розрахунки оцінки технічного стану повітряних і элегазових вимикачів на основі нечіткої моделі	68
4.1 Нечітка модель элегазового вимикача. Розрахунок спрацьованого ресурсу	Ошибка! Закладка не определена.
4.1.1 Розрахунок методом з використанням вагових коефіцієнтів кожної лінгвістичної змінної	Ошибка! Закладка не определена.
4.1 Вхідні і вихідні лінгвістичні змінні нечіткої моделі элегазового вимикача.	68
Для побудови моделі в якості вхідних лінгвістичних змінних нечіткої моделі элегазового вимикача розглянемо параметри 4-ох вузлів , а саме:	68
• Механічний спрацьований ресурс;	68

• Комутаційний спрацьований ресурс;	68
• Тиск елегазу;	68
• Опір ізоляторів вимикача.	68
•	68
4.1.2 Розрахунок методом з використанням вагових коефіцієнтів кожної змінної	73
4.1.3 Розрахунок спрацьованого ресурсу повітряного вимикача	75
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, зумовлених роботою елегазового вимикача HPL 420B2 з робочою напругою 330 кВ	81
5.2 Визначення обсягів і послідовності робіт в ході експлуатації.....	82
5.3 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників	83
5.4 Розробка і розрахунок технічних та організаційних заходів з охорони праці	85
Провести вимкнення вимикача та вивісити плакати «Не вмикати! Працюють люди» на ключах дистанційного керування вимикачем.....	86
Перевірити відсутність напруги, включити заземлення, вивісити плакати «Заземлено» на ключах управління.....	86
Вивісити плакати «Стій! Напруга» на обладнанні що межую з робочим місцем і залишилось під напругою, Вивісити плакат «Працювати тут»	86
РОЗДІЛ 6. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	93
Вступ	93
7.1 Опис ідеї технології	93
6.3 Технологічний аудит ідеї проекту	98
6.4 SWOT- аналіз стартап-проекту	100
Висновок до сьомого розділу.....	101
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	103

ПЕРЕЛІК СКОРЕЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ЕЕС – електроенергетична система
ТЕЦ – теплоелектроцентрально
ЛЕП – лінія електропередачі
РП – розподільний пристрій
ГРП – генераторний розподільний пристрій
Т – трансформатор
Г – генератор
АТ – автотрансформатор
ВРП – відкритий розподільний пристрій
РПН – регулювання напруги під навантаженням
ВП – власні потреби
ШЗВ – шинноз'єднувальний вимикач
ОВ – обхідний вимикач
ТНСЕ – теорія надійності систем електропостачання
СП – система електропостачання
СМ – статистичний метод

ВСТУП

Головна задача ЕЕС це забезпечення надійного та стійкого функціонування приєднаних до електричних станцій та підстанцій споживачів електроенергії.

На даний момент стан ЕЕС України характеризується значною кількістю застарілого обладнання. Це стосується не лише генераторного обладнання, а й комутаційного. Наразі відбувається повне заміщення масляних вимикачів на повітряні та елегазові. Повітряні вимикачі довели свою надійність, але їм на зміну приходять елегазові вимикачі, які мають деякі недоліки.

Моделювання технічного стану високовольтих вимикачів це перспективна ідея, завдяки якій можливо зрозуміти стан вимикача не лише, коли настає ремонт цього вимикача чи його відмова, а попередити відмову вимикача завчасно. Крім цього завдяки статистичним даним та визначенню технічного стану можливо вдосконалити комутаційне обладнання ЕЕС України.

Наразі ЕЕС велика кількість обладнання з вичерпаним терміном служби, це сприяє збільшенню кількості аварійних ситуацій. Існуюча система ремонтного та технічного обслуговування не задовольняє потреби, оскільки регламент планових ремонтів спирається лише на комутаційний ресурс. Визначення лише кількості комутацій не дає розуміння про стан комутаційного обладнання. Через це зношене обладнання після ремонту може вийти з ладу до наступного планового ремонту.

Аналіз стану комутаційного обладнання повинен опиратися не лише на виявлення явних дефектів, але й визначати ресурс самого обладнання. Технічне діагностування повинно оцінювати також стан функціональних вузлів обладнання, причому повинен робитись прогноз залишкового ресурсу для вузлів агрегату. Для складного обладнання, яке складається з багатьох вузлів та конструкцій, потрібно визначати стан окремо, з подальшим розрахуванням стану, спираючись на отримані дані. Кожен елемент системи обладнання може мати свій спрацьований ресурс, відмінний від інших

елементів. Не відновлювальна відмова передбачає повний технічний збій не лише вузла, а й комутаційного обладнання.

Суттєвий вплив на надійність обладнання може давати не повне відновлення ресурсу кожного з вузлів. Час відновлення вузла може залежати від багатьох факторів і для кожного вузла він буде різним. Тому потрібно враховувати це для моделювання технічного стану високовольтних вимикачів. Розробка моделі оцінки стану вимикачів потребує комплексного використання алгоритмів нечіткої логіки, як єдиної можливої альтернативи алгебраїчним методам.

РОЗДІЛ 1. ВИБІР СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТЕЦ

1.1 Загальна характеристика і умови роботи ТЕЦ в підсистемі ЕЕС

В даний момент тепловими електричними станціями, зокрема ТЕЦ, виробляється приблизно 41 % електроенергії від загального виробництва електроенергії. Основною частиною технологічного обладнання електростанцій України являється обладнання, що було введено в експлуатацію в 1960-1980 роках. Енергоблоки 150 МВт введені в експлуатацію в 1959-1964 роках, 200 МВт – в 1960-1975 роках, 300 МВт – у 1963-1988 роках. На сьогодні проведено реконструкцію не більше як 20% всіх енергоблоків. Решта блоків підтримується в працездатному стані за рахунок капітальних та поточних ремонтів, але їх ресурс поступово знижується і досягає загрозливих меж з точки зору можливості подальшої експлуатації взагалі.

Відмови потужного силового і комутаційного обладнання ЕЕС можуть призвести до неконтрольованого розвитку аварій, які супроводжуються значними економічними збитками. Тому важливим є питання моделювання технічного стану комутаційного обладнання, а саме високовольтних вимикачів.

1.2 Структурна схема і схема електричних з'єднань ТЕЦ

Електрична частина електростанції включає в себе головну схему електричних з'єднань електростанцій, яка впливає на такі показники електростанції: економічність, надійність, придатність ремонту і тд. Генератори на електричній станції нерозривно пов'язані з енергосистемою через підвищувальні трансформатори та ЛЕП.

При виборі структурної схеми електричної станції потрібно врахувати такі правила:

1. Найбільш економічним режимом роботи електростанції є блочний.
2. Місцеве навантаження забезпечене енергією від збірних шин;

Електрична схема станції повинна задовольняти такі вимоги:

- Відповідність до умов роботи станції в енергосистемі;
- відповідність технологічній схем;
- легкість експлуатації: простота та наочність схеми; мінімальна кількість переключень; придатність електричного обладнання для ремонту без порушення режиму;
- легкість побудови електричної частини з урахуванням черговості введення в експлуатацію генераторів, трансформаторів і ліній;
- автоматизація установки в економічному цілісному обсязі;
- економічно виправдана та достатня ступінь надійності.

На генераторній напрузі широке поширення мають схеми з двома системами збірних шин та секціонуванням робочих шин. Власні потреби та навантаження живляться від збірних шин за допомогою окремих ліній. Кожне з приєднань підключається до збірної шині в розвилку двох шинних роз'єднувачів. Це дозволяє здійснювати роботу на двох системах шин (один з шинних роз'єднувачів нормально відключений).

Основною перевагою схеми з двома системами збірних шин являється можливість ремонту будь-якої системи шин без відключення джерел енергії та споживачів. Іншою перевагою є: при к.з. на одній з систем шин споживачі втрачають живлення тільки на час переключення на резервну систему шин. Наявність шиноз'єднувальних вимикачів дозволяє робити всі необхідні переключення на робочій системі шин на резервну. В цій схемі можна використовувати шиноз'єднувальний вимикач для заміни вимикача в будь-якому приєднанні.

Будемо розглядати дві оптимальні схеми, які є максимально оптимізованими під наше завдання.

Структурні схеми двох варіантів, що подані нижче, показані генератори Г, розподільні пристрої вищої РП і нижчої ГРП напруг, місцеве навантаження Рмн, трансформатори зв'язку Т1 і Т2, блокові трансформатори Т3,Т4, а також

автотрансформатор АТ. У першому варіанті схеми (рис. 1.1) два генератори по 60 МВт, що приєднані до своєї секції ГРП, 2 генератори по 100 МВт та блок 300 МВт приєднаний до АТ2. В другому варіанті (рис. 1.2) два генератори по 60 МВт приєднані до своєї секції ГРП, 1 блок на 100 МВт приєднаний до РП 110 кВ, 1 блок на 300 МВт приєднаний до РП 330 кВ та блок 100 МВт приєднаний до АТ2.

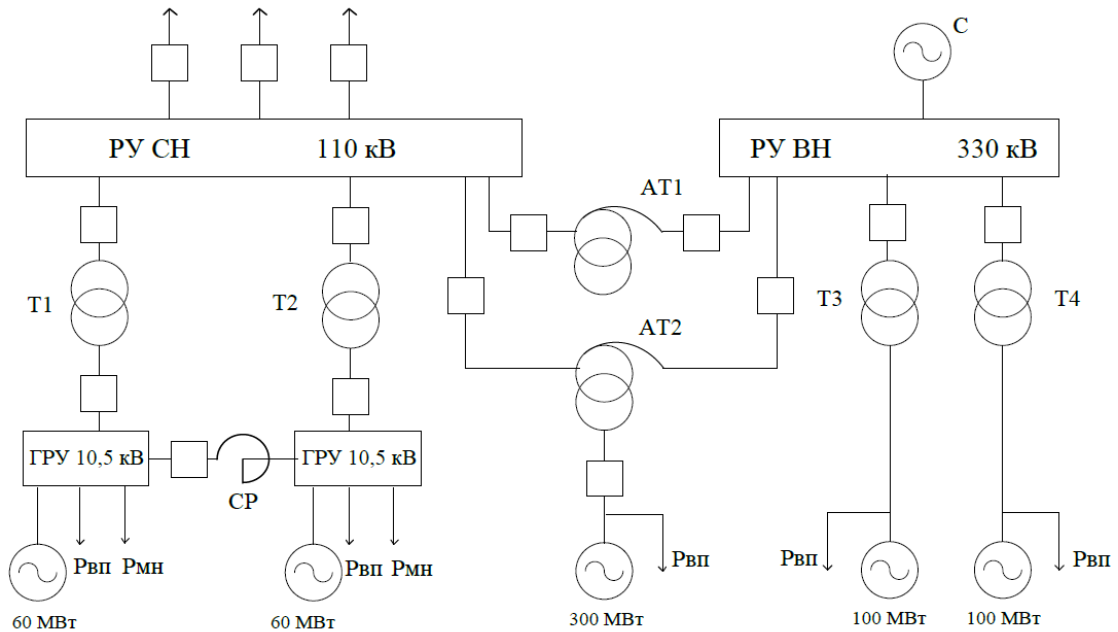


Рис. 1.1 Структурна схема (варіант 1)

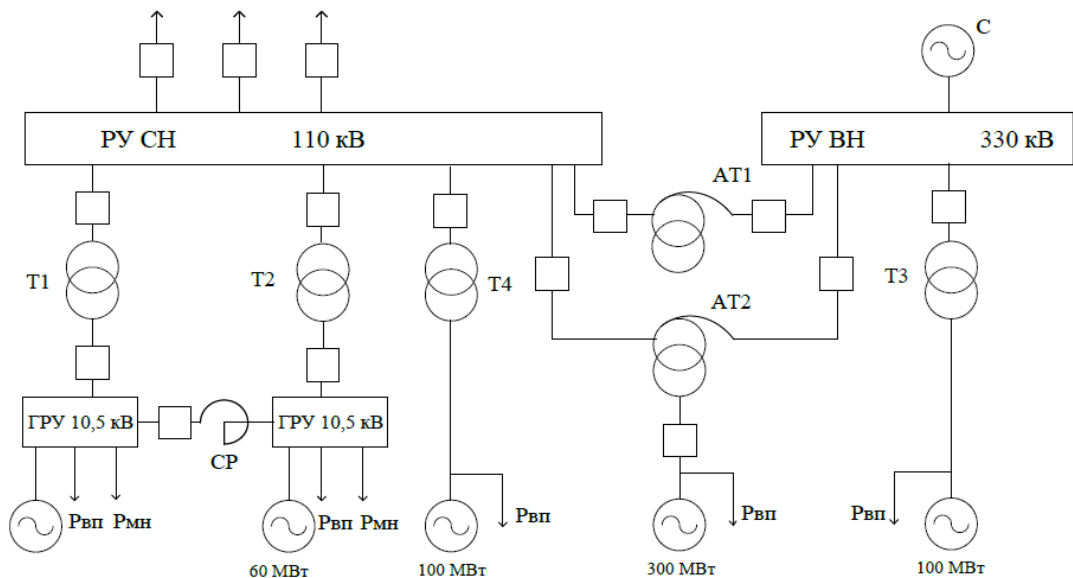


Рис. 1.2 Структурна схема (варіант 2)

1.3 Техніко-економічне порівняння варіантів

1.3.1. Вибір генераторів

Стандартними потужностями генераторів є: 30, 60, 100, 300 МВт. За умовою завдання на збірних шинах повинні працювати 2 генератори (їх потужність не повинна бути більшою за 100 МВт), тому вибираємо 2 генератори по 60 МВт типу ТВФ-63-2УЗ для збірних шин. Для роботи в блоці вибираємо 3 блочних ТВФ-120-2УЗ і один ТВФ-300УЗ (паспортні данні наведенні в табл 1.1:

Таблиця 1.1. Номінальні параметри генераторів

Параметри	ТВФ-63-2УЗ	ТВФ-120-2УЗ	ТВФ-300-2УЗ
Номінальна повна потужність $S_{ном}$, МВА	78,75	125	353
Номінальна активна потужність $P_{ном}$, МВт	63	100	300
Номінальна напруга $U_{ном}$, кВ	10,5	10,5	20
Номінальний струм $I_{ном}$, кА	4,33	6.875	10,2
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi_{ном}$	0,8	0,8	0,85
Надперехідний опір X_d'' , %	15,3	19,2	19,5
Номінальна частота обертання $n_{ном}$, об/хв	3000	3000	3000
Вартість, тис. грн	3301,58	4444,44	11428,57

1.3.2. Вибір трансформаторів зв'язку

Вибір трансформаторів зв'язку виконується в табличній формі. При виборі трансформаторів зв'язку необхідно враховувати, що потужність повинна бути достатньою для передачі в систему надлишкової потужності ТЕЦ за максимального теплового споживання та за мінімального електричного навантаження району, також має бути забезпечене живлення

району від системи за максимального електричного навантаження та за мінімального теплового споживання. Для цього режиму необхідно враховувати вихід з роботи потужнішого генератора, підключеного до ЗРУ. Через причини частого реверсу потужності та різних вимог до регулювання напруги на генераторних шинах, трансформатори зв'язку повинні бути обладнані пристроями регулювання напруги під навантаженням (РПН).

Для навантаження власних потреб приймаємо 10% від генерації, оскільки основне паливо - вугілля.

Дані зведені в Табл. 1.2:

Таблиця 1.2 Перетоки потужності

	Навантаження в різних режимах, МВт		
	Нормальний режим	Режим мінімального навантаження	Аварійний режим
Генерація	120	120	60
Місцеве навантаження	80,5	60,83	80,5
Споживання на власні потреби	12	12	12
Перетік	21,1	47,17	-38,9

По найбільшому розрахунковому перетоку визначаємо потужність кожного трансформатора:

$$S_{\text{трзв'язку}} = \frac{P_{\text{max перет.}}}{2 \cdot \cos \varphi} = \frac{47,17}{2 \cdot 0,85} = 27,747 \text{ МВА}$$

Для трансформаторів зв'язку вибираємо два трансформатори типу ТДН-40000/110 параметри яких наведені в табл. 1.3:

Таблиця 1.3 Номінальні дані трансформатора зв'язку

№	Найменування величини	Одиниці вимірювань	Умове позначення	Номінальне значення
1	Тип трансформатора	ТДН-40000/110		
2	Номінальна потужність	МВА	$S_{\text{ном}}$	40
3	Напруга короткого замикання трансформатора	%	U_k	10,5
4	Напруга обмотки ВН	кВ	$U_{\text{ВН}}$	115
5	Напруга обмотки НН	кВ	$U_{\text{НН}}$	10,5
6	Втрати х.х	кВт	$\Delta P_{\text{хх}}$	34
7	Втрати к.з	кВт	$\Delta P_{\text{кз}}$	170
8	Струм х.х	%	$I_{\text{хх}}$	0,55
9	Ціна	тис. грн	1442	

Для обох варіантів тип трансформаторів зв'язку буде однаковим.

1.3.3. Вибір блочного трансформатора

На електростанціях з шинами генераторної напруги, передбачають установку трансформаторів для зв'язку шин з шинами підвищеної напруги. Такий зв'язок потрібен для видачі надлишкової потужності в енергосистему в нормальному режимі, коли працюють всі генератори, і для резервування живлення навантажень на напрузі 10.5 кВ при плановому або аварійному відключенні одного генератора. Вибираємо блочні трансформатори для всіх варіантів.

При блочному з'єднанні генератора потужність трансформатора обирається за розрахунковою потужністю:

$$S_{\text{тр.розрах}} = \frac{P_{\text{ген}} - P_{\text{вп}}}{\cos \varphi} = \frac{100 - 100 \cdot 0,1}{0,8} = 112,5 \text{ МВА}$$

$$S_{\text{тр.розрах}} = \frac{P_{\text{ген}} - P_{\text{вп}}}{\cos \varphi} = \frac{300 - 300 \cdot 0,1}{0,85} = 317,65 \text{ МВА}$$

Вибираємо трансформатор типу ТДЦ-125000/110 при роботі блоку 100 МВт на шинах 110 кВ, ТДЦ-125000/330 при роботі блоку 100 МВт на шинах 330 кВ,

ТДЦ-400000/330 при роботі блоку 300 МВт на шинах 330 кВ. Паспортні дані вибраних трансформаторів занесені в табл. 1.4

Таблиця 1.4 Номінальні дані блочних трансформаторів

Тип трансформатора	ТДЦ-125000/110	ТДЦ-125000/330	ТДЦ-400000/330
Номінальна потужність, $S_{ном}$, МВА	125	125	400
Напруга к.з трансформатора, U_k , %	10,5	11	11,5
Напруга обмотки ВН, $U_{ВН}$, кВ	121	242	242
Напруга обмотки НН, $U_{НН}$, кВ	10,5	10,5	20
Втрати х.х, $\Delta P_{хх}$, кВт	120	120	330
Втрати к.з, $\Delta P_{кз}$, кВт	400	380	790
Струм х.х, $I_{хх}$, %	0,55	0,55	0,45
Ціна, тис.грн	2888,9	6180	8209,1

1.3.4. Вибір автотрансформаторів зв'язку

Вибір автотрансформаторів виконується за перетоком потужності через них за різних можливих режимів роботи. Для вибору автотрансформаторів зв'язку будемо розглядати 3 режими:

- максимального навантаження шин 10 та 110 кВ;
- мінімального навантаження шин 10 та 110 кВ;
- аварійний режим (вихід з ладу 1 турбогенератора).

Розрахуємо необхідну активну потужність автотрансформаторів:

Для першого варіанту схеми:

Нормальний режим:

$$S_{норм} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{мн} + P_{вп}}{\cos \varphi_{наг}} = \frac{120}{0,8} - \frac{92,5 + 80,5 + 12}{0,85} = -77,529 \text{ МВА}$$

Режим мін. навантажень:

$$S_{мін} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{мн} + P_{вп}}{\cos \varphi_{наг}} = \frac{120}{0,8} - \frac{70,63 + 80,5 + 12}{0,85} = -41,918 \text{ МВА}$$

Аварійний режим:

$$S_{ав} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{мн} + P_{вп}}{\cos \varphi_{наг}} = \frac{60}{0,8} - \frac{92,5 + 80,5 + 12}{0,85} = -152,529 \text{ МВА}$$

За найбільшого розрахункового навантаження визначаємо потужність автотрансформатора:

$$S_{АТ} = S_{ав} = 152,529 \text{ МВА}$$

Для першої схеми обирається автотрансформатор зв'язку типу АТДЦТН-200000/330/110, параметри яких занесені до табл.1.5.

Для другого варіанту схеми:

Нормальний режим:

$$S_{\text{норм}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{мн}} + P_{\text{вп}}}{\cos \varphi_{\text{наг}}} = \frac{220}{0,8} - \frac{92,5 + 80,5 + 12}{0,85} = 47,471 \text{ МВА}$$

Режим мін. навантажень:

$$S_{\text{мін}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{мн}} + P_{\text{вп}}}{\cos \varphi_{\text{наг}}} = \frac{220}{0,8} - \frac{70,63 + 80,5 + 12}{0,85} = 83,082 \text{ МВА}$$

Аварійний режим:

$$S_{\text{ав}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi_{\Gamma}} - \frac{P_{110} + P_{\text{мн}} + P_{\text{вп}}}{\cos \varphi_{\text{наг}}} = \frac{120}{0,8} - \frac{92,5 + 80,5 + 12}{0,85} = -77,529 \text{ МВА}$$

По найбільшому розрахунковому навантаженню визначаємо потужність автотрансформатора:

$$S_{\text{АТ}} = S_{\text{ав}} = 83,082 \text{ МВА}$$

Для другої схеми вибираємо автотрансформатор зв'язку типу АТДЦТН-125000/330/110 з параметрами які занесені до табл.1.5.

Таблиця 1.5 Номінальні дані автотрансформаторів

Тип трансформатора	АТДЦТН-125000/330/110	АТДЦТН-200000/330/110
Номінальна потужність, $S_{\text{ном}}$, МВА	125	200
Напруга обмотки ВН, $U_{\text{ВН}}$, кВ	230	230
Напруга обмотки СН, $U_{\text{СН}}$, кВ	121	121
Напруга обмотки НН, $U_{\text{НН}}$, кВ	11	10,5
Втрати х.х, $\Delta P_{\text{хх}}$, кВт	65	105
Втрати к.з, $\Delta P_{\text{кз(ВН-СН)}}$, кВт	315	430
Втрати к.з, $\Delta P_{\text{кз(ВН-НН)}}$, кВт	280	400
Втрати к.з, $\Delta P_{\text{кз(СН-НН)}}$, кВт	275	340
напруга к.з, $U_{\text{кз(ВН-СН)}}$, %	11	11
напруга к.з, $U_{\text{кз(ВН-НН)}}$, %	45	32
напруга к.з, $U_{\text{кз(СН-НН)}}$, %	28	20
Струм х.х, $I_{\text{хх}}$, %	0,45	0,4
Ціна, тис.грн	4493,47	5482,6

1.3.5.Вибір блочного автотрансформатора

Вибираємо блочний автотрансформатор зв'язку за потужності генератора 353 МВА типу АТДЦТН-400000/330/110, параметри якого занесені до табл. 1.5:

Таблиця 1.6. Номінальні дані блочного автотрансформатора

Тип трансформатора	АТДЦТН- 400000/330/110
Номінальна потужність, $S_{\text{ном}}$, МВА	400
Напруга обмотки ВН, $U_{\text{ВН}}$, кВ	230
Напруга обмотки СН, $U_{\text{СН}}$, кВ	121
Напруга обмотки НН, $U_{\text{НН}}$, кВ	10,5
Втрати х.х, $\Delta P_{\text{хх}}$, кВт	180
Втрати к.з, $\Delta P_{\text{кз(ВН-СН)}}$, кВт	720
Втрати к.з, $\Delta P_{\text{кз(ВН-НН)}}$, кВт	450
Втрати к.з, $\Delta P_{\text{кз(СН-НН)}}$, кВт	400
напруга к.з, $U_{\text{кз(ВН-СН)}}$, %	10,5
напруга к.з, $U_{\text{кз(ВН-НН)}}$, %	60
напруга к.з, $U_{\text{кз(СН-НН)}}$, %	48
Струм х.х, $I_{\text{хх}}$, %	0,25
Ціна, тис.грн	8760

1.3.6. Вибір секційного реактору

Для обмеження струмів к.з. на ТЕЦ використовують секційні реактори. В нормальному режимі роботи потужності між секціями розподілені рівномірно та перетоки потужності через секційний реактор дорівнюють нулю. Реактор вибирається по струму секції.

$$I_C = 0,6 \cdot \frac{P_c}{\cos \varphi \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НГ}}} = 0,6 \cdot \frac{60}{0,8 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 2,474 \text{ кА.}$$

Обираємо реактор типу РБГ 10-2500-0,14У3 з параметрами, які приведені в табл. 1.6

Таблиця 1.6 Номінальні параметри секційного реактора

$U_{\text{ВН}}$, кВ	Тривалий струм, А	$X_{\text{ном}}$, Ом	Номін. втрати на фазу, кВт	$I_{\text{дин}}$, кА	$I_{\text{терм}}$, кА	$t_{\text{терм}}$, сек
10,5	2500	0,14	11	66	31,1	8

Для всіх варіантів тип секційного реактора буде однаковим.

1.4 Техніко-економічне порівняння варіантів

Техніко-економічне порівняння варіантів виконуємо в табличній формі. Втрати потужності в трансформаторах зведені в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 Втрати потужності трансформаторів

	1		2	
	n		n	
ТДН-40000/110	2	1,172	2	1,172
ТДЦ-125000/110	-	-	1	2,185
ТДЦ-125000/330	1	2,185	-	-
ТДЦ-400000/330	1	4,365	1	4,365
АТДЦТН-125000/330/110	-	-	1	1,96
АТДЦТН-200000/330/110	1	2,48	-	-
АТДЦТН-400000/330/110	1	3,54	1	3,54
Σ	13,685		13,222	

$$W_1 = 2 \cdot 34 \cdot 8760 + 2 \cdot 170 \cdot \left(\frac{27,75}{40}\right)^2 \cdot 3500 = 1,172 \text{ млн. кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_2 = W_3 = 1 \cdot 120 \cdot 8760 + 1 \cdot 400 \cdot \left(\frac{112,5}{125}\right)^2 \cdot 3500 = 2,185 \text{ млн. кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_4 = 1 \cdot 330 \cdot 8760 + 1 \cdot 790 \cdot \left(\frac{317,65}{400}\right)^2 \cdot 3500 = 4,37 \text{ млн. кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_5 = 1 \cdot 65 \cdot 8760 + 1 \cdot 315 \cdot \left(\frac{94,459}{125}\right)^2 \cdot 3500 = 1,96 \text{ млн. кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_6 = 1 \cdot 105 \cdot 8760 + 1 \cdot 430 \cdot \left(\frac{160,059}{200}\right)^2 \cdot 3500 = 2,48 \text{ млн. кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_7 = 1 \cdot 180 \cdot 8760 + 1 \cdot 720 \cdot \left(\frac{353}{400}\right)^2 \cdot 3500 = 3,54 \text{ млн. кВт} \cdot \text{год}$$

Складаємо порівняльну таблицю вартості варіантів

Таблиця 1.8 Порівняльна таблиця вартості варіантів

Назва та тип обладнання	Ціна, тис.грн.	1 варіант		2 варіант	
		n	Вартість, тис. грн.	n	Вартість, тис. грн.
Трансформатор зв'язку ТДН-40000/110	1442	2	2884	2	2884
Блочний трансформатор ТДЦ-125000/110	2888,9	-	-	1	2888,9
Блочний трансформатор ТДЦ-125000/330	6180	1	6180	-	-
Автотрансформатор АТДЦТН-200000/330/110	8209,1	1	8209,1	1	8209,1
Автотрансформатор АТДЦТН-250000/330/110	4493,47	-	-	1	4493,47
Автотрансформатор АТДЦТН-400000/330/110	5482,6	1	5482,6	-	-

Назва та тип обладнання	Ціна, тис.грн.	1 варіант		2 варіант	
		n	Вартість, тис. грн.	n	Вартість, тис. грн.
Комірка 110 кВ	8760	1	8760	1	8760
Комірка 330 кВ	115	7	805	8	920
ВЛ-330кВ, одноланцюгова	465	8	3720	7	3255
ВЛ-330кВ, одноланцюгова	46,5	3	139,5	3	139,5
Сума	83,7	4	334,8	4	334,8

Розрахунок щорічних витрат(тис. грн) показаний в табл. 1.9

Таблиця 1.9 Розрахунок щорічних витрат

Найменування	Варіанти	
	1	2
Щорічні витрати на технічне обслуговування і ремонт, B_a -всього в т.ч. ВЛ 110-330 кВ, 1,2% від К РП 110-330 кВ, 2,4% від К	1314,54 438,18 876,36	1147,85 382,62 765,23
Амортизаційні відрахування, A_{pt} -всього в т.ч. ВЛ 35-750 кВ, 2% від К РП 10-750 кВ, 3,6% від К	2044,84 730,3 1314,54	1785,55 637,7 1147,85
Вартість втрат, $B_{втрат}$ (43,61 коп/кВт.год)	5968,35	5766,33
Разом щорічні витрати	9327,73	8699,73

Розрахунок:

1) Прибуток

$$D_t = P_{max} \cdot T_{max} \cdot C_{вих} = 820000 \cdot 3500 \cdot 0,4361 = 1251,61 \text{ млн. грн}$$

2) Балансовий прибуток

$$\begin{aligned} P_{6t} &= D_t - B_{вт} - B_{втрат} - A_{pt} = 1251,61 - 1,31 - 2,04 - 5,97 = \\ &= 1242,279 \text{ млн. грн} \end{aligned}$$

3) Податок на прибуток

$$H_{nt} = \rho \cdot P_{6t} = 0,21 \cdot 1242,279 = 260,879 \text{ млн. грн}$$

4) Поточний річний чистий прибуток

$$P_{pt} = P_{6t} - H_{nt} = 1242,279 - 260,879 = 981,401 \text{ млн. грн}$$

5) Інтегральний ефект

$$\Pi_{\text{дс}} = \frac{\Pi_{pt} + A_{pt}}{E} - K = \frac{981,401 + 2,04}{0,1} - 9,327 = 9797,94 \text{ млн. грн}$$

6) Рентабельність інвестицій

$$R_t = \frac{\Pi_{pt} + A_{pt}}{K} = \frac{981,401 + 2,04}{9,327} = 26,933$$

7) Строк окупності

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{26,933} = 0,037$$

Результати розрахунку показників ефективності показані в табл. 1.10

Таблиця 1.10 Результати розрахунку показників ефективності, млн. грн

	Варіанти	
	1	2
Прибуток	1251,607	1251,607
Балансовий прибуток	1242,279	1242,907
Податок на прибуток	260,879	261,011
Поточний річний чистий прибуток	981,401	981,897
Інтегральний ефект	9797,940	9804,938
Рентабельність інвестицій	26,933	30,851
Строк окупності	0,037	0,032

Отже, за рахунок більшої величини інтегрального ефекту, менших затрат на виробництво електроенергії, будівництво станції обираємо 2-й варіант схеми.

Для видачі потужності станції на 110 кВ приймаємо 3 лінії електропередачі.

Визначаємо кількість приєднань 110 кВ:

- трансформатори зв'язку 110 на 10 кВ – 2;
- автотрансформатори зв'язку 110 на 330 кВ – 2;
- блочний трансформатор 110кВ – 1;
- резервний трансформатор власних потреб 110 на 6 кВ – 1;
- лінії електропередачі напругою 110 кВ – 3.
- Отримуємо 8 приєднань.

Враховуючи кількість приєднань, приймається схема ВРУ-110 кВ з двома системами шин і з обхідною системою шин.

Ця схема забезпечує достатню надійність роботи ВРУ-110 кВ. Наявність обхідної шини 110 кВ дає можливість виводити в ремонт вимикачі приєднань 110 кВ з заміною на обхідний вимикач з відсутньою перервою в енергопостачанні споживачів. Збірні шини та ошиновку виконують неізолюваними сталє-алюмінієвими проводами на відтяжних та підвісних

1.5 Розрахунок струму КЗ на РУ110 кВ

Визначаємо реактивний опір системи з урахуванням того, що $U_b = 110$ кВ. Відносний опір системи, приведений до базисної напруги 110 кВ:

Визначаємо реактивний опір системи з урахуванням того, що $U_6 = 110$ кВ. Відносний опір системи, приведений до базисної напруги 110 кВ:

$$X_{\text{СИСТ}} = \frac{X_E \cdot X_{CT}}{X_{CT} - X_F} = \frac{0,0069 \cdot 0,096}{0,096 - 0,0069} = 0,0074$$

Знаходиться еквівалентний опір системи відносно точки КЗ:

$$X_3 = \frac{X_{C.P.}}{2} = \frac{0,1}{2} = 0,05 \text{ B. o.}$$

$$\begin{aligned}
X_4 &= X_{\Gamma 4} + X_{T3} = 0,121 + 0,066 = 0,187 \text{ в. о.} \\
X_5 &= X_6 = X_{\Gamma 6} + X_{T4} = 0,121 + 0,069 = 0,19 \text{ в. о.} \\
X_7 &= \frac{X_{AT} \cdot X_C}{X_{AT} + X_C + X_B} = \frac{0,043 \cdot 0,0029}{0,043 + 0,044 + 0,0029} = 0,001 \text{ в. о.} \\
X_8 &= \frac{X_{AT} \cdot X_B}{X_{AT} + X_C + X_B} = \frac{0,043 \cdot 0,044}{0,043 + 0,044 + 0,0029} = 0,0212 \text{ в. о.} \\
X_9 &= \frac{X_C \cdot X_B}{X_{AT} + X_C + X_B} = \frac{0,0029 \cdot 0,044}{0,043 + 0,044 + 0,0029} = 0,0014 \text{ в. о.} \\
X_{10} &= X_{\Gamma 5} + X_H + X_9 = 0,0435 + 0,192 + 0,0014 = 0,237 \text{ в. о.}
\end{aligned}$$

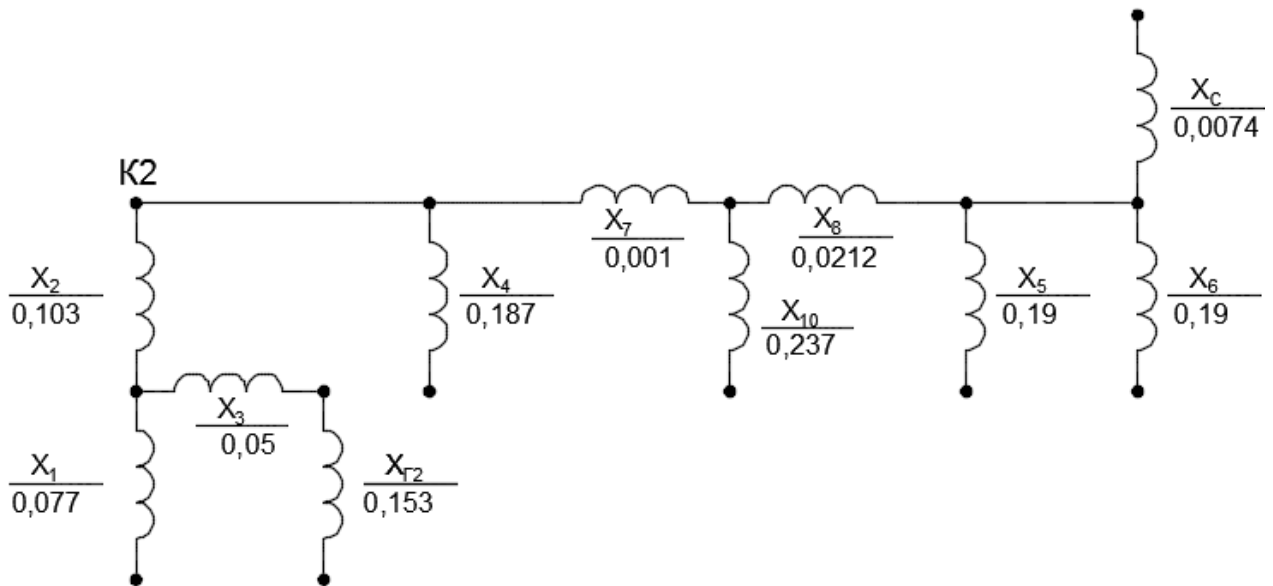


Рисунок 1.4. Схема заміщення ЕС після першого кроку еквівалентування

$$\begin{aligned}
X_{11} &= \frac{1}{\frac{1}{X_{\text{СИСТ}}} + \frac{1}{X_5} + \frac{1}{X_6}} + X_8 = \frac{1}{\frac{1}{0,0074} + \frac{1}{0,19} + \frac{1}{0,19}} + 0,0212 = 0,028 \text{ в. о.} \\
X_{12} &= \frac{X_{10} \cdot X_{11}}{X_{10} + X_{11}} + X_7 = \frac{0,237 \cdot 0,028}{0,237 + 0,028} + 0,001 = 0,0265 \text{ в. о.} \\
X_{13} &= \frac{X_{12} \cdot X_4}{X_4 + X_{12}} = \frac{0,0265 \cdot 0,187}{0,187 + 0,265} = 0,0232 \text{ в. о.} \\
X_{14} &= \frac{(X_{\Gamma 2} + X_3) \cdot X_1}{X_{\Gamma 2} + X_3 + X_1} = \frac{(0,153 + 0,05) \cdot 0,077}{0,153 + 0,05 + 0,077} = 0,056 \text{ в. о.} \\
X_{15} &= X_{14} + X_2 = 0,056 + 0,103 = 0,159 \text{ в. о.}
\end{aligned}$$

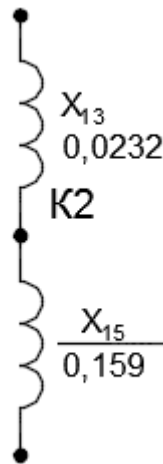


Рисунок 1.5. Двопроменева заступна схема виду «генератор-система»

Знаходиться еквівалентний опір ЕС:

$$X_{\text{екв}} = \frac{X_{13} \cdot X_{15}}{X_{13} + X_{15}} = \frac{0,0232 \cdot 0,159}{0,0232 + 0,159} = 0,02 \text{ в. о.}$$

Розраховується струм к.з .

Потужність променя: $S_{\text{п}} = 1043 \text{ МВА}$

Номінальний струм променя:

$$I_{\text{нп}} = \frac{S_{\text{п}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{б}}} = \frac{1043}{\sqrt{3} \cdot 110} = 5,474 \text{ кА}$$

Розрахунковий опір променя при трьохфазном к.з.:

$$X_{\text{розрах.110}} = X_E \cdot \frac{S_{\text{п}}}{S_{\text{б}}} = 0,02 \cdot \frac{1043}{78,75} = 0,268$$

1. Для трьохфазного к.з по розрахунковим кривим знаходиться:

$$I'_{0.0\text{п13}} = 3,63$$

$$I'_{0.1\text{п13}} = 3,09$$

$$I'_{\infty\text{п13}} = 2,38$$

Струми в кА:

$$I_{\text{п13}_0.0} = I'_{0.0\text{п13}} \cdot m \cdot I_{\text{нп}} = 3,63 \cdot 1 \cdot 5,474 = 19,87 \text{ кА}$$

$$I_{\text{п13}_0.1} = I'_{0.1\text{п13}} \cdot m \cdot I_{\text{нп}} = 3,09 \cdot 1 \cdot 5,474 = 16,92 \text{ кА}$$

$$I_{\text{п13}_\infty} = I'_{\infty\text{п13}} \cdot m \cdot I_{\text{нп}} = 2,38 \cdot 1 \cdot 5,474 = 13,03 \text{ кА}$$

Ударний струм: $i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{0.0} = \sqrt{2} \cdot 1,95 \cdot 19,87 = 54,8 \text{ кА}$

2. Для двофазного к.з($m_2 = \sqrt{3}$) по розрахунковим кривим знаходимо:

$$I'_{0.0п12} = 1,83$$

$$I'_{0.1п12} = 1,62$$

$$I'_{\inftyп12} = 1,77$$

Струми в кА:

$$I_{п12_0.0} = I'_{0.0п12} \cdot m \cdot I_{нп} = 1,83 \cdot \sqrt{3} \cdot 5,474 = 17,35 \text{ кА}$$

$$I_{п12_0.1} = I'_{0.1п12} \cdot m \cdot I_{нп} = 1,62 \cdot \sqrt{3} \cdot 5,474 = 15,36 \text{ кА}$$

$$I_{п12_ \infty} = I'_{\inftyп12} \cdot m \cdot I_{нп} = 1,77 \cdot \sqrt{3} \cdot 5,474 = 16,78 \text{ кА}$$

Результати заносяться до табл.1.14

Таблиця 1.14 Результати розрахунку струмів КЗ на РУ 110 кВ

№ п/п	Місце к.з.	Вид к.з.	U _б	X _{Э1}	X _{Э2}	X _{Э0}	X _Э	Параметри променів			
								S _п	C _п	I _{нп}	X _{РОЗ} р.
1	K ₂	(3)	110	0,020			0,020	1043	1	5,47 4	0,26 8
2	K ₂	(2)	110	0,020	0,020		0,041	1043	1	5,47 4	0,53 7
m	I* _{0.0}	I* _{0.1}	I* _∞	I _{0.0}	I _{0.1}	I _∞	I _{уд}	m	I* _{0.0}	I* _{0.1}	I* _∞
1	3,63	3,09	2,38	19,87	16,92	13,03	54,80	1	3,63	3,09	2,38
√3	1,83	1,62	1,77	17,35	15,36	16,78		√3	1,83	1,62	1,77

1.6 Розрахунок струму КЗ на РУ110 кВ

Розраховується однофазне к.з. на шинах 110 кВ. Приймається, що від ВРУ110кВ відходить три ЛЕП довжиною L=100 км, з погонним опором

$X_0 = 0,4 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$ та за нею знаходиться трансформатор з $S_{тр} = 125 \text{ МВА}$.

Знаходяться величини опорів у відносних одиницях. За базисну приймається потужність $S_б = 78,75 \text{ МВА}$. За базисну береться напруга 110 кВ.

Опір понижуючих трансформаторів:

$$\bar{X}_{T6} = \bar{X}_{T7} = \bar{X}_{T8} = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{н.т.}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{78,75}{125} = 0,0662 \text{ в. о.}$$

Опір ліній:

$$\bar{X}_{Л1} = \bar{X}_{Л2} = \bar{X}_{Л3} = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_б}{U_{CP}^2} = 0,4 \cdot 100 \cdot \frac{78,75}{121^2} = 0,215 \text{ в. о.}$$

Будується схему заміщення для нульової послідовності:

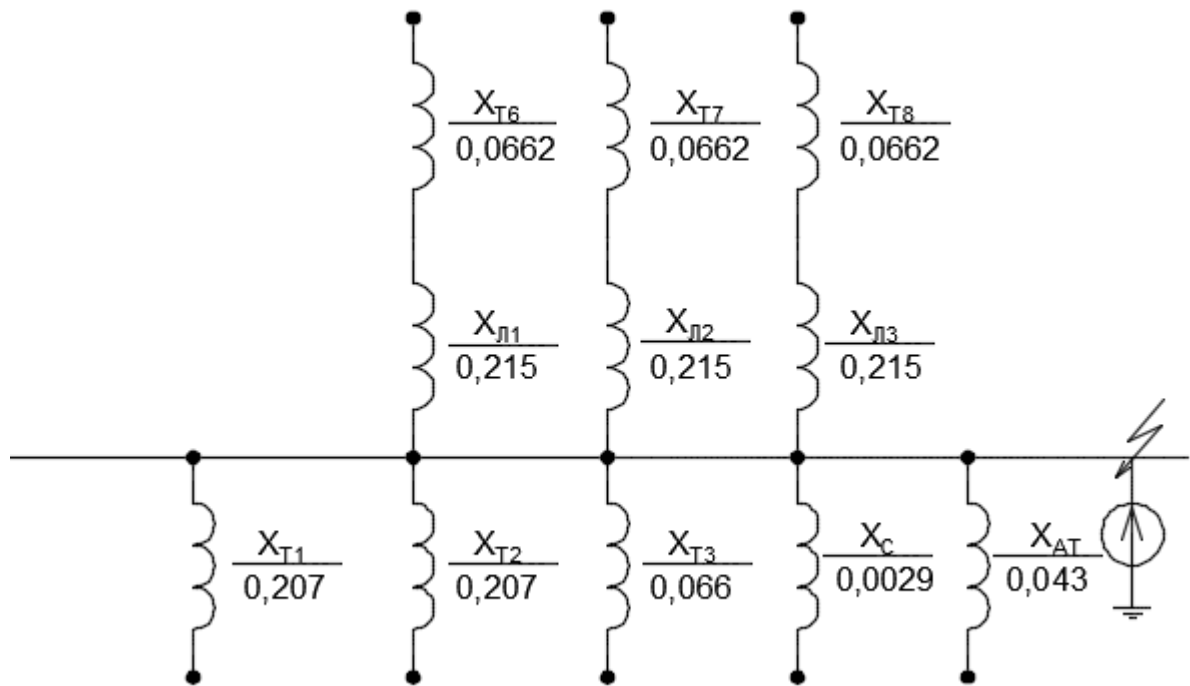


Рисунок 1.6 Схема заміщення для розрахунку однофазного КЗ на ВРУ 110 кВ

Еквівалентний опір схеми нульової послідовності буде дорівнювати:

$$\begin{aligned}
 X_{E(0)} &= \frac{1}{\frac{1}{X_{Л} + X_{T7}} + \frac{1}{X_{Л} + X_{T8}} + \frac{1}{X_{Л} + X_{T9}} + \frac{1}{X_{T1}} + \frac{1}{X_{T2}} + \frac{1}{X_{T3}} + \frac{1}{X_C} + \frac{1}{X_{AT}}} = \\
 &= \frac{1}{\frac{3}{X_{Л} + X_{T7}} + \frac{2}{X_{T1}} + \frac{1}{X_{T3}} + \frac{1}{X_C} + \frac{1}{X_{AT}}} = \\
 &= \frac{1}{\frac{3}{0,215 + 0,0662} + \frac{2}{0,207} + \frac{1}{0,066} + \frac{1}{0,0029} + \frac{1}{0,043}} = 0,003 \text{ в. о.}
 \end{aligned}$$

Розраховується струм к.з. методом загальної зміни:

Потужність променя: $S_{\Pi} = 1043 \text{ МВА}$

Номинальний струм променя:

$$I_{\text{нп}} = \frac{S_{\Pi}}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{1043}{\sqrt{3} \cdot 110} = 5,47 \text{ кА}$$

Еквівалентний опір:

$$X_E = X_{E1} + X_{E2} + X_{E0} = 0,02 + 0,02 + 0,003 = 0,043 \text{ в. о.}$$

Розрахунковий опір променя при однофазному к.з.:

$$X_{\text{розрах.110(1)}} = X_E \cdot \frac{S_{\Pi}}{S_6} = 0,043 \cdot \frac{1043}{78,75} = 0,57 \text{ в. о.}$$

Для однофазного к.з ($m3=3$) по розрахунковим кривим знаходимо:

$$I'_{0.0п11} = 1,72$$

$$I'_{0.1п11} = 1,53$$

$$I'_{\inftyп11} = 1,7$$

Струми в кА:

$$I_{п11_0.0} = I'_{0.0п11} \cdot m \cdot I_{нп} = 1,72 \cdot 3 \cdot 5,474 = 16,31 \text{ кА}$$

$$I_{п11_0.1} = I'_{0.1п11} \cdot m \cdot I_{нп} = 1,53 \cdot 3 \cdot 5,474 = 14,51 \text{ кА}$$

$$I_{п11_\infty} = I'_{\inftyп11} \cdot m \cdot I_{нп} = 1,7 \cdot 3 \cdot 5,474 = 16,12 \text{ кА}$$

Результати занесені до табл.1.16

Таблиця 1.16 Результати розрахунку струмів КЗ на РУ 110 кВ

№ п/п	Місце к.з.	Вид к.з.	U _б	X _{E1}	X _{E2}	X _{E0}	X _E	Параметри променів			
								S _л	C _л	I _{нл}	X _{РА} с
1	K ₂	(1)	110	0,02	0,02	0,003	0,043	1043	1	5,47	0,57
m	I*0,0	I*0, 1	I*∞	I0,0	I0,1	I∞	I*∞				
3	1,72	1,53	1,70	16,3 1	14,51	16,12	1,70				

1.7 Перевірка за умовами корони

Номинальний струм гнучких шин:

$$I_{нл} = \frac{\sum S_T}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot 2 \cdot \cos \varphi} = \frac{2 \cdot 40 + 125 + 250 + 400}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot 2 \cdot 0,8} = 2,683 \text{ кА}$$

Необхідний перетин гнучких шин:

$$q_e = \frac{I_{нл} \cdot 10^3}{j} = \frac{2,683 \cdot 10^3}{1,4} = 1916 \text{ мм}^2$$

По таблиці приймається пучок з чотирьох несучих проводів АС-500/64

Приймається струмопровід 4хАС-500/64, відстань між фазами D=3м, фази розташовані горизонтально.

Номинальні параметри струмопроводу:

АС-500/64:

q = 500 мм², d = 30,6 мм, I_{доп} = 945А, m_п = 4*(1354+498)=7408кг.

Перевірка по допустимому струму:

$$I_{доп} = 4 \cdot 945 = 3780 \text{ А} > I_{max} = 2683 \text{ А}$$

Перевірка потрібна для гнучких провідників за напруги 35 кВ та вище.

Процес іонізації повітря навколо проводу призводить до додаткових втрат, до виникнення електромагнітних коливань, що створюють радіоперешкоди, до виникнення озону, який шкідливо впливає на поверхню контактних з'єднань.

Правильний вибір провідників повинен забезпечувати зменшення дії корони до допустимих значень.

Розряд корони виникає при максимальному значенні початкової критичної напруженості електричного поля, кВ/см.

$$E_0 = 31,1 \cdot m \cdot \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}}\right) = 31,1 \cdot 0,82 \cdot \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{1,53}}\right) = 30,85 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$$

Де m – коефіцієнт, що враховує шорсткість поверхні проводу; для багатопроволочних проводів $m = 0,82$;

r_0 – радіус проводу, см. $r_0 = 1,53$ см.

Напруженість електричного поля біля поверхні проводу визначається за виразом:

$$E = \frac{0,354 \cdot U}{r_0 \cdot \lg \frac{D_{\text{серед}}}{r_0}}$$

де U – лінійна напруга.

$D_{\text{серед}}$ – середня геометрична відстань між проводами фаз, см.

При горизонтальному розташуванні дротів

$$D_{\text{серед}} = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2 \cdot D} = 1,26 \cdot D.$$

$$D_{\text{серед}} = 1,26 \cdot 3 = 378 \text{ см}$$

$$E = \frac{0,354 \cdot 126}{1,53 \cdot \lg \frac{378}{1,53}} = 12,184 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$$

При горизонтальному розташуванні проводів, напруженість на середньому проводі приблизно на 7% більше величини E .

Проводи не будуть коронувати при найбільшій напруженості поля біля поверхні проводу не більшій за $0,9E_0$.

Тоді умова перевірки на корону має вигляд:

$$1,07 \cdot E \leq 0,9 \cdot E_0$$

Виконується перевірка:

$$1,07 \cdot 12,184 = 13,04 \frac{\text{кВ}}{\text{см}} \leq 0,9 \cdot 30,85 = 27,77 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$$

Таким чином, коронування не виникає.

1.8 Перевірка шин на дотик при К.З

За великих значень струмів к.з. проводи в фазах внаслідок динамічної взаємодії можуть приблизитись так, що виникає дотик або перекриття між фазами.

Найбільше наближення фаз спостерігається при двофазному к.з. між сусідніми фазами, коли проводи відкидаються в протилежні сторони, а потім після відключення к.з. рухаються назустріч один одному. Їх наближення буде

тим більшим, чим менша відстань між фазами і чим більша стріла прогину, а також чим більша тривалість протікання і величина струму к.з.

Перевіримо гнучкий струмопровід за умовами дотику.

Визначимо зусилля за тривалого протікання струму двофазного к.з.

$$f = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I^{(2)2}}{a} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Де $a = D$ – відстань між фазами.

Приймається $D=3$ м.

$I^{(2)}$ – середньоквадратичне значення струму двухфазного кз. З достатньою точністю для розрахунків можна прийняти:

$$I^{(2)} = I_{п.0}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{п.0}^{(3)}$$

Тоді

$$f = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{I_{п.0}^{(3)2}}{D} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{19,87^2}{3} = 11,47 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Визначається сила тяжіння 1м струмопроводу, кг.

$$g = 1,1 \cdot 9,8 \cdot m$$

де m – маса 1 м струмопроводу, кг.

Для АС–500/64 $m_{\text{п}} = 4 \cdot (1354 + 398) = 7408$ кг/м.

$$g = 1,1 \cdot 9,8 \cdot 7408 = 79,858 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Задаючись стрілою прогину h в кожному прольоті при максимальній розрахунковій температурі, визначаємо параметр $\frac{\sqrt{h}}{t_{\text{екв}}}$, де $t_{\text{екв}}$ – еквівалентний за імпульсом час дії швидкодіючого захисту.

$$t_{\text{екв}} = t_3 + 0,05$$

де, t_3 – витримка часу захисту від струмів к.з.,
0,05 – вплив аперіодичної складової.

Максимальна стріла прогину h залежить від довжини прольоту, тяжіння проводів, мінімально припустимої відстані від землі, умов монтажу та інших факторів.

В основному, h не більше 2 – 2,2 м.

$$\text{Приймаємо } h = 2 \text{ м, тоді } \frac{\sqrt{h}}{t_{\text{екв}}} = \frac{\sqrt{2}}{0,15} = 9,428$$

По діаграмі рис. 4.8 (Л-2), в залежності від $\frac{f}{g}$ і $\frac{\sqrt{h}}{t_{\text{екв}}}$, визначаємо відхилення проводу b та кут α .

$$\frac{f}{g} = \frac{11,47}{79,858} = 0,144$$

Знаходимо

$$\frac{b}{h} = 0,06$$

Звідси $b = h \cdot 0,06 = 2 \cdot 0,06 = 0,12$ м $\alpha = 3^\circ$.

Знайдене значення порівнюємо з максимально допустимим.

$$b_{\text{доп}} = \frac{D - d - a_{\text{доп}}}{2}$$

де, d – діаметр проводу, $d = 0,0266$ м;

$a_{\text{доп}}$ – найменша припустима відстань між сусідніми фазами в момент їх найбільшого зближення.

$a_{\text{доп}} = 0,45$ м при 110 кВ згідно з ПУЕ.

$$b_{\text{доп}} = \frac{3 - 0,0306 - 0,45}{2} = 1,26 \text{ м}$$

$$b_{\text{доп}} = 1,26 \text{ м} > b = 0,12 \text{ м}$$

Дотик не відбувається.

Висновки до першого розділу

Проведено техніко-економічне обґрунтування вибору головної схеми електричної станції. Обрано варіант, при якому два генератори 63 МВт приєднані до ГРП 10.5 кВ, один генератор 100 МВт за блочним принципом приєднаний до ВРП 110 кВ, один генератор 300 МВт за блочним принципом приєднаний до ВРП 330 кВ та до автотрансформатору.

Проведений вибір основного устаткування: генератори, трансформатори зв'язку, блочні трансформатори, автотрансформатори та секційний реактор.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЗАДАЧІ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

2.1 Умови функціонування високовольтних вимикачів.

Статистичний аналіз відмов вимикачів

Високовольтні вимикачі служать для комутації електричних кіл у всіх експлуатаційних режимах: включення і відключення струмів навантаження, струмів намагнічування трансформаторів і зарядних струмів ліній і шин, відключення струмів КЗ, включення на існуюче КЗ, а також при змінах схем електричних установок.

До вимикачів високої напруги ставляться такі вимоги:

- надійне відключення будь-яких струмів в межах номінальних значень;
- швидкодія при відключенні;
- придатність для автоматичного повторного включення після відключення електричного кола захистом;
- можливість селективного управління для вимикачів 110 кВ і вище;
- вибухо- і пожежна безпека;
- зручність експлуатації.

Високовольтні вимикачі повинні довго витримувати номінальний струм і номінальну напругу.

Відмови і пошкодження в роботі вимикачів, як правило, призводять до великих аварій з виникненням пожежі в розподільчих пристроях. Найбільш частими є відмови вимикачів у відключенні струмів короткого замикання, несправності контактних систем, перекриття елементів внутрішньої і зовнішньої ізоляції, поломки ізолюючих частин.

Випадки відмов у відключенні струмів КЗ пояснюються головним чином невідповідністю фактичної відключаючої спроможності вимикачів умовам їх експлуатації. В результаті розвитку енергосистем струми КЗ зростають до значень, неприпустимих для відключення раніше встановленими на

підстанціях вимикачами. Тому в експлуатації необхідно систематично перевіряти відповідність параметрів вимикачів реальним умовам їх роботи.

Крім того, не повинні створюватися такі схеми роботи підстанцій, при яких потужність КЗ перевищує здатність вимикача.

До неполадок контактних систем відносять недовключення рухомих контактів, зависання контактів в проміжному положенні, руйнування металоцераміки. Ці неполадки перешкоджають відключенню і включенню вимикачів і закінчуються утворенням дуги з подальшим вибухом вимикача.

Перекриття ізоляції є наймасовішим видом ушкоджень вимикачів. Вони відбуваються при комутаційних і грозових перенапругах, а також в результаті забруднення ізоляції викидами промислових підприємств, розташованих поблизу підстанції.

У маломасляних вимикачів нерідкі випадки перекриття опорної ізоляції по забрудненій й зволоженій поверхні. Внутрішньобакове перекриття у вимикачах зовнішньої установки спостерігалось при попаданні в них вологи, зниження діелектричних властивостей масла, витіканні масла з бака. В експлуатації необхідно ретельно стежити за цілістю зварних з'єднань баків, ущільненням кришок, появою нещільності під болтами і заглушками, справністю кранів та іншої масляної арматури.

До поломок ізолюючих деталей відносять руйнування порцелянових тяг мало масляних вимикачів. Відмови в роботі передавальних і операційних механізмів приводів відбуваються в результаті поломок окремих деталей і порушень регулювання. Це призводить до заїдання валів і ненормальної роботи контактних систем. Поширеними причинами відмови приводів є неякісне регулювання, затирання в механізмі розчеплення та сердечниках електромагнітів, дефекти пружин.

Найбільш часто повторюваними неполадками є відмови у відключенні струмів КЗ. Вони в основному відбуваються через недостатню відключаючу здатність повітряних вимикачів гасити електричну дугу, а також при відключенні невіддалених КЗ, що супроводжуються великою швидкістю

відновлення напруги на контактах, хоча струм КЗ при цьому може бути і менше номінального струму відключення. При віддаленні точки короткого замикання від шин підстанції швидкість відновлення напруги в загальному випадку зменшується. До недавнього часу вважалося, що найбільш важким коротким замиканням є пошкодження на шинах. Однак практикою і аналізом встановлено, що процеси коротких замикань на ділянці ліній протяжністю від 0,5 до 8-10 км (ті, що знаходяться в зоні так званого кілометрового ефекту) характеризуються великими значеннями амплітуди першого піку високочастотних коливань і дуже високою початковою швидкістю відновлення напруги. При цьому, як правило, відбувається повторний пробій міжконтактного проміжку і вимикач не справляється з відключенням. Застосовуваними в даний час способами поліпшення роботи повітряних вимикачів є шунтування дугового розриву резистором з малим опором і підвищення ефективності дугогасильних пристроїв шляхом збільшення послідовно включених місць розриву;

Дефекти контактних систем. Їх основна причина - дефекти конструкцій окремих вузлів вимикача, заклинювання деталей, що призводить до зависання рухомих контактів в проміжному положенні або до недостатнього втискання контактів. Зависання рухомих контактів камер і віддільників вимикачів викликаються забрудненнями на поверхнях, що труться. Якщо зависання відбувається під час відключення КЗ, то палаючою дугою руйнуються контактні системи і порцелянова ізоляція. Відзначено випадки неселективного відключення вимикачів, при цьому один модуль вимикача опинявся в відключеному положенні, інший - у включеному. Відключений модуль вимикача не витримував відновленої напруги, в результаті чого відбувалося перекриття порцелянкової покритишки вводу і пробою міжконтактного проміжку;

Перекриття опорної ізоляції. Перекриття по зовнішній поверхні обумовлені головним чином забрудненням ізоляторів викидами промислових підприємств, пилом при його зволоженні. Проникнення і накопичення вологи

всередині ізоляторів, а також припинення продувки внутрішніх порожнин повітропроводів зазвичай призводять до перекриттів ізоляцій по внутрішній поверхні і руйнування вимикачів;

несправності механізмів приводів і клапанів. Значне число відмов в роботі вимикачів пов'язане з дефектами клапанів (неякісні ущільнення клапанів дугогасильних пристроїв, злами, заклинювання), попаданням під клапани сторонніх предметів, пошкодженням електромагнітів і ланцюгів управління. Часто відбувається мимовільне зменшення (скидання) тиску через попадання в канали клапанів пилу і мастила. Ці несправності, як правило, призводять до неселективної роботи вимикачів, пошкодження гумових ущільнень. В експлуатації спостерігалися випадки видування прокладок з фланцевих з'єднань ізоляторів, що знаходяться під тиском стисненого повітря, і порушення герметичності з'єднань через втрату пружних властивостей гуми.

Для усунення цих небажаних явищ обжимають всі елементи еластичного кріплення ізоляторів. Періодичність встановлюється з урахуванням наявного досвіду (зазвичай перед настанням холодної погоди). Більш часте (сезонне) обтискання призводять до деформації і передчасного виходу з ладу гумових прокладок і ущільнень. Відзначено випадки ненадійної роботи гумових ущільнень та інших вузлів повітряних вимикачів, наприклад ущільнень ізолюючих повітропроводів [1].

Електрична міцність вакууму значно вище міцності інших середовищ, що застосовуються в вимикачах, за рахунок збільшення довжини вільного пробігу атомів і молекул. З цієї ж причини процес відновлення електричної міцності проміжку між контактами при відключенні струму протікає в вакуумі значно швидше, ніж в газах.

Згасання електричної дуги вдається отримати при першому ж проходженні струму через нуль, тобто через 0,02 с, однак при відключенні щодо більшого струму трапляється, що згасання дуги відбувається не при першому, а при другому або третьому підході струму до нуля. Ерозія контактів під дією дуги незначна, проблема погіршення вакууму протягом тривалого

часу експлуатації вирішена, що означає практично необмежений термін служби і відсутність ревізій і ремонтів. 80% відмов вакуумних вимикачів доводиться на приводи, системи управління і контролю.

В експлуатації вакуумні вимикачі переважають при напрузі до 36 кВ. Їх основна область застосування - комплектні розподільчі пристрої. Вакуумні вимикачі можуть використовуватися не тільки як комутуючі пристрої цілей змінного струму, але і як струмообмежувальні вимикачі, які відключають аварійний струм при його наростанні, не чекаючи природного нуля струму.

Вакуумні вимикачі можуть застосовуватися як керовані розрядники для швидкого підключення різних пристроїв і обмеження перенапруг. Вакуумні вимикачі можуть відключати постійний струм.

Комутаційний ресурс елегазових вимикачів приблизно в 2-3 рази вище, ніж маломасляних. У елегазового вимикача знос дугогасильного середовища при відключенні струму дуже низький, продукти розкладання елегазу поглинаються спеціальними фільтрами - поглиначами (активізований алюмогель або молекулярні сита), а витік елегазу з корпусів вимикача не перевищує 1-3% в рік. Дозаповнення елегазу можливо без зняття напруги. Практично міжревізійні терміни для елегазових вимикачів визначаються роботою та доглядом за його приводом. У полюсах вимикачів елегаз використовується не тільки для ізоляції кола високої напруги, а й як дугогасне середовище.

Провівши статистичний аналіз відмов високовольтних вимикачів можна зробити розподіл відмов по рівням напруг. Відповідна інформація подана в таблиці 1. Було розглянуто 669 вимикачів різних напруг від 110 до 750 кВ включно. Серед повітряних, елегазових та масляних вимикачів обрано основні типи, що характерні для енергетики України. Так 30 відмов було зафіксовано при експлуатації вимикачів напругою 110 кВ, 22 – 200 кВ, 14 – 330 кВ, 63 – 500 кВ і 7 відмов у вимикачів напругою 750 кВ.

Таблиця 2.1. Розподіл відмов за рівнем напруг

Вимикачі	Тип вимикача	Загальна кількість розглянутих вимикачів	Розподілення відмов за рівнями напруг, кВ					ω , рік ⁻¹
			110	220	330	500	750	
Повітряні	ВНВ-750	9					6	0,061
	ВВБ-750	5					1	0,018
Повітряні	ВНВ-500	7				5		0,065
	ВВБК-500	30				17		0,052
	ВВБ-500	15				6		0,036
	ВВ-500(Б)	76				31		0,037
Елегазові	ВГУ-500	8				3		0,075
	ФХТ-17	15				1		0,013
Повітряні	ВНВ-330	9			8			0,081
	ВВ-300Б	22			5			0,021
	ВВН-330	13			1			0,007
Повітряні	ВВБК-220	14		1				0,006
	ВВД-220	53		4				0,007
	ВВБ-220	85		4				0,004
	ВВН-220	58		10				0,016
Елегазові	ВГУ-220	5		3				0,055
Повітряні	ВВУ-110	17	1					0,005
	ВВШ-110	22	2					0,008
	ВВН-110	87	10					0,010
	ВВБМ-110Б	29	2					0,006
Маломас-ляні	ВМТ-110	14	3					0,019
	У-110	31	4					0,012
	МКП-110	16	3					0,017
	МКП-110М	27	2					0,007
Елегазові	ВГТ-110	2	3					0,3
Разом		669	30	22	14	63	7	

Відмова високовольного вимикача може виникнути або в статичному його стані, коли вимикач знаходиться під напругою і через нього протікає робочий або номінальний струм, при оперативних перемиканнях, або коли вимикач комутує коротке замикання. Інформація щодо відмов вимикачів в залежності від стану вимикача на момент відмови подана в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Розподіл відмов відповідно стану вимикача

Відмова	Розподіл відмов, % за рівнем напруг, кВ					
	110	220	330	500	750	110-750
В статичному стані	30	18,2	28,6	19	28,6	22,8
При оперативних перемикаваннях	20	36,3	50	42,9	42,8	37,5
При комутації КЗ	50	45,5	21,4	38,1	28,6	39,7
Разом	100	100	100	100	100	100

Високовольтні вимикачі контролюються і приводяться в дію за допомогою пристроїв релейного захисту та автоматики. Відмова вимикача може бути спровокована порушенням роботи пристроїв РЗА. Розподіл відмов вимикачів із-за порушень роботи РЗА поданий в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Розподіл відмов вимикачів через порушення роботи РЗА

Відмова	Розподіл відмов, % за рівнем напруг, кВ					
	110	220	330	500	750	110-750
В статичному стані	23,5	31,2	22,2	40,2	60	36,7
При оперативних перемикаваннях		31,2	22,2	22,8	20	20,9
При комутації КЗ	76,5	37,6	55,6	37	20	42,4
Разом	100	100	100	100	100	100

При експлуатації високовольтних вимикачів можливі випадки, коли пошкоджується і сам вимикач і пристрої РЗА. Статистика по таким випадкам подана в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. Розподіл відмов у випадку відмови вимикача та пристроїв РЗА

Відмова	Розподіл відмов, % за рівнем напруг, кВ					
	110	220	330	500	750	110-750
В статичному стані	27,7	23,7	26,1	31,6	41,7	29,8
При оперативних перемикаваннях	12,8	34,2	39,1	31	33,3	29,1
При комутації КЗ	59,5	42,1	34,8	37,4	25	41,1
Разом	100	100	100	100	100	100

Відмова вимикача може призвести до відключення живлення споживачів. У деяких випадках це може викликати серйозні аварійні ситуації.

Структура відмов вимикачів за кількістю втрачених приєднань подана в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5. Структура відмови вимикачів по кількості втрачених приєднань

Напруга, кВ	Відмови, які призводять до втрати приєднань, %		Відмови, які не приводять до втрати приєднань, %	Разом, %	Всього відмов, шт.
	1	>1			
110	38,3	34	27,7	100	47
220	23,7	47,4	28,9	100	38
330	39,2	30,4	30,4	100	23
500	51	23,9	25,1	100	155
750	41,7	33,3	25	100	12
110-750	43,6	29,8	26,6	100	275

2.2 Існуючі методи і моделі оцінки технічного стану та ресурсу працездатності високовольтних вимикачів

Надійність функціонування енергосистем значною мірою залежить від надійної роботи високовольтних вимикачів, більшість з яких відпрацювала свій нормативний ресурс. При розробці стратегії керування парком вимикачів, енергетичним компаніям необхідно враховувати ризик виникнення аварійної ситуації в енергосистемі при відмовах вимикачів та приймати рішення щодо ремонту або заміни вимикачів.

Під терміном «технічний стан» розуміють сукупність параметрів, які характеризують зміну властивостей обладнання в процесі експлуатації.

Новим напрямком в розвитку системи технічного обслуговування та ремонту є розробка підходів, які засновані на індивідуальному спостереженні за реальними змінами технічного стану обладнання в процесі експлуатації. Тому важливою задачею експлуатації електричних станцій та електроенергетичних систем є поступовий перехід від системи планово-попереджувальних ремонтів на ремонти по технічному стану на основі використання результатів діагностики електрообладнання. Для цього необхідно розробити методи та засоби отримання діагностичної інформації, а

також математичні моделі оцінки технічного стану, що дозволяють врахувати всі фактори, що впливають на зношення електрообладнання.

Надійність та ефективність функціонування електрообладнання електроенергетичних систем визначається його технічним станом, що може бути встановлений за допомогою різноманітних технічних засобів та методів діагностики, безпосередньо чи опосередковано при вимірюваннях фізичних величин та параметрів, що характеризують його працездатність. Однак, в більшості випадків вони не дають комплексної, якісної та кількісної оцінки технічного стану всього електрообладнання або окремої одиниці, а фіксують лише окремі дефекти та їх ознаки. При цьому, як правило, по результатам діагностування важко визначити конкретну причину дефекту. Важливою ціллю є створення комплексного методу по визначенню технічного стану, який здатен поєднати різносторонню діагностичну інформацію, та на базі цієї інформації дати кількісну оцінку технічного стану електрообладнання.

Ресурс це об'єм роботи, на який розраховується вимикач. По закінченню ресурсу безпечна і надійна робота вимикача не гарантується.

Нормативний ресурс – ресурс вимикача при його роботі в нормативних (розрахункових, проектних) умовах.

Нормативний залишковий ресурс – це ресурс електричного вимикача, за якого він зможе спрацювати за нормальних умовах експлуатації з моменту розрахунку та до переходу в граничний стан.

Фактичний спрацьований ресурс – це ресурс, який спрацьовується вимикачем за його роботи в конкретних умовах експлуатації.

Фактичний залишковий ресурс – це ресурс вимикача, який він зможе спрацювати за конкретних умов експлуатації з моменту розрахунку та до переходу в граничний стан.

Технічний ресурс – сумарне напрацювання об'єкту від початку експлуатації та до переходу в граничний стан. Напрацювання визначається як тривалість або об'єм роботи обладнання. Граничним називається стан об'єкта, за якого подальша експлуатація повинна зупинитись через неусувне

порушення вимог безпеки, чи через неусувне зниження рівня працездатності чи недопустимого зниження рівня експлуатації.

Напрацювання ресурсу може вимірюватись у безперервних одиницях, або у дискретних. Вибір одиниць вимірювання напрацювання кількості комутацій, який здійснюється апаратом, обумовлено тим, що зношення апарату визначається кількістю виконаних операцій, але не часом, за якого обладнання експлуатувалось в стаціонарному режимі. Під час знаходження комутаційного обладнання у ввімкненому стані, коли воно знаходиться під напругою, процес спрацювання ресурсу проходить менш інтенсивніше, чим при виконанні операції вимкнення струму навантаження чи струму короткого замикання. У цьому випадку перехідний опір контактів високовольтного вимикача поступово збільшується, починає горіти дуга, яка призводить до сильного нагріву як контактної системи, так і дугогасильної камери. Процес супроводжується ерозією розплавлених частинок металу з поверхні контактів, руйнуванням матеріалу дугогасильної камери. В процесі виконання комутаційної операції виникає зношення приводу вимикача. Підтверджується це практичними даними. Згідно статистики експлуатації, в схемі двох робочих системи шин з обхідною, шиноз'єднувальний вимикач, обхідний вимикач (ОВ) й лінійний вимикач (ЛВ) протягом міжремонтного періоду здійснюють не однакову кількість комутацій. При проведенні капітального ремонту часто виявляється, що технічний стан ШЗВ та ОВ є набагато кращим, ніж стан ЛВ, які виконують набагато більше комутацій.

Якщо розрахунковим шляхом отримана оцінка спрацьованого ресурсу, то, порівнюючи ці значення з допустимими межами його зміни, можна дати рекомендації о необхідності виводу вимикача в ремонт чи о продовженні його експлуатації. Не менш важливою задачею є задача прогнозування залишкового ресурсу вимикача, якщо відомі умови та режими експлуатації на майбутньому інтервалі напрацювання.

Розв'язання вказаних задач ґрунтується на оцінці спрацьованого або залишкового ресурсу вимикача.

Існуючі методи контролю відпрацьованого і залишкового ресурсу високовольтних вимикачів можна розділити на дві групи:

1. Оцінка спрацьованого і залишкового ресурсу на основі даних, що надаються виробником. Переважна більшість виробників надає дані по початковому ресурсу вимикачів, а також дані, необхідні для оцінки спрацьованого і залишкового ресурсу за умови роботи вимикача при номінальних (розрахункових) умовах роботи. Ці дані надаються як по комутаційному, так і по механічному ресурсу.

2. Оцінка спрацьованого і залишкового ресурсу на основі методів і засобів технічної діагностики, тобто на основі реального стану комутаційних апаратів за даними інструментального контролю.

Як комутаційний, так і механічний ресурс підрозділяються на початковий, спрацьований і залишковий. Дані по початковому ресурсу відображені в спеціалізованій нормативно-технічній документації, а також в інструкціях, що поставляються з конкретним вимикачем. Спрацьований ресурс відображає ступінь зносу деталей та вузлів конкретної одиниці обладнання. При цьому під спрацьованим комутаційним ресурсом для вимикача розуміють ступінь зносу дугогасильної камери, а механічний ресурс характеризується числом циклів включення - пауза - відключення, які виконуються без струму в головному колі вимикача.

Під залишковим ресурсом розуміють залишок ресурсу вимикача після певного періоду експлуатації і числа операцій з відключення і включення навантажувальних струмів і струмів короткого замикання (КЗ). На практиці необхідно знати ймовірність відмови вимикача при відключенні (включенні) ним струму, тобто чи витримає вимикач операцію відключення (включення) або відмовить. Під залишковим ресурсом слід розуміти такий рівень технічного стану вимикача, при якому при відключенні їм номінального струму відключення його наявний ресурс прийме від'ємне значення. В умовах експлуатації дуже важливо знати величину наявного ресурсу, оскільки даний

параметр відображає реальний стан вимикача і дозволяє провести корекцію міжремонтних періодів з урахуванням забезпечення безвідмовності роботи.

Існує декілька підходів для визначення залишкового комутаційного ресурсу вимикача. Механічний ресурс вимикача зазвичай задається в паспортних даних. Так як його величина характеризує роботу вимикача без струмового навантаження, то зазвичай немає необхідності розраховувати і прогнозувати його значення, за тим лише винятком, коли необхідно враховувати будь-які специфічні властивості експлуатації. Тому в існуючих підходах зазвичай розглядається лише комутаційний ресурс. При цьому розрахунки виконуються або за даними реальних значень струмів, що комутуються, або за їх імовірним значенням. Найбільш відомими підходами для визначення залишкового комутаційного ресурсу вимикачів є наступні.

Метод 1. За цим методом вироблений ресурс розраховується за відомими значеннями струмів шляхом округлення значень в заданих межах 30-60%, 60-100% від номінального струму відключення вимикача. У первісному вигляді цей метод давав вимоги до сумарного числа включень і відключень струмів КЗ. При цьому допустиме число відключень повинно було становити неменше $\frac{2}{3}$ сумарного числа комутацій. На сьогоднішній день після внесення в стандарт змін нормується тільки припустиме число відключень, що відповідає міжнародній практиці і стандартам МЕК. Для більшості вимикачів, в яких функції включення і відключення здійснюються однією й тією ж контактною системою, знос дугогасильного пристрою при включенні суттєво менше, ніж при відключенні, і ним можна знехтувати при нормальних умовах роботи вимикачів. Для деяких типів вимикачів, наприклад повітряних серії ВВН і ВВБ, у яких функції включення і відключення виконують різні контактні системи, доцільно допустиме число включень вказувати в технічній документації додатково до допустимого числа відключень. Однак криві залежності допустимої кількості відключень і включень лежать поруч, тому має сенс замінити їх однією універсальною кривою.

$$r_i = \frac{N_{\text{факт.}i}}{N_{\text{доп.}i}}$$

де $N_{\text{доп.}i}$ - допустима кількість комутацій струму конкретної величини (визначається відповідно до даних виробника); $N_{\text{факт.}i}$ - фактична кількість комутацій струму конкретної величини. Тоді спрацьований ресурс за всі комутації вимикача визначається так –

$$R_c = \sum_{i=1}^n \frac{N_{\text{факт.}i}}{N_{\text{доп.}i}}$$

де n - число різних значень струмів, що комутуються.

Тоді залишковий ресурс визначається за формулою –

$$R_{\text{зал}} = 1 - R_c$$

Таким чином, даний метод дозволяє отримати чисельні значення ресурсу. Однак ці результати мають низьку достовірність і можуть служити лише для наближеної оцінки стану вимикача, а значить, на підставі даного метода недоцільно планувати їх ТОР.

Метод 2. Цей метод дозволяє уніфікувати методи визначення витрати комутаційного ресурсу і припустимої кількості відключень струмів, після яких вимикач повинен вивестись в ремонт. Витрата комутаційного ресурсу і кількість комутацій до виведення вимикача в ремонт визначаються по кривих залежності допустимої кількості відключень (включень) від струму, які будуються на підставі даних виробника.

Витрачення комутаційного ресурсу за одну комутацію струму I дорівнює оберненій кількості допустимих комутацій при даному струмі –

$$\rho_{0i} = \frac{1}{n_{0i}}$$

Витрата комутаційного ресурсу після кількох комутацій визначається шляхом підсумовування витрати ресурсу за кожну комутацію. Витрата ресурсу за K комутацій визначається так –

$$R_{oK} = \sum \rho_{0i}$$

До переваг цього методу варто також віднести розроблені критерії виведення в ремонт вимикача за технічним станом, а також можливість прогнозування ресурсу на основі імовірнісних даних про величини струмів короткого замикання.

На жаль, даний метод не враховує той факт, що ресурс вимикача після капітального ремонту не відновлюється до початкового значення і з продовженням експлуатації вимикача поступово зменшується.

Метод 3. В даному методі використовують отримані аналітичні залежності, які найбільш достеменно відображають ступінчасту залежність, побудовану за даними з нормативно-технічної документації для конкретного типу вимикача. Дослідження за допомогою методу найменших квадратів показали, що залежності допустимого числа комутацій від комутуваного струму з найкращим наближенням описуються гіперболічною залежністю, тому такий метод мав стати найкращим вирішенням проблеми визначення ресурсу вимикача. Залежності допустимої кількості комутацій від струму, що комутується, згідно з даним методом описується:

$$n = A + \frac{B}{I_{\text{відк}}^*}$$

де A, B – чисельні коефіцієнти, що отримані при апроксимації кривої;
 $I_{\text{відк}}^*$ – гарантований струм відключення в долях від номінального струму відключення вимикача).

При цьому комутаційний спрацьований і залишковий ресурс вимикача визначається з формул -

$$R_c = \sum_{i=1}^{N_k} \frac{I_{\text{відк},i}^* N_{Ki}}{A I_{\text{відк},i}^* + B}$$

$$R_{\text{зал}} = 1 - R_c = 1 - \sum_{i=1}^{N_k} \frac{I_{\text{відк},i}^* N_{Ki}}{A I_{\text{відк},i}^* + B}$$

де R_c , $R_{зал}$ - спрацьований та залишковий ресурси відповідно; N_{Ki} - кількість відключень струмів КЗ конкретної величини; N_K - загальна кількість відключених струмів КЗ; A , B – коефіцієнти, що залежать від типу вимикача.

Проведений аналіз розглянутих вище методів з метою виявлення їх особливостей, переваг і недоліків показує, що у всіх розглянутих методах величини залишкового і спрацьованого комутаційного ресурсу фактично визначаються за одними і тим ж процедурами. Відмінності полягають лише в способі завдання і побудови залежності допустимого числа комутацій від величини комутуваного струму. Із цього випливає, що якщо вважати величину комутуваного струму експлуатаційним фактором, впливу якого піддається вимикач в процесі експлуатації, то всі ці методи враховують всього лише один цей фактор.

Практика експлуатації високовольтних вимикачів показує, що існує низка інших факторів, які суттєво впливають на ресурс працездатності високовольтних вимикачів, зокрема стан приводу, ізоляторів та пневмосистеми вимикача.

2.3 Аналіз проблеми оцінки післяремонтного технічного стану і ресурсу працездатності обладнання після ремонту

Збільшення кількості електрообладнання з вичерпаним терміном служби сприяє зростанню аварійності ЕЕС. На сьогодні існуюча система технічного і ремонтного обслуговування з чіткою регламентацією термінів і видів планових ремонтів не здатна забезпечити надійну роботу такого обладнання. Зношене електрообладнання після чергового ремонту може просто недопрацювати до наступного по плану ремонту. В зв'язку з цим актуальними є питання контролю та діагностування його технічного стану для забезпечення своєчасного виявлення дефектів і неполадок, як в режимі реального часу так і при проведенні планових і позапланових ремонтів.

Аналіз існуючих методів і засобів технічного діагностування, які на

сьогодні використовуються у вітчизняних енергосистемах показує, що як в теоретичному так і в практичному плані існує необхідність його суттєвого розвитку, зокрема, по двох напрямках:

- технічне діагностування повинно не тільки виявляти наявність дефектів в електрообладнанні але й визначати ресурс обладнання;
- технічне діагностування повинно агрегувати показники стану обладнання, тобто переходити від показників стану елементів обладнання до оцінки стану функціональних вузлів, від вузлів – до стану агрегатів, від агрегатів – до стану обладнання в енергопідприємствах.

При цьому технічне діагностування повинно забезпечити прогноз залишкового ресурсу на декілька років вперед.

За одиницю ресурсу зазвичай приймається початково закладений ресурс в нове обладнання – термін його роботи (або кількість комутацій для комутаційних апаратів) до відмови без ремонтів і технічного обслуговування, тобто в припущенні, що обладнання не відновлюється. Для обладнання, яке складається з декількох елементів (вузлів), кожний з яких може мати свій, відмінний від інших ресурс, не відновлювальна відмова передбачає повний технічний знос всіх вузлів, а під технічним ресурсом обладнання слід розуміти деякий еквівалент ресурсів всіх вузлів.

Висновки до другого розділу

В розділі розглянуто умови функціонування високовольтних вимикачів різних типів. Подано опис основних несправностей, що можуть викликати відмову вимикача. Проведено статистичний аналіз відмов вимикачів у трьох можливих режимах роботи – статичному, при оперативних перемиканнях та при комутації короткого замикання.

Розглянуто методи і моделі оцінки технічного стану високовольтних вимикачів та визначення ресурсу їх працездатності. Встановлено переваги та недоліки окремих методів. Показано, що для якісної оцінки стану вимикача не достатньо оцінювати лише комутаційний та механічний ресурс, а дана задача

є комплексною ,потребує використання інших діагностичних параметрів та вимагає використання нечітких логічних алгоритмів.

Проаналізовано проблему оцінки післяремонтного технічного стану обладнання, вплив неповного відновлення на ресурс та розглянуто проблему врахування цього при розробці моделей оцінки технічного стану високовольтних вимикачів.

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ НЕЧІТКИМ МОДЕЛЮВАННЯМ

3.1 Обґрунтування застосування експертної оцінки для визначення технічного стану і ресурсу високовольтного вимикача

Більшість існуючих традиційних моделей оцінки технічного стану та ресурсу вимикачів не мають можливості здійснити комплексну оцінку технічного стану через складності одержання детермінованої математичної залежності між складовими механічного і комутаційного ресурсів та об'єктивно існуючої нечіткості інформації щодо відключення струмів короткого замикання та загальної кількості комутацій, що виконані вимикачем.

Задача комплексної оцінки технічного стану високовольтних вимикачів належить до категорії погано формалізованих і слабо структурованих задач внаслідок таких факторів: наявності різномірної вхідної інформації (кількісні і якісні значення змінних), неповноти інформації, різночасності вимірювань параметрів об'єкта, невизначеності, яка зумовлена неможливістю адекватного математичного опису процесів внаслідок вимірювань змінних стану та недостатності ретроспективних даних про експлуатацію вимикачів.

Ці об'єктивно існуючі умови функціонування вимикачів енергосистеми викликають необхідність використання нечітких моделей вимикачів, в яких можна подати різномірну інформацію про об'єкт, включаючи також і суб'єктивну інформацію експертів.

3.2 Формування нечітких моделей високовольтних вимикачів різних типів

Розглядаємо оцінку технічного стану вимикача як комплексну задачу. В цьому випадку загальний спрацьований ресурс буде визначатися за даними про технічний стан основних вузлів вимикача. Для отримання кількісного значення комплексної оцінки технічного стану вимикача визначається

результуючий коефіцієнт стану вимикача, який є сукупністю всіх параметрів, що відносяться як до комутаційної так і до механічної та конструкційної частин вимикача та визначається з використанням вагових коефіцієнтів.

Модель для оцінки технічного стану вимикача повинна задовольняти наступним вимогам:

- Використовувати доступну інформації, яку можливо отримати без відключення вимикача та його розібрання.
- Модель має бути відкритою, тобто мати можливість використання додаткової вхідної інформації за більш детального аналізу технічного стану вимикача.
- Модель повинна мати можливості використання кількісної та якісної вхідної інформації.

Вказаним вимогам відповідає модель вимикача, яка побудована на основі нечіткої логіки, що дозволяє сформувати більш гнучкий механізм оцінки технічного стану вимикача.

Нечіткі бази знань, що являють собою сукупність висловлювань «якщо – то» є ефективним засобом моделювання в багатьох задачах як то:

- управління технологічними процесами;
- ситуаційне управління;
- технічна діагностика;
- прогнозування числових рядів;
- розпізнавання образів;
- багатофакторний аналіз.

При проектуванні нечітких баз знань необхідно вирішувати такі задачі:

- вибір числа термів, якими оцінюються лінгвістичні змінні;
- дослідження впливу кількості правил «якщо – то» на якість нечіткого логічного висновку;

- оптимізація нечіткої бази знань за рахунок вибору її структури та параметрів.

Нечіткою множиною \tilde{A} на універсальній множині U називається кількість пар $(\mu_A u, u)$, де $\mu_A(u)$ - ступінь належності елемента $u \in U$ до множини \tilde{A} . Ступінь належності знаходиться в діапазоні $[0,1]$. Чим більше ступінь належності, тим більшою мірою елемент універсальної множини відповідає властивостям нечіткої множини.

Функцією належності називається така функція, яка дозволяє оцінити ступінь належності довільного елемента універсальної множини нечіткої множини.

Якщо універсальна множина складається з кінцевого числа елементів $\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, тоді нечітка множина \tilde{A} записується у вигляді:

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^n \mu_A(u_i) / u_i$$

Лінгвістичною змінною називається така змінна, значення якої є слова чи словосполучення деякої природної або штучної мови.

Терм-множиною називається множина усіх можливих значень лінгвістичної змінної.

Термом називається елемент терм-множини. В теорії нечітких множин терм задається функцією належності.

Нечіткою базою знань про вплив факторів $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ на значення параметра y називається сукупність логічних висловлювань типу:

Якщо $x_1 = a_1^{j1}$ та $x_2 = a_2^{j1}$ та...та $x_n = a_n^{j1}$,

або $x_1 = a_1^{j2}$ та $x_2 = a_2^{j2}$ та...та $x_n = a_n^{j2}$,

або $x_1 = a_1^{jk_j}$ та $x_2 = a_2^{jk_j}$ та...та $x_n = a_n^{jk_j}$

то $y = b_j \quad j = \overline{1, m}$

де a_i^{jp} - лінгвістичний терм, що оцінює значення фактора x_i в p -ій диз'юнкції j -го логічного висловлювання ($j = \overline{1, m}, p = \overline{1, k_j}, i = \overline{1, n}$);

k_j - число диз'юнкції (або) в j -му логічному висловлюванні.

Нечітким логічним висновком називається апроксимація залежності $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ за допомогою нечіткої бази знань та операцій над нечіткими множинами інакше – отримання висновку у вигляді нечіткої множини, що відповідає поточним значенням на входах, з використанням нечіткої бази знань і нечітких операцій.

Нечітким відношенням R на множині U називається підмножина декартового добутку $U \times U$, яка характеризується функцією належності $\mu_R : U \times U \rightarrow [0, 1]$. Значення $\mu_R(x, y)$ цієї функції є суб'єктивною мірою виконання відношення $xRy (x, y \in U)$.

Декартовим добутком двох нечітких множин $\tilde{A} = \sum_{i=1}^n \mu_A(u_i) / u_i$ та $\tilde{B} = \sum_{j=1}^k \mu_B(v_j) / v_j$ називається нечітка множина C , що визначається за формулою:

$$\tilde{C} = \tilde{A} \times \tilde{B} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \min(\mu_A(u_i), \mu_B(v_j)) / (u_i, v_j)$$

Дефазифікацією називається процедура перетворення нечіткої множини в чітке число.

В теорії нечітких множин процедура дефазифікації аналогічна знаходженню характеристик положення (математичного очікування, моди, медіани) випадкових величин в теорії імовірності [9].

Системою нечіткого логічного висновку називається програмне забезпечення, яке моделює залежність $Y = f(X)$ за допомогою нечіткої логіки, де $Y(X)$ - вектор вихідних (вхідних) змінних.

Структура системи нечіткого логічного висновку показана на рис.4. Елементи системи виконують такі функції:

- фазифікатор перетворює фіксований вектор вхідних змінних (вектор факторів впливу) X в вектор нечітких множин \tilde{X} за допомогою функцій належності;
- база знань зберігає інформацію про залежність $Y = f(X)$ у вигляді нечітких правил «якщо – то»;
- блок нечіткого логічного висновку прогнозує вектор нечітких значень вихідних змінних (\tilde{Y}), який відповідає вектору нечітких значень вхідних змінних (\tilde{X});
- дефазифікатор перетворює вектор нечітких множин (\tilde{Y}) в звичайний числовий вектор Y .

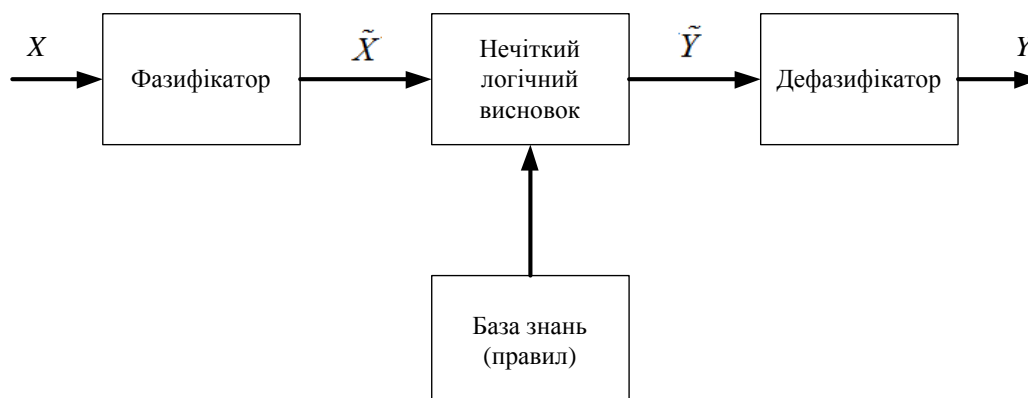


Рис.3.1. Узагальнена структура системи нечіткого логічного висновку

Розглянемо кілька варіантів нечітких моделей, зокрема нечітку модель для визначення ресурсу повітряного високовольтного вимикача розроблену на кафедрі електричних станцій.

Реалізація нечітких моделей була проведена з використанням додатку Fuzzy Logic ToolBox програмного комплексу MatLab.

В якості вихідних лінгвістичних змінних в нечіткій моделі повітряного вимикача визначено наступні: «спрацьований механічний ресурс», «спрацьований комутаційний ресурс», «тиск дугогасильного середовища» та «стан ізоляторів». Лінгвістичні змінні моделі наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 6. Лінгвістичні змінні та терми нечіткої моделі

№ з/п	Лінгвістична змінна	Терми
1	Спрацьований механічний ресурс A_1	Припрацьований L_1
		Допустимий M_1
		Відпрацьований B_1
2	Спрацьований комутаційний ресурс A_2	Припрацьований L_2
		Допустимий M_2
		Відпрацьований B_2

3	Тиск дугогасильного середовища A_3	Нормальний N_3
		Низький B_3
4	Стан ізоляторів A_4	Задовільний N_4
		Незадовільний B_4

Для побудови функції належності нечітких термів вхідних лінгвістичних змінних в даній моделі використовуються результати експертного висновку, які наведені у . Для обробки експертних оцінок застосовано метод парних порівнянь Сааті. Функції належності терм-множин у параметричній формі лінгвістичних змінних наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Функції належності у параметричній формі

№ з/п	Терми	Функції належності
1	Спрацьований механічний ресурс	$\mu_{np}(R_M) = \begin{cases} 1 - \frac{R_M}{0,36}; 0 \leq R_M \leq 0,36; \\ 0; R_M > 0,36; \end{cases}$
		$\mu_{don}(R_M) = \begin{cases} 1 - \frac{0,36 - R_M}{0,36}; 0 \leq R_M \leq 0,36; \\ 1; 0,6 > R_M > 0,36; \\ 1 - \frac{R_M - 0,6}{0,36}; 0,96 \geq R_M \geq 0,6; \\ 0; R_M > 0,96; \end{cases}$
		$\mu_{vid}(R_M) = \begin{cases} 1 - \frac{0,96 - R_M}{0,36}; 0,96 \geq R_M \geq 0,6; \\ 0; R_M < 0,6; \\ 1; R_M > 0,96; \end{cases}$

2	Спрацьований комутаційний ресурс	$\mu_{np}(R_K) = \begin{cases} 1 - \frac{R_K}{0,36}; 0 \leq R_K \leq 0,36; \\ 0; R_K > 0,36; \end{cases}$
		$\mu_{дон}(R_K) = \begin{cases} 1 - \frac{0,36 - R_K}{0,36}; 0 \leq R_K \leq 0,36; \\ 1; 0,6 > R_K > 0,36; \\ 1 - \frac{R_K - 0,6}{0,35}; 0,95 \geq R_K \geq 0,6; \\ 0; R_K > 0,95; \end{cases}$
		$\mu_{від}(R_K) = \begin{cases} 1 - \frac{0,95 - R_K}{0,36}; 0,95 \geq R_K \geq 0,6; \\ 0; R_K < 0,6; \\ 1; R_K > 0,95; \end{cases}$
3	Тиск дугогасильного середовища	$\mu_{норм}(P) = \begin{cases} 0; P < 0,9; \\ 1 - \frac{1-P}{0,1}; 0,9 \leq P \leq 1 \\ 1; P > 1; \end{cases}$
		$\mu_{низьк}(P) = \begin{cases} 0; P > 1; \\ 1 - \frac{P - 0,9}{0,1}; 0,9 \leq P \leq 1; \\ 1; P \leq 0,9; \end{cases}$
4	Стан ізоляторів	$\mu_{задов}(is) = \begin{cases} 0; is > 0,74; \\ 1 - \frac{is - 0,2}{0,54}; 0,2 \leq is \leq 0,74; \\ 1; is < 0,2; \end{cases}$
		$\mu_{незадов}(is) = \begin{cases} 0; is < 0,2; \\ 1 - \frac{0,74 - is}{0,54}; 0,2 \leq is \leq 0,74; \\ 1; is > 0,74; \end{cases}$

Формування правил нечіткого логічного виводу. Загальна кількість правил у базі визначається кількістю можливих комбінацій нечітких термів всіх вихідних величин.

В якості вихідної лінгвістичної змінної прийнято «Загальний спрацьований ресурс» з наступними термами вихідної величини S :

- «Дуже високий спрацьований ресурс», якщо $y \in [1; 0,8)$;
- «Високий спрацьований ресурс», якщо $y \in [0,8; 0,64)$;
- «Середній спрацьований ресурс», якщо $y \in [0,64; 0,36)$;
- «Низький спрацьований ресурс», якщо $y \in [0,36; 0,2)$;
- «Дуже низький спрацьований ресурс», якщо $y \in [0,2; 0]$;

Сформована база правил за принципом «ЯКЩО - ТО» наведена в таблиці 3.3. Для поєднання умов використовуємо з'єднання «ТА».

Таблиця 3.3. База правил

N_4, B_3			
R_K R_M	L_2	M_2	B_3
L_1	M	H	VH
M_1	H	H	VH
B_1	VH	VH	VH
B_4, B_3			
L_1	H	VH	VH
M_1	VH	VH	VH
B_1	VH	VH	VH
N_4, N_3			
L_1	VL	L	H
M_1	L	M	H

B_1	H	H	VH
B_4, N_3			
L_1	M	H	VH
M_1	H	VH	VH
B_1	VH	VH	VH

У таблиці 8 прийняті наступні позначення:

VH – дуже високий спрацьований ресурс

H – високий спрацьований ресурс;

M – середній спрацьований ресурс;

L – низький спрацьований ресурс;

VL – дуже низький спрацьований ресурс;

Згідно отриманих даних реалізуємо модель у середовищі MatLab. Для цього використаємо вбудований механізм Fuzzy Logic ToolBox. Для ініціалізації механізму введемо в командне вікно команду “Fuzzy”. Результатом виконання цієї команди буде робоче вікно нечіткої моделі. Воно зображено на рисунку 3.2.

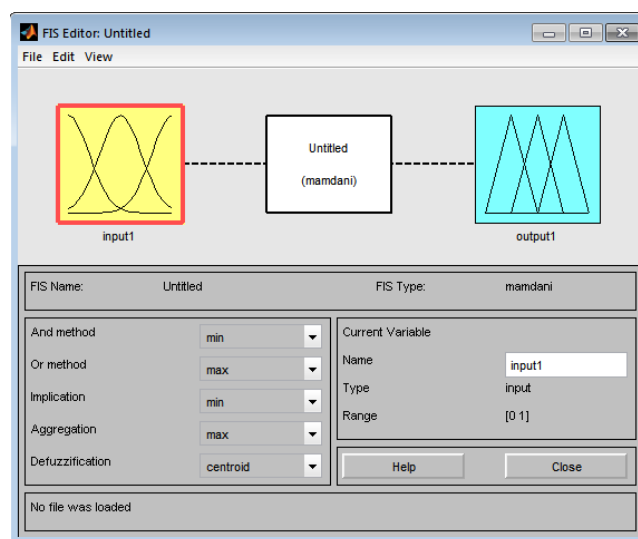


Рис.3.2. Робоче вікно програми

За замовчуванням встановлено алгоритм Мамдані. Модель має один вхід та один вихід.

На входи моделі будемо подавати наступну інформацію: спрацьований механічний ресурс, спрацьований комутаційний ресурс, тиск дугогасильного середовища та інформацію про стан ізоляторів. На виході моделі будемо отримувати інформацію про загальний спрацьований комутаційний ресурс.

Візуальний вигляд моделі представлено на рисунку 3.3.

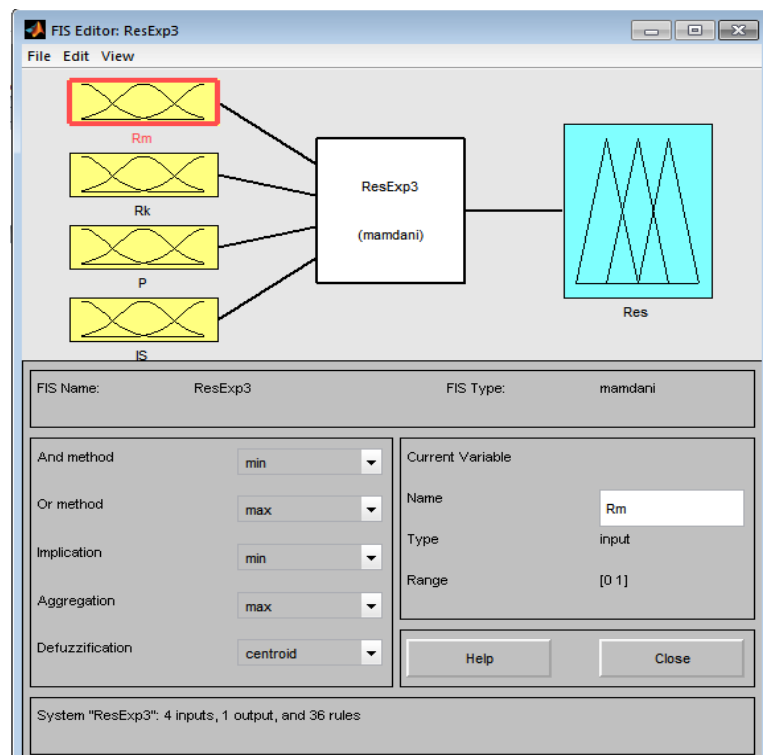


Рис.3.3. Корегування кількості входів

Формування функцій належності для параметрів R_m, R_k, P, IS нечіткої моделі для повітряного високовольтного вимикача в програмному середовищі MatLab представлено на рис.3.4-3.9.

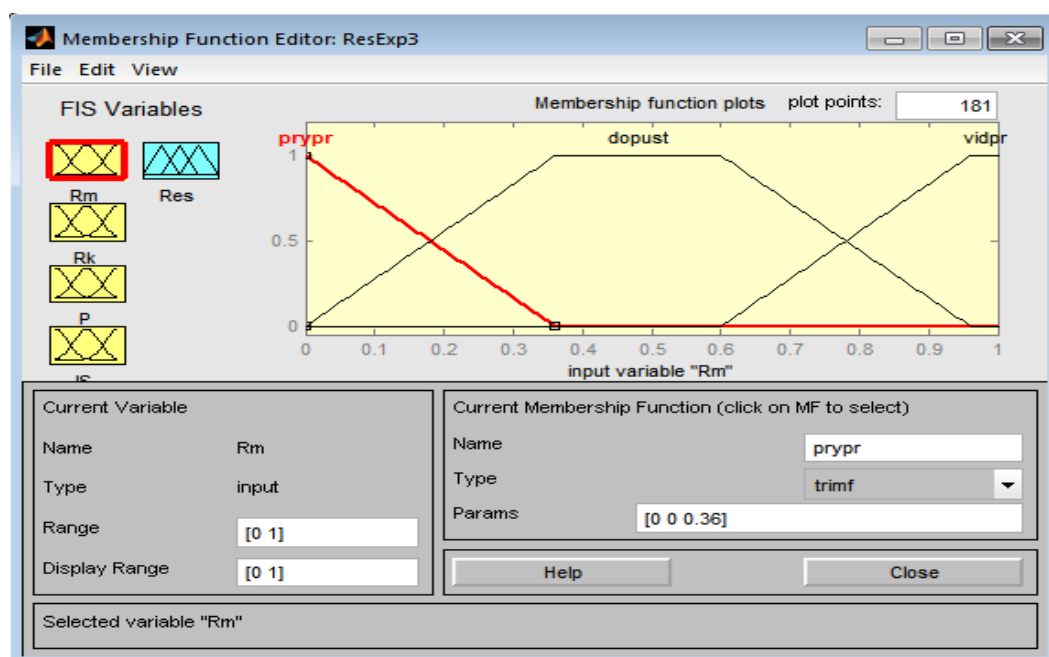


Рис.3.4 Формування функції належності для механічного ресурсу R_m

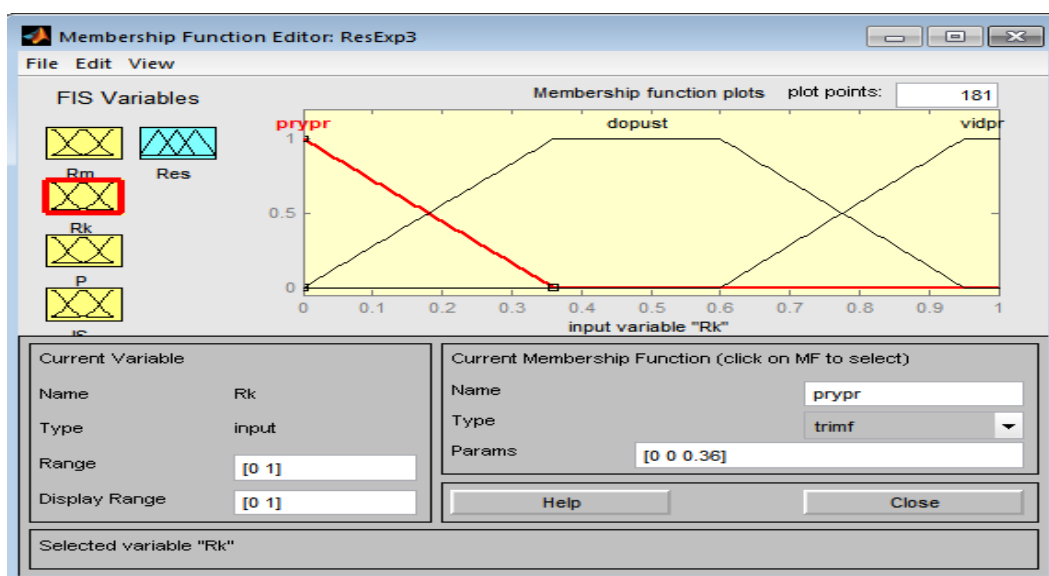


Рис.3.5. Формування функції належності для комутаційного ресурсу R_k

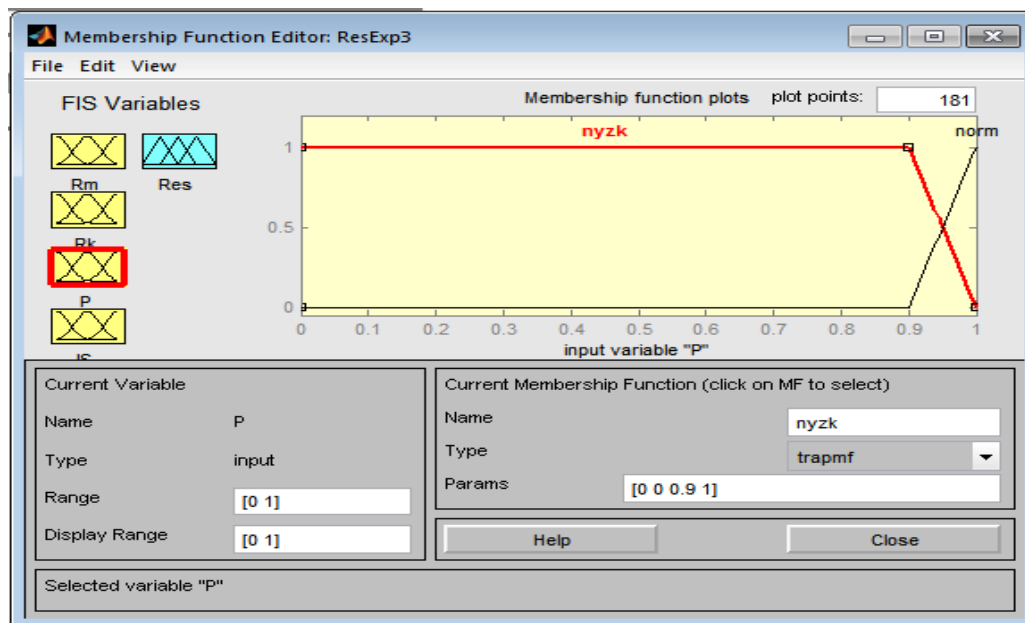


Рис.3.6. Формування функції належності для тиску дугогасильного середовища P

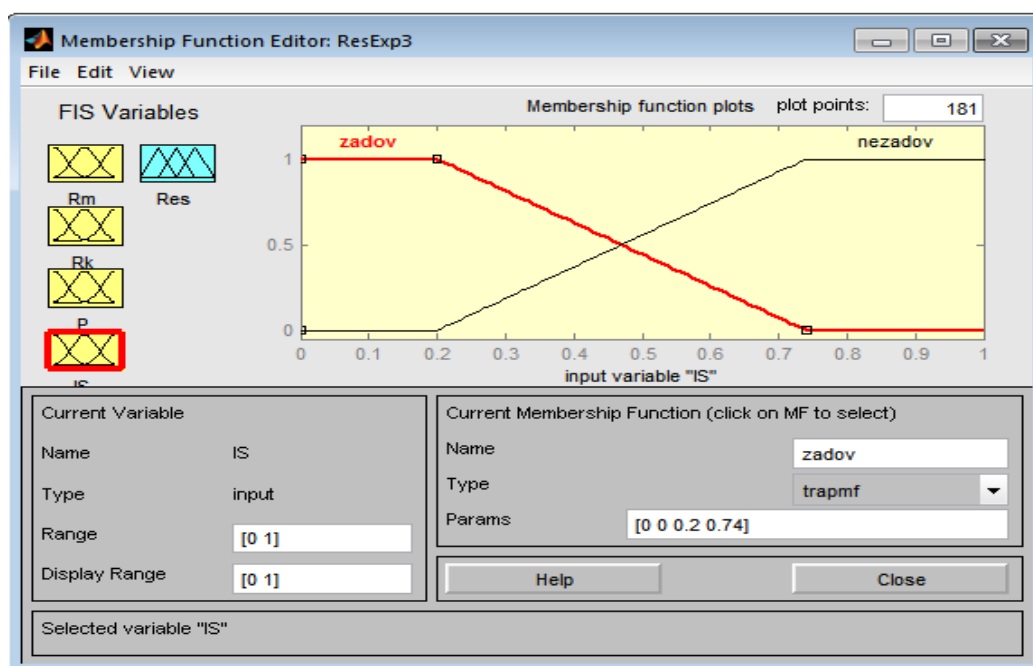


Рис.3.7. Формування функції належності для стану ізоляторів IS

Результат введення параметрів функції належності вихідної величини показано на рисунку 3.8.

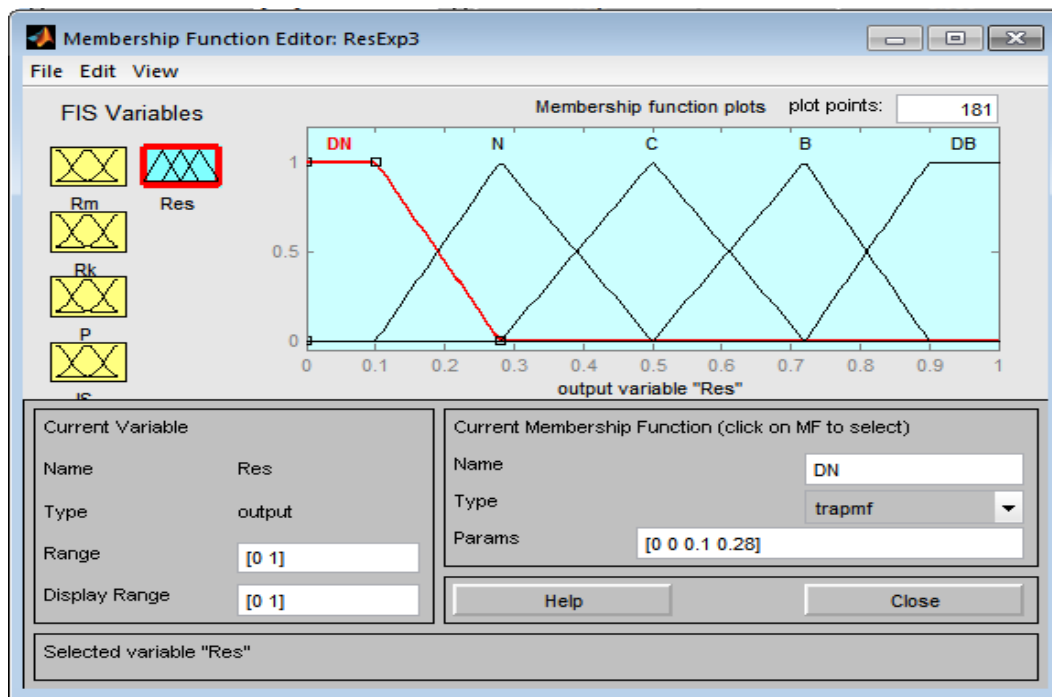


Рис.3.8. Формування функції належності для вихідної величини

На рисунку 3.9 зображено форму вводу правил та введені правила.

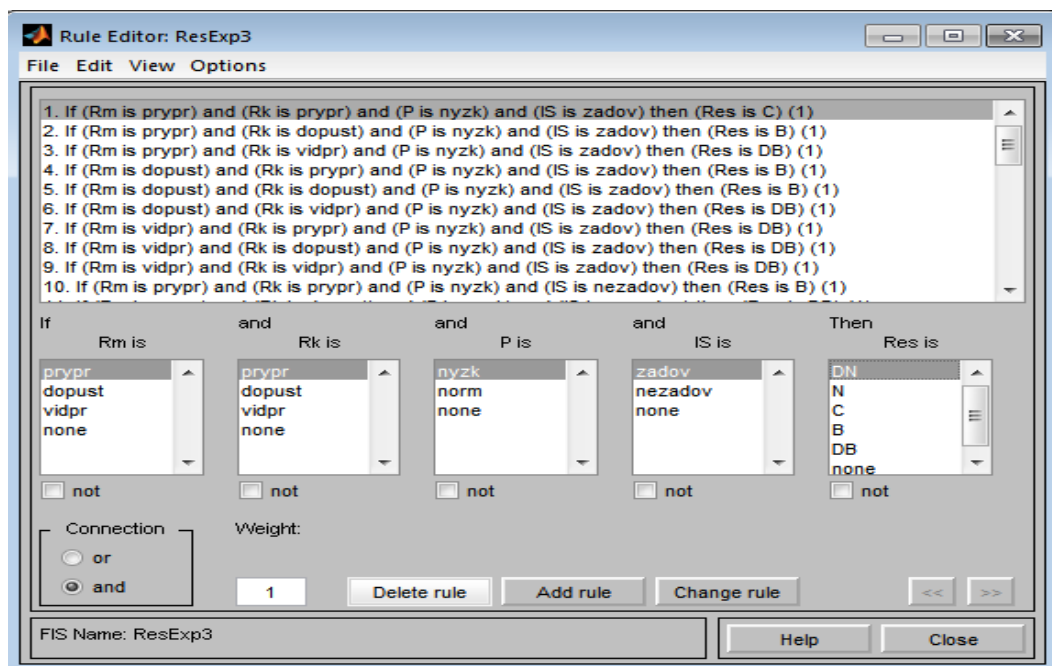


Рис.3.9. Правила бази знань нечіткої моделі вимикача

Відповідно до кількості лінгвістичних терм та відповідно до даних таблиці 3.3 введено 36 правил.

Розглянута модель високовольтного повітряного вимикача потребує вдосконалення шляхом використання даних реальної статистики відмов окремих функціональних вузлів .

Висновки до третього розділу

1. Обґрунтовано використання експертних оцінок та застосування нечітких моделей для визначення технічного стану і ресурсу працездатності високовольтного вимикача .
2. Розглянуто основні положення нечіткої логіки та формування нечітких моделей високовольтних вимикачів різних типів.
3. Представлено нечіткі моделі для визначення ресурсу і технічного стану високовольтних повітряних вимикачів різних типів.

РОЗДІЛ 4. Модельно-експериментальні розрахунки оцінки технічного стану повітряних і елегазових вимикачів на основі нечіткої моделі .

4.1 Вхідні і вихідні лінгвістичні змінні нечіткої моделі елегазового вимикача.

Для побудови моделі в якості вхідних лінгвістичних змінних нечіткої моделі елегазового вимикача розглянемо параметри 4-ох вузлів , а саме:

- Механічний спрацьований ресурс;
- Комутаційний спрацьований ресурс;
- Тиск елегазу;
- Опір ізоляторів вимикача.

Вхідним лінгвістичним змінним нечіткої моделі присвоюємо по 3 терми: «Низький L_i », «Середній M_i » та «Високий V_i », де i – номер лінгвістичної змінної за порядком.

Результати експертної оцінки спрацьованого ресурсу елегазового вимикача конвертуємо за допомогою метода парних порівнянь Сааті в ступені належності відповідним термам та будуємо функції належності в параметричній формі. Результати використання методу парних порівнянь Сааті зображені в графічній та параметричній формі на рис. 4.1 та таблиці 4.1 відповідно.

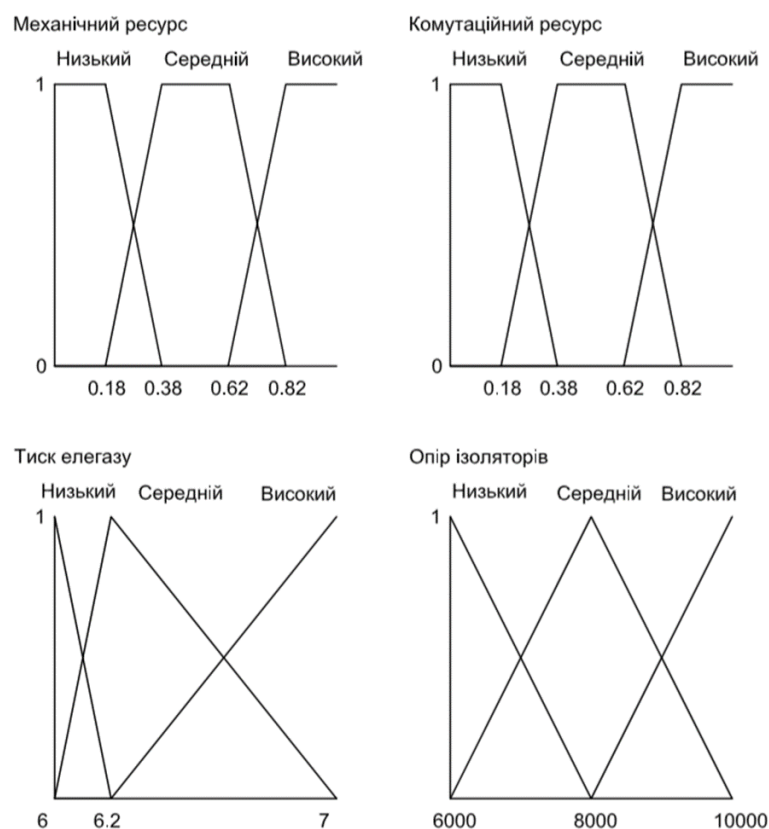


Рис. 4.1. Графіки функцій належності вхідних змінних

Таблиця 4.1. Функції належності вхідних лінгвістичних змінних в параметричній формі

Терми	Функція належності
Механічний спрацьований ресурс	$\mu_n(R_m) = \begin{cases} 1 - \frac{R_m - 0.18}{0.2}; & 0.18 \leq R_m \leq 0.38 \\ 0; & R_m > 0.38 \\ 1; & 0 \leq R_m \leq 0.18 \end{cases}$
	$\mu_c(R_m) = \begin{cases} \frac{R_m - 0.18}{0.2}; & 0.18 \leq R_m \leq 0.38 \\ 1 - \frac{R_m - 0.62}{0.2}; & 0.62 \leq R_m \leq 0.82 \\ 0; & R_m \leq 0.18 \\ 1; & 0.38 \leq R_m \leq 0.62 \end{cases}$
	$\mu_v(R_m) = \begin{cases} \frac{R_m - 0.62}{0.2}; & 0.62 \leq R_m \leq 0.82 \\ 0; & R_m < 0.62 \\ 1; & R_m > 0.82 \end{cases}$

Комутаційний спрацьований ресурс	$\mu_{\text{н}}(R_k) = \begin{cases} 1 - \frac{R_k - 0.18}{0.2}; 0.18 \leq R_k \leq 0.38 \\ 0; R_k > 0.38 \\ 1; 0 \leq R_k \leq 0.18 \end{cases}$
	$\mu_{\text{с}}(R_k) = \begin{cases} \frac{R_k - 0.18}{0.2}; 0.18 \leq R_k \leq 0.38 \\ 1 - \frac{R_k - 0.62}{0.2}; 0.62 \leq R_k \leq 0.82 \\ 0; R_k \leq 0.18 \\ 1; 0.38 \leq R_k \leq 0.62 \end{cases}$
	$\mu_{\text{в}}(R_k) = \begin{cases} \frac{R_k - 0.62}{0.2}; 0.62 \leq R_k \leq 0.82 \\ 0; R_k < 0.62 \\ 1; R_k > 0.82 \end{cases}$
Тиск елегазу	$\mu_{\text{н}}(R_p) = \begin{cases} 1 - \frac{R_p}{0.2}; 6 \leq R_p \leq 6.2 \\ 0; R_p > 6.2 \end{cases}$
	$\mu_{\text{с}}(R_p) = \begin{cases} \frac{R_p - 6}{0.2}; 6 \leq R_p \leq 6.2 \\ 1 - \frac{R_p - 6.2}{0.8}; 6.2 \leq R_p \leq 7 \end{cases}$
	$\mu_{\text{в}}(R_p) = \begin{cases} \frac{R_p - 6.2}{0.8}; 6.2 \leq R_p \leq 7 \\ 0; 6.2 < R_p \end{cases}$
Опір ізоляторів	$\mu_{\text{н}}(R_i) = \begin{cases} 1 - \frac{R_i - 6000}{2000}; 6000 \leq R_i \leq 8000 \\ 0; R_i > 8000 \end{cases}$
	$\mu_{\text{с}}(R_i) = \begin{cases} \frac{R_i - 6000}{2000}; 6000 \leq R_i \leq 8000 \\ 1 - \frac{R_i - 8000}{2000}; 8000 \leq R_i \leq 10000 \end{cases}$
	$\mu_{\text{в}}(R_i) = \begin{cases} \frac{R_i - 8000}{2000}; 8000 \leq R_i \leq 10000 \\ 0; 8000 < R_i \end{cases}$

В якості вихідної лінгвістичної змінної використовуємо «Загальний спрацьований ресурс». Вихідна змінна складається з 5 термів, а саме: «Дуже низький спрацьований ресурс», «Низький спрацьований ресурс», «Середній спрацьований ресурс», «Високий спрацьований ресурс» та «Дуже високий спрацьований ресурс». Функції належності наведені на рис .

4.2 База знань нечіткої моделі визначення спрацьованого ресурсу елегазового вимикача .

Для отримання вихідної змінної створена база знань нечіткого логічного виводу, яка складається з 81 правила. Правила бази знань наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. База правил нечіткого виводу

№ п/п	Вхідні змінні				Вихідна змінна
	Механічний ресурс	Комутаційний ресурс	Тиск елегазу	Опір Ізоляторів	
1	T_{LA-1}	T_{LA-2}	T_{LA-3}	T_{LA-4}	T_M^A
2	T_{LA-1}	T_{LA-2}	T_{LA-3}	T_{MA-4}	T_M^A
3	T_{LA-1}	T_{LA-2}	T_{LA-3}	T_{BA-4}	T_L^A
4	T_{LA-1}	T_{LA-2}	T_{MA-3}	T_{LA-4}	T_M^A
5	T_{LA-1}	T_{LA-2}	T_{MA-3}	T_{MA-4}	T_L^A
6	T_{LA-1}	T_{LA-2}	T_{MA-3}	T_{BA-4}	T_L^A
7	T_{LA-1}	T_{LA-2}	T_{BA-3}	T_{LA-4}	T_L^A
8	T_{LA-1}	T_{LA-2}	T_{BA-3}	T_{MA-4}	T_L^A
9	T_{LA-1}	T_{LA-2}	T_{BA-3}	T_{BA-4}	T_{VL}^A
10	T_{LA-1}	T_{MA-2}	T_{LA-3}	T_{LA-4}	T_M^A
11	T_{LA-1}	T_{MA-2}	T_{LA-3}	T_{MA-4}	T_M^A
12	T_{LA-1}	T_{MA-2}	T_{LA-3}	T_{BA-4}	T_M^A
13	T_{LA-1}	T_{MA-2}	T_{MA-3}	T_{LA-4}	T_M^A
14	T_{LA-1}	T_{MA-2}	T_{MA-3}	T_{MA-4}	T_M^A
15	T_{LA-1}	T_{MA-2}	T_{MA-3}	T_{BA-4}	T_L^A
16	T_{LA-1}	T_{MA-2}	T_{BA-3}	T_{LA-4}	T_M^A
17	T_{LA-1}	T_{MA-2}	T_{BA-3}	T_{MA-4}	T_L^A
18	T_{LA-1}	T_{MA-2}	T_{BA-3}	T_{BA-4}	T_L^A

4.3 Порівняльні модельно-експериментальні розрахунки визначення спрацьованого ресурсу вимикачів .

Для моделі з використанням середньозважених коефіцієнтів приймаємо наступні значення коефіцієнтів:

- $W_m=0.25$ – механічний ресурс;
- $W_k=0.35$ – комутаційний ресурс;
- $W_p=0.2$ – тиск дугогасильного середовища – елегазу;
- $W_i=0.2$ – опір або стан ізоляторів.

Для того, щоб отримати значення з кожного правила бази знань, необхідно отримати суму кожної вхідної змінної, помноженої на відповідний ваговий коефіцієнт. Приклад запису перших 10 правил зображено на рис. 4.3.

$$\begin{aligned}M_{R1} &:= M_{m\text{low}} \cdot W_m + M_{k\text{low}} \cdot W_k + M_{p\text{low}} \cdot W_p + M_{i\text{low}} \cdot W_i \\M_{R2} &:= M_{m\text{low}} \cdot W_m + M_{k\text{low}} \cdot W_k + M_{p\text{low}} \cdot W_p + M_{i\text{mid}} \cdot W_i \\M_{R3} &:= M_{m\text{low}} \cdot W_m + M_{k\text{low}} \cdot W_k + M_{p\text{low}} \cdot W_p + M_{i\text{big}} \cdot W_i \\M_{R4} &:= M_{m\text{low}} \cdot W_m + M_{k\text{low}} \cdot W_k + M_{p\text{mid}} \cdot W_p + M_{i\text{low}} \cdot W_i \\M_{R5} &:= M_{m\text{low}} \cdot W_m + M_{k\text{low}} \cdot W_k + M_{p\text{mid}} \cdot W_p + M_{i\text{mid}} \cdot W_i \\M_{R6} &:= M_{m\text{low}} \cdot W_m + M_{k\text{low}} \cdot W_k + M_{p\text{mid}} \cdot W_p + M_{i\text{big}} \cdot W_i \\M_{R7} &:= M_{m\text{low}} \cdot W_m + M_{k\text{low}} \cdot W_k + M_{p\text{big}} \cdot W_p + M_{i\text{low}} \cdot W_i \\M_{R8} &:= M_{m\text{low}} \cdot W_m + M_{k\text{low}} \cdot W_k + M_{p\text{big}} \cdot W_p + M_{i\text{mid}} \cdot W_i \\M_{R9} &:= M_{m\text{low}} \cdot W_m + M_{k\text{low}} \cdot W_k + M_{p\text{big}} \cdot W_p + M_{i\text{big}} \cdot W_i \\M_{R10} &:= M_{m\text{low}} \cdot W_m + M_{k\text{mid}} \cdot W_k + M_{p\text{low}} \cdot W_p + M_{i\text{low}} \cdot W_i\end{aligned}$$

Рис 4.3. Перші 10 правил бази знань нечіткого виводу

Потрібно задати центри термів вихідної величини. Для розрахунку спрацьованого ресурсу на електрообладнанні було вирішено взяти наступні значення:

- $S_{VL}=0.125$;
- $S_L=0.3$;

- $S_M=0.5$;
- $S_B=0.7$
- $S_{VB}=0.875$.

Для отримання значення спрацьованого ресурсу потрібно поділити суму правил, в яких кожна з лінгвістичних змінних перемножується з відповідним середньозваженим ваговим коефіцієнтом, на суму правил, в якому вагові коефіцієнти відсутні. Формула для розрахунку зображена на рисунку 4.4.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{81} M_{Ri} * S_v}{\sum_{i=1}^{81} M_{Ri}}$$

Рис. 4.4. Кінцева формула для розрахунку спрацьованого ресурсу

4.3.1 Розрахунок методом з використанням вагових коефіцієнтів кожної змінної

Для побудови моделі можна використовувати ті ж самі вхідні та вихідні змінні, базу правил. Видозміненими будуть лише представлення формули належності та формула кінцевого виводу.

Потім задаються вагові коефіцієнти кожної з лінгвістичних змінних, їх приймаємо такими ж, як і в першому методі. Потрібно отримати мінімальне значення кожного правила, що складається з комбінацій термів кожної лінгвістичної змінної, що відповідає базі правил нечіткої моделі.

Розрахунок перших 10 правил бази знань зображено на рис. 4.5.

$$\begin{aligned}
M_{R1} &:= (M_{m\text{low}} \cdot W_m \quad M_{k\text{low}} \cdot W_k \quad M_{p\text{low}} \cdot W_p \quad M_{i\text{low}} \cdot W_i) & \min(M_{R1}) \\
M_{R2} &:= (M_{m\text{low}} \cdot W_m \quad M_{k\text{low}} \cdot W_k \quad M_{p\text{low}} \cdot W_p \quad M_{i\text{mid}} \cdot W_i) & \min(M_{R2}) \\
M_{R3} &:= (M_{m\text{low}} \cdot W_m \quad M_{k\text{low}} \cdot W_k \quad M_{p\text{low}} \cdot W_p \quad M_{i\text{big}} \cdot W_i) & \min(M_{R3}) \\
M_{R4} &:= (M_{m\text{low}} \cdot W_m \quad M_{k\text{low}} \cdot W_k \quad M_{p\text{mid}} \cdot W_p \quad M_{i\text{low}} \cdot W_i) & \min(M_{R4}) \\
M_{R5} &:= (M_{m\text{low}} \cdot W_m \quad M_{k\text{low}} \cdot W_k \quad M_{p\text{mid}} \cdot W_p \quad M_{i\text{mid}} \cdot W_i) & \min(M_{R5}) \\
M_{R6} &:= (M_{m\text{low}} \cdot W_m \quad M_{k\text{low}} \cdot W_k \quad M_{p\text{mid}} \cdot W_p \quad M_{i\text{big}} \cdot W_i) & \min(M_{R6}) \\
M_{R7} &:= (M_{m\text{low}} \cdot W_m \quad M_{k\text{low}} \cdot W_k \quad M_{p\text{big}} \cdot W_p \quad M_{i\text{low}} \cdot W_i) & \min(M_{R7}) \\
M_{R8} &:= (M_{m\text{low}} \cdot W_m \quad M_{k\text{low}} \cdot W_k \quad M_{p\text{big}} \cdot W_p \quad M_{i\text{mid}} \cdot W_i) & \min(M_{R8}) \\
M_{R9} &:= (M_{m\text{low}} \cdot W_m \quad M_{k\text{low}} \cdot W_k \quad M_{p\text{big}} \cdot W_p \quad M_{i\text{big}} \cdot W_i) & \min(M_{R9}) \\
M_{R10} &:= (M_{m\text{low}} \cdot W_m \quad M_{k\text{mid}} \cdot W_k \quad M_{p\text{low}} \cdot W_p \quad M_{i\text{low}} \cdot W_i) & \min(M_{R10})
\end{aligned}$$

Рис. 4.5. Розрахунок перших десяти правил бази знань

Кінцева формула для розрахунку спрацьованого ресурсу виглядає наступним

$$\text{чином: } \alpha = \frac{\sum_{i=1}^{81} \min(M_{Ri})}{\sum_{i=1}^{81} M_{Ri}}$$

Результати роботи обох моделей та експертна оцінка спрацьованого ресурсу, для порівняння, наведена в табл. 4.2.

Таблиця 4.2. Порівняння експертної оцінки спрацьованого ресурсу з двома моделями розрахунку для елегазового вимикача

Мех. ресурс, в.о.	Комут. ресурс, в.о.	Тиск елегазу, МПа	Опір ізоляторів, МОм	Спрацьований ресурс, в.о.		
				Експертна оцінка	Модель з середньозваженими ваговими коефіцієнтами	Мамдані з ваговими коефіцієнтами
0.468	0.02	6.5	7000	0.400	0.444	0.431
0.41	0.45	6.3	7000	0.500	0.487	0.5
0.30	0.32	6.5	7600	0.400	0.478	0.421
0.72	0.77	6.1	6300	0.650	0.525	0.655
0.61	0.52	6.5	8200	0.450	0.471	0.482
0.7	0.8	6.1	6200	0.650	0.568	0.655
0.31	0.31	6.7	8000	0.350	0.369	0.359
0.61	0.7	6.2	6800	0.500	0.498	0.508

Для розрахунку імовірності відмов вимикача будемо використовувати формулу: $f(t) = 1 - e^{-s}$, де s – спрацьований ресурс. Результати записані в табл. 4.3.

Експертна оцінка		Модель з середньо-зваженими ваговими коефіцієнтами		Мамдані з ваговими коефіцієнтами	
Спрацьований ресурс	Імовірність відмови	Спрацьований ресурс	Імовірність відмови	Спрацьований ресурс	Імовірність відмови
0.400	0.33	0.444	0.359	0.431	0.35
0.500	0.393	0.487	0.386	0.5	0.393
0.400	0.33	0.478	0.38	0.421	0.344
0.650	0.478	0.525	0.408	0.655	0.481
0.450	0,362	0.471	0.376	0.482	0.382
0.650	0.478	0.568	0.433	0.655	0.481
0.350	0.295	0.369	0.309	0.359	0.302
0.500	0.393	0.498	0.392	0.508	0.398

Отже, можливо побачити закономірність в результатах роботи моделей. Результати роботи обох моделей досить близько до оцінки спрацьованого ресурсу вимикача а значить, також, і до їх технічного стану, який оцінюється робітниками ремонтних бригад та експертом.

4.3.2 Розрахунок спрацьованого ресурсу повітряного вимикача

Будемо розраховувати величину спрацьованого ресурсу за допомогою моделі, яка описана в Розділі 2. Розраховувати також будемо використовуючи 2 методи, описані вище та зведемо результати розрахунків в одну таблицю.

Для розрахунку потрібно змінити назву термів, функції належності, а також вагові коефіцієнти для розрахунку. Лінгвістичні змінні та функції належності вхідних змінних зображені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Лінгвістичні змінні та функції належності

Терми	Функції належності
Спрацьований механічний ресурс	$\mu_{np}(R_M) = \begin{cases} 1 - \frac{R_M}{0,36}; 0 \leq R_M \leq 0,36; \\ 0; R_M > 0,36; \end{cases}$
	$\mu_{дон}(R_M) = \begin{cases} 1 - \frac{0,36 - R_M}{0,36}; 0 \leq R_M \leq 0,36; \\ 1; 0,6 > R_M > 0,36; \\ 1 - \frac{R_M - 0,6}{0,36}; 0,96 \geq R_M \geq 0,6; \\ 0; R_M > 0,96; \end{cases}$
	$\mu_{від}(R_M) = \begin{cases} 1 - \frac{0,96 - R_M}{0,36}; 0,96 \geq R_M \geq 0,6; \\ 0; R_M < 0,6; \\ 1; R_M > 0,96; \end{cases}$
Спрацьований комутаційний ресурс	$\mu_{np}(R_K) = \begin{cases} 1 - \frac{R_K}{0,36}; 0 \leq R_K \leq 0,36; \\ 0; R_K > 0,36; \end{cases}$
	$\mu_{дон}(R_K) = \begin{cases} 1 - \frac{0,36 - R_K}{0,36}; 0 \leq R_K \leq 0,36; \\ 1; 0,6 > R_K > 0,36; \\ 1 - \frac{R_K - 0,6}{0,35}; 0,95 \geq R_K \geq 0,6; \\ 0; R_K > 0,95; \end{cases}$
	$\mu_{від}(R_K) = \begin{cases} 1 - \frac{0,95 - R_K}{0,36}; 0,95 \geq R_K \geq 0,6; \\ 0; R_K < 0,6; \\ 1; R_K > 0,95; \end{cases}$

Тиск пневмосистеми	$\mu_{\text{норм}}(P) = \begin{cases} 0; P < 0,9; \\ 1 - \frac{1-P}{0,1}; 0,9 \leq P \leq 1 \\ 1; P > 1; \end{cases}$
	$\mu_{\text{низьк}}(P) = \begin{cases} 0; P > 1; \\ 1 - \frac{P-0,9}{0,1}; 0,9 \leq P \leq 1; \\ 1; P \leq 0,9; \end{cases}$
Стан ізоляторів	$\mu_{\text{задов}}(is) = \begin{cases} 0; is > 0,74; \\ 1 - \frac{is-0,2}{0,54}; 0,2 \leq is \leq 0,74; \\ 1; is < 0,2; \end{cases}$
	$\mu_{\text{незадов}}(is) = \begin{cases} 0; is < 0,2; \\ 1 - \frac{0,74-is}{0,54}; 0,2 \leq is \leq 0,74; \\ 1; is > 0,74; \end{cases}$

Базу правил візьмемо з табл. 3.3.

Методика розрахунку обох моделей для повітряного та електричного вимикача однакова, тому алгоритм розрахунку повторювати не будемо.

Результати роботи обох моделей та експертна оцінка зазначені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4. Порівняння експертної оцінки спрацьованого ресурсу та імовірність відмови з двома моделями розрахунку для повітряного вимикача

Мех. ресурс, в.о.	Комут. ресурс, в.о.	Тиск пневмосистеми, в.о.	Опір ізоляторів, МОм	Спрацьований ресурс, в.о.		
				Експертна оцінка	Модель з середньозваженими ваговими коефіцієнтами	Мамдані з ваговими коефіцієнтами
0.322	0.22	0.9	7400	0.300	0.397	0.309
0.411	0.41	0.9	7200	0.450	0.401	0.448
0.35	0.38	0.7	8000	0.650	0.611	0.681
0.77	0.7	0.8	6400	0.850	0.880	0.862
0.28	0.32	0.6	8200	0.350	0.381	0.361

В табл. 4.5 наведено результати розрахунку імовірності відмов вимикача для кожного випадку.

Табл. 4.5. Розрахунок імовірності відмови повітряного вимикача

Експертна оцінка		Модель з середньо- зваженими ваговими коефіцієнтами		Мамдані з ваговими коефіцієнтами	
Спрацьований ресурс	Імовірність відмови	Спрацьований ресурс	Імовірність відмови	Спрацьований ресурс	Імовірність відмови
0.300	0.259	0.397	0.328	0.309	0.266
0.450	0.362	0.401	0.33	0.448	0.361
0.650	0.478	0.611	0.457	0.681	0.494
0.850	0.573	0.880	0.585	0.862	0.578
0.350	0.295	0.381	0.317	0.361	0.303

Отже, з таблиці бачимо, що отримані значення спрацьованого ресурсу, а отже інформація про технічний стан збігається з експертною оцінкою.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто актуальну задачу побудови математичних моделей для визначення ресурсу працездатності. При цьому, під час виконання магістерської роботи були отримані наступні результати:

1. На основі техніко-економічного порівняння варіантів було вибрано структурну схему теплоелектроцентралі потужністю 620 МВт, комутаційне обладнання. На основі вибраної структурної схеми була побудована головна схема електричних з'єднань електростанції. Були розраховані струми короткого замикання РП 110 кВ та вибрано і перевірено комутаційне обладнання.

2. Проведено аналіз умов функціонування сучасних високовольтних вимикачів енергосистеми, визначені основні проблемні питання експлуатації, проаналізована статистика їх пошкоджень та встановлено основні фактори, що впливають на їх ресурс працездатності.

4. Проаналізовано існуючі нечіткі моделі для оцінки технічного стану високовольтних вимикачів, зокрема – модель, що розроблена на кафедрі електричних станцій НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Даний аналіз показав необхідність вдосконалення цієї моделі шляхом врахування статистичних даних по відмовам окремих функціональних вузлів.

5. Обґрунтована доцільність використання теорії нечітких множин і нечіткої логіки для визначення загального спрацьованого ресурсу елегазових вимикачів різних класів напруг. Визначено основні характерні параметри, що впливають на технічний стан вимикача, та встановлені вхідні та вихідні лінгвістичні змінні нечіткої моделі.

6. Побудовано нечітку математичну модель оцінки спрацьованого ресурсу елегазового вимикача.

7. Для різних сполучень вхідних параметрів елегазового вимикача проведено модельно-експериментальні розрахунки спрацьованого ресурсу з використанням різних модифікацій методу Мамдані та виконано порівняльний аналіз результатів для високовольтних вимикачів різних типів .

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ВИМИКАЧА

Мета розділу – розроблення заходів та засобів, щодо запобігання та зменшення впливу на працівників небезпечних та шкідливих виробничих чинників (НШВЧ), які виникають у ході експлуатації теплової електростанції (ТЕС).

Предмет досліджень – забезпечення безпечного перебування працівників на території ТЕЦ виконуючи заходи з охорони праці.

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, зумовлених роботою елегазового вимикача HPL 420B2 з робочою напругою 330 кВ

5.1.1 Аналіз умов праці

Вимикач розташований на відкритому просторі в ВРУ 330 кВ.

Високовольтний елегазовий вимикач HPL 420B2 має наступні характеристики:

Таблиця 5.1.1 Технічні характеристики

Найменування ЕУ	Основні характеристики	Значення показника
HPL 420B2	Номінальна напруга	330 кВ
	Максимальна робоча напруга	420 кВ
	Номінальний струм	4000 А
	Номінальний струм відключення	63 кА
	Вага вимикача	6860 кг
	Вага елегазу	18,5 кг
	Тиск елегазу при +20 ⁰ С	0,7 МПа
	Габаритні розміри	4842x7028x845 мм

5.2 Визначення обсягів і послідовності робіт в ході експлуатації

Таблиця 5.2. Послідовність виконання робіт

Види робіт	Періодичність	Кількісний склад ремонтної бригади	Група з електробезпеки
Зовнішній огляд	Інтервал 1-2 роки	2	IV
Профілактичне обслуговування	Після 3-6 років або 2000 механічних циклів	2	IV
Профілактичний ремонт	Після 15 років або 5000 механічних циклів	3	IV
Капітальний ремонт	Після 30 років чи 10000 механічних циклів	4-6	IV

Операції включення/виключення елегазовим вимикачем слід робити тільки при наявності мінімально допустимого тиску газу, оскільки якщо ця умова не виконується можливе пошкодження вимикача. Для цього зроблена сигналізація зниження тиску елегазу разом з системою блокування ланцюгів керування.

При виявленні несправності елегазового вимикача потрібно терміново сповістити вище стоячий персонал, а також вжити заходів для унеможливлення виникнення аварійної ситуації.

Елегазовий вимикач розрахований на певну кількість комутацій в залежності від величини відключаємого струму, після чого має бути здійснене технічне обслуговування. Для обліку кількості комутацій на обслуговуваних підстанціях ведеться журнал обліку кількості операцій з вимикачем. У даний журнал фіксуються автоматичні та планові відключення.

5.3 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників

Таблиця 5.3 Чинники умов праці та їх показники

Найменування чинників	Основні характеристики	Фактичне значення
Параметри мікроклімату	Температура повітря Вологість Швидкість вітру	(-15...30) °C (50...90) % (1...5) м/с
Важкість праці	Статичні і динамічні навантаження	Категорія важкості робіт 2Б, вимірювальне та ремонтне обладнання до 10 кг
Напруженість праці	Нервово-психологічні перевантаження Напруженість органів чуття: зір Шкідлива дія електромагнітного поля	Монотонність, в тому через умови праці 30 % робочого часу 25кВ/м перебування не більше 10 хв.
Освітлення	Освітлення природне (виконувати роботу в темний час доби ЗАБОРОНЕНО)	В залежності від погодних умов
Шкідливі речовини	Елегаз Продукти розкладу елегазу	Елегаз в чистому виді не містить шкідливих речовин та безпечний для людини Продукти розкладу елегазу можуть бути шкідливими, потрібно використовувати протигаз або маску-фільтр
Висота виконання робіт	Висота виконання ремонтних робіт/монтажу після ремонту	7 метрів

Таблиця 5.4. Перелік небезпечних і шкідливих виробничих чинників

Небезпечні і шкідливі чинники	Фактичне значення	Допустиме значення
Електричного походження		
Напруга	330...400 кВ	750 В
Струм	4000 А	0,6 мА
Напруженість електричного поля	25 кВ/м	5 кВ/м
Напруженість магнітного поля	31.6 кА/м	1.4 кА/м
Неелектричного походження		
Шкідливі речовини	Елегаз 0.55 літр/рік (максимальне значення)	На відкритому повітрі неможливо отримати небезпечну концентрацію
	Продукти розпаду елегазу $3,07 \cdot 10^{-3}$ л/кДж енергії дуги ¹	Невелика концентрація продуктів розпаду може призвести до отруєння фторидами (SF ₄ , SF ₂)
Висота	7 м	1,3 м
Оцінка умов праці	Шкідливі II категорії	

*1 – усереднене значення розпаду елегазу в літрах на кожний кДж енергії дуги, що розмикається.

5.4 Розробка і розрахунок технічних та організаційних заходів з охорони праці

В якості захисту від ураження електричним струмом застосовується заземлення. Окрім цього, безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмовідних частин, використанням зниженої напруги. Люди, що обслуговують електроустановки повинні мати ЗІЗ – спеціальне взуття, рукавиці. Засоби особистого захисту потрібно періодично випробовувати, їх потрібно захищати від механічних пошкоджень, щоб не змінювалися її діелектричні властивості.

Перед допуском до роботи на комутаційних апаратах з дистанційним керуванням слід виконати такі організаційні та технічні заходи:

Таблиця 5.5. Технічні і організаційні заходи

Вид заходу	Найменування заходу	Опис, показники і характеристики
Технічні заходи з електробезпеки	Ізоляція	Ізоляція струмоведучих частин обладнання більше 1 МОм, покриття підлоги з щебню
	Знак безпеки	Знак «Обережно, напруга», кріпиться на сам вимикач
	Заземлення	Захисне для всіх установок Опір заземлення в мережах з ефективно заземленою нейтраллю
Організаційні заходи з електробезпеки	Призначення працівників	Працівники призначаються після перевірки знань в комісії підприємства
	Вид дозвільного документу на виконання робіт	Наряд-допуск на певну кількість днів, в залежності від типу робіт
	Підготовка робочого місця та допуск до роботи	Проведення оперативних перемикачів для виводу вимикача в ремонт
	Плакати безпеки	Вказівні. На робочому місці: «Заземлено» Застережні На робочому місці, «Не вилазь - уб'є». Заборонні. На ключах дистанційного керування

Вид заходу	Найменування заходу	Опис, показники і характеристики
		комутаційних апаратів вивішені заборонні плакати;
Технічні заходи щодо виключення інших НШВЧ	Знімання напруги: вимикання вимикача	Провести вимкнення вимикача та вивісити плакати «Не вмикати! Працюють люди» на ключах дистанційного керування вимикачем
	Захист бригади від помилково поданої напруги: встановлення заземлення	Перевірити відсутність напруги, включити заземлення, вивісити плакати «Заземлено» на ключах управління
	Огородження робочого місця: вивішування плакатів безпеки	Вивісити плакати «Стій! Напруга» на обладнанні що межують з робочим місцем і залишилось під напругою, Вивісити плакат «Працювати тут»

Підніматися на елегазовий вимикач, що перебуває під робочим тиском, дозволяється тільки в разі проведення випробувальних і налагоджувальних робіт (регулювання демпферів, зняття віброграм, під'єднання або від'єднання провідників від вимірювальних приладів, визначення місць витoku повітря тощо).

Вологонепроникність (герметичність) елегазових вимикачів перевіряється за умови пониженого тиску відповідно до заводських інструкцій.

5.5. Вибір засобів індивідуального захисту для обмеження впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників

У ВРУ 110кВ і вище та на ПЛ 330кВ і вище у разі виконання робіт у зоні впливу електричного поля напруженістю понад 5кВ/м необхідно обмежувати тривалість перебування людей згідно з вимогами або застосовувати засоби захисту від впливу електричного поля.

Таблиця 5.6. Засоби індивідуального захисту

Вид ЗІЗ	Призначення	Марка, маркування, матеріал, тощо	Технічні характеристики
Захисний спецодяг	Технологічний захист	Комбінезон Л-1	Під час ремонтних робіт
	Захист від знижених температур	ТВН «Морозко» Костюм	Використовують до температури в мінус 25 °С
Захисне взуття	Захист від механічних ушкоджень	AB4060/1 S3. Черевики.	Під час роботи з вимірювальним обладнанням до 15 кг (маса вим. Обладнання до 10 кг)
Захист рук	Захист від механічних ушкоджень та впливу електричної дуги	Двошарові гумові діелектричні рукавички	Під час ремонтно- налагоджувальних робіт
Захист голови	Захист від механічного та електричного впливу	Каска Універсал M215	Під час ремонтних робіт
Захист очей	Захист від електричної дуги	Окуляри закриті подвійні, полікарбонат	Під час ремонтних робіт
Інші	Захист від падіння з висоти	ПН «Верхолаз»	Під час роботи на висоті, яка перевищує 1.3 м

Таблиця 5.7. Основні електрозахисні засоби

Вид ЕЗЗ	Найменування	Технічні характеристики
Контрольно-сигнальні прилади	Ізолювальні штанги	Універсальні. Напруга 35 - 500 кВ
	Ізолювальні кліщі	Робота з заміни струмовідних частин
	Електровимірювальні кліщі	Вимірювання струму
	Показчики напруги контактні	Наявність напруги на струмовідних частинах ЕУ
	Сигналізатори напруги	Наближення до частин ЕУ під напругою
Індивідуальний екранувальний комплект	КЕ-ВРН	Обслуговування ЕУ, встановлення для безпечного ремонту обладнання
Захисні пристосування	Захисне переносне заземлення	Виконання робіт
	Плакати безпеки	Розмістити на час ремонту вимикача

Персонал, який виконує ремонтні роботи на вимикачі, повинен знати будову, принципи роботи захисних пристосувань, повинен бути ознайомлений з інструкцією і строго дотримуватись вимогам.

5.7. Вибір технічних та організаційних заходів для унеможливлення і ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

Попередньо виконуємо аналіз імовірних небезпек, які можуть створити надзвичайні ситуації та призвести до нещасних випадків серед працівників. В основному можливі надзвичайні ситуації пов'язані з витоків електричного струму. В електричному вимикачі немає вибухо- та пожежонебезпечних рідин, газів та частин пристрою.

Таблиця 5.8. Перелік заходів і засобів для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

Група заходів	Технічні характеристики	Критерії вибору
Організаційні заходи	До роботи допущені працівники, які пройшли атестацію компанії-виробника	Відповідність кваліфікації та проходження атестації
Розчин для знезараження елегазу	NaOH	Термін зберігання 10 років, багаторазове використання
Збір знезараженого елегазу	Абсорбенти, пиломокт з мікропористим фільтром	Термін зберігання абсорбентів при температурі 10-30°C складає 3 роки
Захисний одяг водонепроникний	ВК «КОМБІ», комбінезон	Багаторазового використання. Термін зберігання – 6 років.
Протигаз	Протигаз для фільтрації мікрочастинок та кислотних газів	Температура зберігання – від 30 °C до 50 °C. Термін зберігання – 5 років

5.8. Розробка та розрахунок захисту персоналу від непрямого дотику

Для захисту персоналу від непрямого дотику розрахуємо захисне заземлення, яке розташовано по периметру від вимикача.

Вихідні данні:

Напруга обладнання 330 кВ;

грунт на території, де розташований вимикач – глина, питомий опір якої складає $\rho = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

Для електроустановок напругою більше 110 кВ $R_{\text{доп}}$ можна прийняти для розрахунку 0,5 Ом;

В якості вертикальних заземлювачів використовуємо металеві прuti довжиною 6 та діаметром 20 мм. Для горизонтального заземлювача використовується металевий прут прямокутного перерізу з перетином 4x12 мм, довжиною 6 м.

Розрахуємо питомий опір ґрунту:

Приймаємо коефіцієнт сезонності за середньої вологості $\Psi_2 = 1,3$.

$$\rho_{\text{розр}} = \rho_{\text{табл}} \cdot \Psi_2 = 60 \cdot 1,3 = 78 \text{ (Ом} \cdot \text{м)} \quad (6.1)$$

Заземлювачі розміщують біля поверхні землі, або заглиблюють глибше зони промерзання ґрунту (приблизно 0,7-0,8 м). Будемо заглиблювати заземлювачі на глибину 0,8 м.

Визначимо опір розтікання вертикального заземлювача за формулою:

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot l_1} \left(\ln \left(\frac{2 \cdot l_1}{d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l_1}{4 \cdot t - l_1} \right) \right) \quad (6.2)$$

де $\rho_{\text{розр}}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту для ВЗ, Ом·м; l_1 – довжина ВЗ, м; d – діаметр, м; t – відстань від поверхні ґрунту до середини ВЗ.

Відстань від поверхні ґрунту до середини ВЗ визначають за формулою:

$$t = t_0 + \frac{l_1}{2} \quad (6.3)$$

де t_0 – відстань від поверхні ґрунту, м

$$\begin{aligned} t &= t_0 + \frac{l_1}{2} = 0,5 + \frac{6}{2} = 3,5 \text{ (м)} \\ R_{\text{в}} &= \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot l_1} \left(\ln \left(\frac{2 \cdot l_1}{d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l_1}{4 \cdot t - l_1} \right) \right) = \\ &= \frac{78}{2 \cdot 3,14 \cdot 6} \left(\ln \left(\frac{2 \cdot 6}{0,02} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 3,5 + 6}{4 \cdot 3,5 - 6} \right) \right) = 14,190 \text{ (Ом)} \end{aligned}$$

Оскільки, $R_{\text{в1}} > R_{\text{доп}}$ (8,382 Ом > 0,5 Ом), то потрібно сполучити декілька вертикальних заземлювачів.

Розрахуємо необхідну кількість заземлювачів за формулою:

$$n' = \frac{R_{\text{в1}}}{R_{\text{з}} \cdot \eta_e} = \frac{14,190}{0,5 \cdot 0,47} = 60,38 \approx 60 \text{ (шт.)} \quad (6.4)$$

Розрахуємо довжину горизонтального заземлювача за формулою:

$$l_{\text{г}} = 1,05 \cdot a \cdot n = 1,05 \cdot 0,39 \cdot 60 = 24,57 \text{ (м)} \quad (6.5)$$

Визначимо опір струму розтікання горизонтального заземлювача за формулою:

$$\begin{aligned} R_{\text{г}} &= \frac{\rho_{\text{розр.г}}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\text{г}}} \ln \left(\frac{2 \cdot l_{\text{г}}^2}{b_{\text{г}} \cdot t_{\text{г}}} \right) \\ R_{\text{г}} &= \frac{60 \cdot 4,8}{2 \cdot 3,14 \cdot 24,57} \ln \left(\frac{2 \cdot 24,57^2}{0,04 \cdot 0,5} \right) = 20,556 \text{ (Ом)} \end{aligned} \quad (6.6)$$

Результуючі опір заземлювального пристрою:

$$R_{\text{шт}} = \frac{R_{\text{в1}} \cdot R_{\text{г}}}{R_{\text{в1}} \cdot \eta_{\text{Геф}} + R_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{Веф}} \cdot n} \quad (6.7)$$

$$R_{\text{шт}} = \frac{R_{\text{в1}} \cdot R_{\text{г}}}{R_{\text{в1}} \cdot \eta_{\text{Геф}} + R_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{Веф}} \cdot n} = \frac{14,190 \cdot 20,556}{14,190 \cdot 0,22 + 2,556 \cdot 0,47 \cdot 60} \\ = 0,4952 \text{ (Ом)}$$

Отримане значення $R_{\text{шт}}$ не перевищує допустиме значення:

$$R_{\text{шт}} < R_{\text{доп}} \quad (6.8)$$

Висновки

У даному розділі магістерської дисертації були обрані заходи щодо запобігання або зменшення впливу на працівників шкідливих і небезпечних виробничих чинників, які виникають у ході ремонтних робіт на елегазовому вимикачі з робочою напругою 330 кВ.

На персонал під час ремонтних робіт впливає в основному такі НШВЧ як напруженість електричного та магнітного полів, так як персонал обслуговує високовольтне обладнання, а також падіння з висоти до 7 метрів, що перевищує допустимі 1.3 метра. В даному розділі було розглянуто експлуатацію елегазового вимикача на підстанції та розроблено технічні та організаційні заходи та засоби з охорони праці та безпеки життєдіяльності при ремонтних роботах з високовольтними елегазовими вимикачами. Також було визначено, що роботи з обслуговування та ремонту високовольтного вимикача виконує зміна в кількості 2-6 осіб з IV групою з електробезпеки, хоча до замірів параметрів вимикача при огляді допускається персонал з III групою допуску.

Розробили таблицю з вибору засобів індивідуального захисту для обмеження впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників на обслуговуючий персонал. А саме таких як технологічний захист(спецодяг), захист від зниженої температури, захист від механічних ушкоджень (черевики, рукавички), захист від механічного та електричного впливу(каска), обладнання для роботи на висоті, що перевищує 1.3 метра.

Було проаналізовано основні джерела небезпек та перелік заходів і засобів для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

Розглянуто можливі випадки попадання людини під напругу на ВРП і розраховано захисне заземлення вимикача.

РОЗДІЛ 6. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Вступ

В цьому розділі магістерської дисертації розглядається ідея розроблення стартап-проекту розумної енергосистеми, яка буде розраховувати в режимі реального часу спрацьований ресурс високовольтних вимикачів та зберігати дані на окремому сервері з можливістю доступу в будь-який час.

1. опис ідеї технології;
2. визначення техніко-економічних характеристик ідеї;
3. технологічний аудит ідеї проекту;
4. SWOT- аналіз стартап-проекту.

7.1 Опис ідеї технології

На даний момент ремонт електротехнічного обладнання, в тому числі і високовольтних вимикачів, поділяється на 2 види: плановий та неплановий. Основним видом планового ремонту є профілактичний (попереджувальний), що включає в себе наступні види обслуговування та ремонту: технічне обслуговування, поточний та капітальний ремонт. Для непланового ремонту основним видом є ревізія, яка виконується після напруження гарантійного ресурсу.

Також можливий варіант того, що після ремонтних робіт елемент енергосистеми (вимикач) не буде відповідати вимогам. В цьому випадку доводиться купувати нове обладнання. Купівля нового обладнання в цьому випадку має ряд мінусів:

- Додаткові капіталовкладення на утилізацію чи переробку старого вимикача;
- Перевезення старого вимикача до центру з переробки(утилізації) та доставка (монтаж) нового обладнання;
- Додаткове простоювання обладнання чи більший період роботи заміщувального обладнання (вимикача);
- Збільшується час ремонту, до якого ще додається час монтування та час на попереднє включення вимикача в систему;

- Додаткові грошові вкладення працівникам для монтажу та наладки обладнання, які через збільшення часу ремонту також збільшуються;
- Існує можливість того, що потрібного вимикача не буде в наявності чи його потрібно робити під замовлення, що також додає ремонтного часу.

Математична модель розрахунку спрацьованого ресурсу високовольтних вимикачів описана за допомогою принципів нечіткої логіки. В моїй бакалаврській роботі описані 3 моделі з розрахунку спрацьованого ресурсу високовольтного елегазового вимикача. Для інших видів високовольтних вимикачів модель залишається майже такою самою, окрім математичного опису дугогасильного середовища. Якщо брати до уваги інші елементи енергосистеми, то основний принцип залишається, змінюються лінгвістичні змінні в залежності від елементів чи параметрів, які впливають на роботу та надійність обладнання.

Маючи математичну модель по визначенню спрацьованого ресурсу для всіх типів високовольтних вимикачів, можна створити пристрій, який буде збирати данні з систем, що впливають на надійність та спрацьований ресурс. Для елегазового вимикача система виглядає наступним чином:

- Для механічного та комутаційного спрацьованого ресурсу можна використати датчик, який буде фіксувати спрацювання вимикача та амперметр, який буде вимірювати струм, який вимикає вимикач;
- Для вимірювання тиску елегазу використовується манометр;
- Для вимірювання опору ізоляторів використовується вимірювання струмів витоку через ще один амперметр.

Використовуючи мікроконтролер, в якому буде записана програма з розрахунку спрацьованого ресурсу і, також 4G модуль для передачі даних на окремий сервер ми отримаємо єдину систему з вимірювання спрацьованого ресурсу високовольтних вимикачів енергосистеми України.

Таблиця 6.1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Ідея полягає в розробці математичного та технічного забезпечення для оцінки спрацьованого ресурсу високовольтних вимикачів	Енергогенеруючі компанії	Зниження ризику виникнення аварійних ситуацій в ЕЕС; Своєчасний ремонт обладнання, економія часу та грошових коштів.
	Оператори системи розподілу	Зниження ризику знеструмлення систем електропостачання підприємств-споживачів; Зменшення часу роботи енергосистеми з можливістю повного відключення споживача, через відсутність резервного вимикача.
	Оператори системи передачі	
	Споживачі	
	Теплові електростанції	
	Атомні електростанції	
	Гідравлічні електростанції	

Для того, щоб зрозуміти чим же буде відрізнятись запропонована ідея від існуючих аналогів, був проведений аналіз потенційних техніко – економічних переваг.

Порівняно з регламентом ремонту електрообладнання, моя ідея передбачає:

- врахування випадкових відмов обладнання з подальшим коректуванням моделі;
- врахування струму, за якого відбулось розімкнення мережі;
- враховується реальний стан вимикача, тобто не тільки кількість комутацій та відмов, а й струм виключень, тиск середовища (елегазу) та опір ізоляторів вимикача;
- існує можливість коректування моделі за допомогою рапортів по ремонту обладнання такого ж типу;

- можливість завчасно провести ремонт обладнання до того моменту, коли не почнеться «лавина» відмов;
- вивід в ремонт вимикача в період, коли його можливо відремонтувати (заміна деталей, тех. Наладка, змащування і т.д.), без купівлі нового обладнання після післяремонтних випробувань;
- реєстрація стану вимикача в режимі реального часу;
- можливість корегувати періодичність ремонту кожного вимикача окремо, що дозволяє більш точно розрахувати кошти на ремонт обладнання.

6.2 Визначення техніко-економічних характеристик ідеї

На даний момент ремонт вимикачів проводиться в декілька періодів:

- Поверхневий огляд;
- Профілактичне обслуговування;
- Профілактичний ремонт;
- Капітальний ремонт.

Інтервали кожного з видів обслуговування різні (залежить від типу, виду вимикача та його виробника). Всі види обслуговування залежать від часу роботи, чи від кількості комутацій. Але комутації можуть відбуватися за різного значення струму, різне значення струму вимкнення може впливати на спрацьований ресурс в обидва напрямки. Також на ресурс вимикача можуть впливати багато різних факторів (як зовнішніх, так і внутрішніх), за допомогою даної моделі для елегазового вимикача ми враховуємо також тиск середовища (елегазу) та опір ізоляторів, які є дуже важливими для розрахунку спрацьованого ресурсу.

Проведений аналіз потенційних техніко-економічних переваг обох варіантів, показаний на табл. 6.2, який передбачає визначення переліку техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї, проведений порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначені показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні).

Таблиця 6.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики	Моя ідея	Конкурент	W (слабка сторона)	N (нейт- ральна сторона)	S (сильна сторона)
		Нова система	Стара алгоритм з ремонт обладнання			
1.	Врахування струму відключення	+	-			+
2.	Врахування інших параметрів на ресурс	+	-			+
3.	Неперіодичність ремонтів	+	-	+		
4.	Різні стани вимикачів, що працюють разом	+	-		+	
5.	Список перевірки та ремонтів обладнання наперед	-	+			+
6.	Більш простий розрахунок коштів та людино-годин для ремонту	-	+			+
7.	Регламент напрацьований роками	-	+		+	
8.	Можливість дізнатися стан вимикача без експерта для огляду обладнання	+	-			+
9.	Можливість спостерігати за станом вимикача в режимі реального часу	+	-			+
10.	Додаткові капіталовкладення для встановлення системи на вимикачі	-	+			+

Визначений перелік слабких, сильних і нейтральних характеристик та властивостей ідеї дав зрозуміти, що до слабких сторін відноситься:

1. Додаткові капіталовкладення для встановлення системи для розрахунку на вимикачі;
2. Складність формування заявок на ремонт обладнання на майбутнє;

3. Складність розрахунку коштів на ремонт обладнання та неперіодичний характер визову ремонтної бригади;
4. Новизна регламенту, новий регламент ще не напрацьований.

Але точні результати розрахунків з врахуванням інших параметрів, які впливають на спрацьований ресурс та можливості спостерігати за кожним елементом обладнання в режимі реального часу, формують його конкурентоспроможність.

6.3 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу був проведений аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Ідея проекту полягає у розробці платформи та програмного забезпечення для створення системи, що буде слідкувати за станом вимикачів. Ця система буде використовуватись не лише на самій станції чи підстанції, але можливе її використання в компаніях-виробниках обладнання, для реєстрації відмов чи порушень роботи вимикача, що супроводжує за собою вдосконалення. Це передбачає наявність доступного середовища розробки, з широким функціоналом і зручним та зрозумілим інтерфейсом. Розроблення своєї платформи та програмного забезпечення не є економічно доцільним, через існування аналогів.

На даний час функціонують такі платформи для розробки: EKATRA (IVL, Україна), Arduino (Італія), Raspberry Pi (Великобританія) та інші. За допомогою вищезазначених платформ можна спроектувати програмне забезпечення, що відповідало б вимогам. Були розглянуті аналоги платформи та програмного забезпечення, які задовільнили б всі необхідні вимоги. Однією з основних вимог до системи є зберігання інформації та створення звіту, для подальшого аналізу роботи як розробленої системи, так і аналізу надійності різних видів, типів вимикачів від різних виробників та формування можливого брендбуку для станцій, підстанцій та компаній, які ними керують та обслуговують обладнання.

Аналіз складових для визначення технологічної здійсненності ідеї проекту представлений у табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Ідея полягає в розробці програмного забезпечення на одній з представлених платформ	1. Середовище для обробки статистичних даних та побудови функцій належності лінгвістичних змінних	MathLab	Доступна
		MathCAD	Доступна
		Scilab	Доступна
	2. Середовище для написання програми з розрахунку спрацьованого ресурсу	C++	Доступна
		Phyton+Java Script (EKATRA)	Доступна
	3. Середовище для обробки отриманих результатів та підготування звіту	Microsoft Excel	Доступність обмежена
		MathLab	Недоступна
		MathCAD	Недоступна
	4. Можливі варіанти зв'язку з сервером	3/4G	Доступність обмежена
		Wi-Fi	Недоступна
Обрані технології реалізації ідеї проекту: MathLab, Phyton+Java Script, Microsoft Excel, 3/4G для передачі даних на сервер.			

1. Статистичні дані по відмовам електрообладнання отримуються шляхом запиту до енергогенеруючих або енергопостачальних компаній.

2. Для обробки статистичних даних та побудови функцій належності лінгвістичних змінних можна використати MathLab. За допомогою цього можна перевіряти налагодження вагових коефіцієнтів моделі чи її корегування, перед оновленням програмного забезпечення на самих контролерах на вимикачах. MathLab в даному випадку являє собою також симулятор, в якому можна налагоджувати систему без наслідків для вимикачів.

3. Для написання програми для розрахунку спрацьованого ресурсу були обрані 2 технології (мови програмування): C++, Phyton+Java Script (EKATRA). C++ являє собою один із основних мов для програмування, яка вже встигла застаріти в деякому плані, але вона залишається все ж більш універсальною. Якщо використовувати мову програмування, яку використовує EKATRA, то великим плюсом є те, що цей гібрид двох мов програмування є досить вдалим, оскільки для написання програми використовуються функції, скрипти та

модулі, які полегшують написання програми та зменшують кількість програмного коду.

4. Для обробки отриманих результатів було обране ПЗ для роботи з електронними таблицями Microsoft Excel з пакета програм Microsoft Office, оскільки MathCAD та MathLab занадто складні середовища.

5. Для зв'язку з сервером та доступу до бази даних було вирішено вибрати 3/4G зв'язок, оскільки він є в будь-якій точці України, а для використання Wi-Fi зв'язку потрібно дуже багато обладнання.

6.4 SWOT- аналіз стартап-проекту

SWOT-аналіз – матриця аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін. Матриця представлена у табл. 7.4.

Таблиця 6.4 SWOT – аналіз стартап-проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
<ul style="list-style-type: none">– Ремонт обладнання завчасно;– Набагато менша імовірність випадкових збоїв, через контроль комутаційного обладнання;– Прогнозування потребності в ремонті обладнання;– Врахування додаткових параметрів, які впливають на надійність;– Можливість корегування моделі;– нова технологія;– менша ціна ремонту, через розрахунок ремонту без заміни обладнання.	<ul style="list-style-type: none">– Додаткові кошти на розробку, монтаж та обслуговування системи;– Можливість некоректної роботи системи в перші дні-місяці роботи, оскільки потрібна наладка системи;– Додаткові елементи, які можуть відмовити;

Можливості:	Загрози:
<ul style="list-style-type: none"> – Збільшення надійності енергосистеми; – Співпадіння потреби в ремонті з ремонтом обладнання; – Використання лише працездатного обладнання. 	<ul style="list-style-type: none"> – мала кількість клієнтів; – побоювання нової технології замовниками;

Висновок до сьомого розділу

В даному розділі розглянуто розроблення розглядається ідея розроблення стартап-проекту розумної енергосистеми, яка буде розраховувати в режимі реального часу спрацьований ресурс високовольтних вимикачів. Правильна реалізація цієї ідеї створює передумови для успішного ринкового старту. Узагальнивши проведений аналіз потрібно зазначити:

1. До слабких сторін запропонованого підходу відноситься: додаткові капіталовкладення для встановлення системи для розрахунку на вимикачі; складність формування заявок на ремонт обладнання на майбутнє; складність розрахунку коштів на ремонт обладнання та неперіодичний характер визову ремонтної бригади; новизна регламенту.
2. Точні результати розрахунків з врахуванням інших факторів, що впливають на спрацьований ресурс та постійний нагляд за ресурсом вимикачів, формують засади конкурентоспроможності імовірного підходу.
3. З огляду на технологічне здійснення ідеї проекту, необхідно придбати платформу та програмне забезпечення ЕКАТРА для дослідження спрацьованого ресурсу з подальшим написанням програмного забезпечення, та пакет програм Microsoft Office, для обробки отриманих результатів і оформлення документації.
4. З огляду на рентабельність даного стартап-проекту, ринкова комерціалізація проекту є актуальною.

5. Подальша імплементація проекту є доцільною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бардик Є.І., Лукаш М.П. Електрична частина електричних станцій. Основне електрообладнання. – К. НТУУ "КПІ", 2011. – 220с. (учбовий посібник)
2. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій: Навчальний посібник/ Укл.: Є.І. Бардик, П.Л. Денисюк, Ю.В. Безбереж'єв./ – К.: НТУУ «КПІ», 2011 – 105 с.
3. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій. Частина 2: Навчальний посібник/ Укл.: Є.І. Бардик, П.Л. Денисюк, Ю.В. Безбереж'єв./ – К.: НТУУ «КПІ», 2012 – 82 с.
4. Проектування електричної частини електричних станцій та підстанцій. Частина 3: Навчальний посібник/ Укл.: П.Л. Денисюк, Ю.В. Безбереж'єв, О.Г. Філатов./ – К.: НТУУ «КПІ», 2014 – 103 с.
- 5.
6. Ендрени Дж. Моделирование при расчетах надежности в электроэнергетических системах: пер. с англ. / Под ред. Ю.Н. Руденко. М.: Энергоатомиздат, 1983. 336 с.
7. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. Ч.1. Теоретические основы. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. 256 с.
8. Alvarez J.-M. G., Mercado P.E. Online Inference of the Dynamic Security Level of Power Systems Using Fuzzy Techniques // IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 22, No. 2, May 2007 , pp.717-726.
9. Billinton R. Power System Reliability Evaluation. New York, London, Paris. Gordon and Breache Science Publishers, 1970. 299 p.
10. Billinton R., Allan R.N. Reliability Assessment of Large Electric Power Systems. Boston, Dordrecht, Lancaster. Kluwer academic publishers, 1988. 296 p
11. Костерев М.В., Бардик Є.І. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об'єктів електричних систем. Київ: НТУУ КПІ, 2010. – 131 с.

12. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 176 с.
13. Ситников, В. Ф. Вероятностно-статистический подход к оценке ресурсов электросетевого оборудования в процессе эксплуатации [Текст] / В. Ф. Ситников, В. А. Скопинцев // Электричество. – 2007. – № 11. – С. 9–15.
14. Бардик Є. І. Моделювання електроенергетичної системи для оцінки ризику виникнення аварій при відмовах електрообладнання [Текст] / Є. І. Бардик // Наукові праці Донецького національного технічного університету. — Серія «Електротехніка і енергетика», 2013. — Вип. 1. — С. 15–22.
15. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб. БХВ-Петребург, 2005. – 736 с.: ил.
16. Третьякова Л.Д. Засоби індивідуального захисту: виготовлення та застосування / Литвиненко Г.Є., Третьякова Л.Д. – К.: Лібра, 2008. – 317 с.
17. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Форт, 2017. – 760 с.
18. Гігієнічні нормативи ГН 3.3.5-8-6.6.1-20014. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. 08.04.2014.
19. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.
20. ДСН 3.3.6.037-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
21. НАПБ А.01001-2004. Правила пожежної безпеки в Україні; – К.: Держстандарт України, 2004. – 45 с.

22. ГКД 34.20.507-2003. Правила технічної експлуатації електричних станцій і мереж
23. ДСТУ 20494:2003 Штанги ізолювальні оперативні та штанги переносних заземлень. Загальні технічні умов
24. ДСТУ EN ISO 13688:2016 Одяг захисний. Загальні вимоги
25. ДСТУ EN ISO 20346:2010 Засоби індивідуального захисту. Захисне взуття
26. ДСТУ ІЕС 60903:2008 Робота під напругою. Рукавички з ізоляційного матеріалу
27. ДСТУ EN 397:2017 Каски захисні промислові
28. ДСТУ EN 168-2001 Засоби індивідуального захисту очей
29. ДСТУ EN 352-1:2017 Засоби індивідуального захисту органа слуху. Вимоги щодо безпеки та випробування. Частина 1. Шумозахисні навушники
30. ДСТУ EN 352-3:2017 Засоби індивідуального захисту органа слуху. Вимоги щодо безпеки та випробування. Частина 3. Шумозахисні навушники, приєднані до промислової захисної каски
31. ДСТУ 4368:2005 Комплект індивідуальний екрануючий для захисту від електричних полів промислової частоти. Загальні технічні вимоги та методи контролювання
32. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.