

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

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра відновлюваних джерел енергії

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

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

“ ” _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Спеціалізація - Електричні станції

на тему: Дослідження надійності власних потреб теплоелектроцентралі
потужністю 750 МВт

Виконав: студент 6 курсу, групи ЕТ-91мп

_____ Кунцевич Назарій Васильович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., Матєєнко Ю.П., _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант охорона праці професор, д.т.н., Третякова Л.Д., _____
(назва розділу) (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант стартап-проект ст.викладач, Бахмачук С.В. _____
(назва розділу) (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 р.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра відновлюваних джерел енергії

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

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Спеціалізація - Електричні станції

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

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

«___» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Дослідження надійності власних потреб теплоелектроцентралі потужністю 750 МВт

науковий керівник дисертації Матеєнко Ю.П., доцент, к.т.н.,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Строк подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження Модель надійності власних потреб ТЕЦ

4. Предмет дослідження Підвищення надійності власних потреб ТЕЦ

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) Проаналізувати сучасний стан проблеми; 2) Описати існуючі методи оцінки надійності в енергетиці; 3) Скласти і розрахувати модель надійності схеми власних потреб ТЕЦ; 4) Охорона праці і

безпека в надзвичайних ситуаціях від час експлуатації трансформатора власних потреб; 5) Старт-проект.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 1) Класифікація показників надійності; 2) Моделі відмов; 3) Розрахунок у нормальному режимі; 4) Розрахунок у аварійному і ремонтному режимі; 5) Розрахунок методом Марківських випадкових процесів; 6) Висновки.

7. Орієнтовний перелік публікацій Матєєнко Ю.П. Кунцевич Н.В. Методи розрахунку надійності власних потреб електричної станції

8. Консультанти розділів дисертації**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Професор, д.т.н. Третьякова Л.Д.,		
Старт-проект	Ст. викладач Бахмачук С.В.,		

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Формування теми магістерської дисертації	02.09.20	
2	Вивчення питання по літературі.	13.09.20	
3	Виконання магістерської дисертації	17.10.20	
4	Оформлення магістерської дисертації	20.11.20	
5	Попередній захист магістерської дисертації	17.12.20	
6	Захист магістерської дисертації	18.12.20	

Студент

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

ВІДГУК
наукового керівника магістерської дисертації
на здобуття ступеня магістра

виконаної на тему: Дослідження надійності власних потреб
теплоелектроцентралі потужністю 750 МВт
студентом Кунцевичом Назірієм Васильовичем

У магістерській дисертації було розглянуто проблему надійності власних потреб ТЕЦ, відмова який може спричинити зупинку електростанції.

Всі розділи магістерської дисертації виконані магістрантом самостійно і включають в себе необхідні розрахунки, ілюстрації та пояснення.

У першому розділі розглянуте поняття надійності і показані основні показники надійності.

У другому розділі розглянуті методи оцінки надійності в енергетиці. Також була розрахована надійність власних потреб теплоелектроцентралі логіко-ймовірносним методом і методом Марківських випадкових процесів.

У третьому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуація під час експлуатації трансформатора власних потреб.

У п'ятому розділі розроблено стартап-проект по реалізації пристрою швидкодіючого автоматичного вводу резерва, що дає змогу збільшити надійність власних потреб.

Під час роботи над магістерською дисертацією магістрант Кунцевич Н.В. показав необхідний рівень теоретичної та практичної підготовки, показав уміння самостійно вирішувати поставлені наукові задачі.

Вважаю, що в цілому магістерська дисертація виконана на високому рівні і заслуговує позитивної оцінки, отже Кунцевич Назарій Васильович заслуговує присудження ступеня магістра і кваліфікації магістра з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки по спеціальності 141 електроенергетика, електротехніка та електромеханіка за освітньою програмою електричні станції.

Науковий керівник
магістерської дисертації

доцент, к.т.н., доц. _____

Ю.П. Матесенко _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(ініціали, прізвище)

РЕЦЕНЗІЯ
на магістерську дисертацію
на здобуття ступеня магістра

виконаної на тему: Дослідження надійності власних потреб
теплоелектроцентралі потужністю 750 МВт
студентом Кунцевичом Назірієм Васильовичем

Представлена на рецензію магістерська дисертація, повністю відповідає затвердженій темі і виданому завданню, та отримані результати задовольняють цілям поставленим у завданні.

У магістерській дисертації розглянуто проблему надійності власних потреб ТЕЦ, відмова який може спричинити зупинку електростанції.

Магістерська дисертація виконана в рамках науково-дослідницької роботи кафедри відновлюваних джерел енергії, спеціалізації електричні станції.

В даній роботі розглянуті методи оцінки надійності в енергетиці, розрахована надійність власних потреб ТЕЦ логіко-ймовірносним методом і методом Марківських випадкових процесів.

Робота задовільняє в повному обсязі вимоги, які пред'являються до магістерських дисертацій. Зауважень по роботі немає.

Вважаю, що магістерська дисертація заслуговує оцінку «добре», а її автору, Кунцевичу Назарію Васильовичу може бути присвоєний ступінь магістра і кваліфікація магістра з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки по спеціальності 141 електроенергетика, електротехніка та електромеханіка за освітньою програмою електричні станції.

Рецензент_доцент, к.т.н., доц. _____ Т.Л. Кацадзе _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить 96 сторінок, 20 рисунків, 19 таблиць, 10 джерел за переліком посилань, 6 аркушів графічної частини.

Актуальність теми. Надійність - властивість об'єкта або технічного пристрою виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, що відповідають заданим режимам та умовам використання, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування.

Забезпечення надійності енергетичних систем стало ключовою проблемою сучасної енергетики. Зв'язок між енергосистемою, її елементами і зовнішнім середовищем носить стохастичний (ймовірностний) характер і можна говорити лише про ймовірність повного досягнення енергосистемою своєї мети - передачі електроенергії споживачеві. Тому надійність роботи енергосистеми завжди включає відмову (порушення). Неповнота надійності енергосистеми дає втрати вихідного ефекту її роботи, на практиці - недовідпуск енергії споживачам.

Найважливіший елемент енергосистеми – електростанція, від надійної роботи якої залежить функціонування самої системи. Питання надійності – це техніко-економічна проблема, вирішення якої дозволяє за допомогою раціонального використання затрат змінювати більшість факторів, які впливають на надійність.

Мета і задачі дослідження. Метою магістерської дисертації є розгляд надійності власних потреб ТЕЦ, оцінка надійності схеми власних потреб.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі, як:

1. Виконати аналіз стану проблеми, показників надійності та існуючих методів оцінки.

3. Провести розрахунки для схеми власних потреб.

Об'єкт дослідження. Власні потреби теплоелектроцентралі потужністю 750 МВт.

Предмет дослідження. Модель надійності власних потреб.

Методи дослідження. Під час виконання магістерської дисертації, був використаний логіко-ймовірносний метод з деревом відмов, а також математичний апарат Марківських випадкових процесів.

Наукова новизна одержаних результатів. Отримано нові результати і залежність частоти відмов власних потреб в залежності від схеми з'єднань, а також від стану, в якому вони знаходяться.

ABSTRACT

The master's dissertation contains 96 pages, 20 figures, 19 tables, 10 sources according to the list of references, 6 sheets of the graphic part.

Actuality of theme. Reliability - the property of an object or technical device to perform specified functions, keeping in time the values of the established performance within specified limits, corresponding to the specified modes and conditions of use, maintenance, repair, storage and transportation.

Ensuring the reliability of energy systems has become a key problem of modern energy. The connection between the power system, its elements and the external environment is stochastic (probabilistic) in nature and we can only talk about the probability of full achievement of the power system's goal - the transmission of electricity to the consumer. Therefore, the reliability of the power system always includes failure (violation). Incomplete reliability of the power system gives the loss of the initial effect of its work, in practice - the shortfall of energy to consumers.

The most important element of the power system is the power plant, the reliable operation of which depends on the functioning of the system itself. The issue of reliability is a technical and economic problem, the solution of which allows to use the rational use of costs to change most of the factors that affect reliability.

The purpose and objectives of the study. The purpose of the master's dissertation is to consider the reliability of the CHP's own needs, to assess the reliability of the scheme of own needs.

To achieve this goal it is necessary to solve such tasks as:

1. Analyze the status of the problem, reliability indicators and existing assessment methods.
3. Make calculations for the scheme of sweet needs.

Object of study. Own needs of a 750 MW thermal power plant.

Subject of study. Model of reliability of own needs.

Research methods. During the master's dissertation, the logical-probabilistic method with a failure tree was used, as well as the mathematical apparatus of Markov random processes.

Scientific novelty of the obtained results. New results and dependence of the frequency of failures of own needs depending on the scheme of connections, and also on a condition in which they are.

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	11
ВСТУП	12
1. ПРОБЛЕМА НАДІЙНОСТІ	13
1.1. Визначення надійності в енергетиці.....	13
1.2. Показники надійності.....	15
1.3. Надійність власних потреб ТЕЦ.....	20
1.4. Поняття про структурну і функціональну надійність.....	27
1.5. Постановка задачі.....	28
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ.....	30
2. ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО УСТАТКУВАННЯ.....	31
2.1. Методи розрахунку надійності.....	31
2.1.1. Логіко-ймовірнісний розрахунок за допомогою дерева відмов.....	32
2.1.2. Аналітичний метод розрахунку на основі ймовірносних моделей..	41
2.1.3. Метод мінімальних перерізів.....	45
2.1.4. Таблично-логічний метод розрахунку.....	49
2.1.5. Метод марківських випадкових процесів.....	53
2.2. Математична модель аналізу надійності на прикладі дослідження системи власних потреб з урахуванням резервування.....	59
2.2.1. Надійність системи власних потреб електростанції в нормальному режимі.....	59
2.2.2. Надійність системи власних потреб електростанції в аварійному режимі.....	63
2.2.3. Надійність системи власних потреб електростанції в ремонтному режимі.....	67

2.2.4. Розрахунок надійності системи власних потреб електростанції за допомогою апарату Марківських випадкових процесів.....	69
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ.....	72
3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСФОРМАТОРА ВЛАСНИХ ПОТРЕБ.....	73
Вступ.....	73
3.1 Загальна характеристика об'єкта, технічні характеристики серійного енергетичного устаткування та систем енергопостачання.....	74
3.2 Визначення обсягів і послідовності робіт у ході експлуатації.....	74
3.3 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників..	75
3.4 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників..	75
3.5 Вибір технічних та організаційних заходів з безпеки праці.....	76
3.6 Вибір засобів індивідуального захисту для обмеження впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників.....	77
3.7 Вибір заходів із запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.....	79
3.8 Розрахунок технічного заходу з безпеки експлуатації.....	80
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ.....	82
4. РОЗРОБКА STARTUP-ПРОЕКТУ.....	83
ВСТУП.....	83
4.1 Опис ідеї проекту.....	83
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	86
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	87
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ.....	92
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	95

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

РУ – Розподільчий пристрій;
ЕЕС – Електроенергетичні системи;
КЗ – Коротке замикання;
ТОР – Технічне обслуговування і ремонт;
АПВ – Автоматичне повторне включення;
АВР – Автоматичне введення резерву;
РЗА – Релейний захист та автоматика;
ЕС- Електростанція.

ВСТУП

Найважливіший елемент енергосистеми – електростанція, від надійної роботи якої залежить функціонування самої системи. Питання надійності – це техніко-економічна проблема, вирішення якої дозволяє за допомогою раціонального використання затрат змінювати більшість факторів, які впливають на надійність. Проблема надійності електростанцій і її елементів зв’язана з питанням визначення і оптимізації показників надійності електростанцій на стадіях проектування, будівництва і експлуатації.

1. ПРОБЛЕМА НАДІЙНОСТІ

1.1. Визначення надійності в енергетиці

Проблема забезпечення надійності є дуже важливою проблемою рівня, для її розв'язання залучено значні наукові та інженерні сили. Задачу аналізу надійності, забезпечення та керування надійністю в електроенергетиці розв'язують фахівці експлуатаційних, проектних і ремонтно-налагоджувальних організацій, апарато- та електромашинобудівних заводів, а також співробітники науково-дослідних та навчальних закладів електроенергетичного профілю.

Надійність – властивість виконувати задані функції в заданому обсязі у певних умовах функціонування.

Об'єкт – предмет цільового призначення, що розглядається з погляду надійності як самостійна одиниця. Об'єктами можуть бути система, пристрій, споруда, машина, підсистема, апаратура.

Надійність - властивість об'єкта або технічного пристрою виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, що відповідають заданим режимам та умовам використання, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування.

Аналіз надійності – систематизоване дослідження, яке має на меті визначення впливу на надійність об'єкта технологічних процесів виробництва, особливостей конструкції, умов експлуатації, ремонту і технічного обслуговування. Крім цього це визначення досягнутого рівня надійності після виконання заходів, метою яких є забезпечення і підвищення надійності, а також оцінка ефективності цих заходів.

Першочерговою функцією ЕЕС є її функція за призначенням, тобто постачання споживачам електроенергії. З виконанням цієї функції пов'язують надійність ЕЕС у вузькому розумінні.

Надійність ЕЕС (у вузькому розумінні) – це властивість ЕЕС виконувати безперевне в часі та необмежуване у межах встановлених обсягів постачання споживачам електроенергії технічно допустимих параметрів.

Надійність ЕЕС у широкому розумінні пов'язують з виконанням двох функцій: названої функції за призначенням та функції, виконання якої полягає в тому, що ЕЕС зобов'язана не створювати ситуацій, небезпечних для людей і навколишнього середовища. У цій другій функції показується безпека ЕЕС як одна із властивостей її надійності. ЕЕС має постачати електроенергію споживачам безперебійно і дотримуватися вимог щодо обсягів енергопостачання та якості електроенергії. Якщо орієнтуватися на критерій відмов, то можна стверджувати, що відмовою ЕЕС є будь-яка перерва в електропостачанні чи обмеження живлення частини споживачів.

Вимоги забезпечення якості електроенергії регламентуються відповідними нормативними показниками. Але забезпечення нормативних показників якості не є критерієм відмови. За порушення норм якості електроенергії електропостачальна організація платить споживачам компенсацію збитків, проте ці витрати не стосуються надійності.

Критерієм відмови ЕЕС з погляду якості електроенергії є вихід її параметрів за технічно допустимі межі, коли електроустановки споживача будуть не спроможні працювати або не може існувати режим системи. Для напруги і частоти встановлено технічно допустимі параметри. У вузлах навантаження допустиму напругу визначають за нормативними запасами статичної стійкості навантаження за напругою. Вони становлять 15 % у нормальних та обтяжених

режимах і 10 % у вимушених (післяаварійних) режимах. Допустиме значення частоти знаходиться в межах 49,0...50,5 Гц, бо за межами цього діапазону частот неможлива в першу чергу робота устаткування власних потреб ЕС, які є найчутливішими до змін технічних параметрів.

Отже, у вузькому розумінні необхідними та достатніми умовами надійної роботи ЕЕС є відсутність обмежень електропостачання у межах встановлених обсягів, неперервність живлення споживачів, і відпуск споживачам електроенергії технічно допустимих параметрів.

В загальному випадку необхідні та достатні умови надійної роботи ЕЕС містять ще і вимоги безпеки для людей і навколишнього середовища. Тому надійність ЕЕС у широкому розумінні визначають таким чином.

Надійність ЕЕС (у широкому розумінні) – це властивість виконувати нею безперебійне в часі та необмежуване у межах встановлених обсягів постачання споживачам електроенергії технічно допустимих параметрів і не допускати ситуацій, небезпечних для людей і довкілля.

Вимога безпеки передбачає врахування тих небезпечних для навколишнього середовища і людини ситуацій, які виникають не в умовах нормального функціонування системи, а у результаті відмов. Якщо виникнення небезпечних ситуацій сталось за умови відсутності відмов, то це пов'язано з низьким рівнем технічної досконалості об'єкта і відношення до надійності його роботи не має[1].

1.2. Показники надійності

Система термінів основних понять в теорії надійності в електроенергетиці містить сукупність взаємоузгоджених і взаємопов'язаних термінів та

визначень, якими означено відповідні поняття в теорії надійності. Наявність такої системи термінів забезпечує однозначність трактування пов'язаних з надійністю.

До загальних визначень у цій термінологічній системі належать, в першу чергу, поняття об'єкта (визначення якого, наведено вище), системи, елемента, тобто предметів розгляду в теорії надійності. Елементом називають технічний пристрій, який не є призначений для самостійного застосування, але він використовується для створення систем і виконує в системі певні функції. Система - це сукупність елементів, які діють спільно. Вона призначена для самостійного виконання заданих функцій. Найбільш важливою ознакою системи є те, що елементи, з яких складається система, утворюють єдине ціле з якісно новими властивостями. Поділ на елемент чи систему не рідко буває умовним, бо елемент як найпростіша частина системи у межах цього розглядання може являти собою систему в межах більш детальнішого аналізу. Поняття «елемент» і «система» змінюються в залежності від поставленого завдання. Наприклад, генератор у разі встановлення його власної надійності розглядають як систему, що складається з окремих елементів – механізмів, деталей тощо, а в разі визначення надійності електростанції, на якій цей генератор встановлено, як його розглядають як елемент.

Об'єкт – одне з найбільш загальних понять в теорії надійності. Об'єкт містить поняття і елемента, і системи. Об'єктом можна назвати, наприклад, електроенергетичну систему, систему керування, електричну машину, апарат тощо.

Об'єкти (елементи) з точки зору надійності поділяють на два класи: відновлювані і невідновлювані.

Відновлюваний об'єкт – ремонтний об'єкт, який після виникнення відмови та усунення несправності знову стає здатним виконувати необхідні функції з заданими кількісними показниками надійності.

Невідновлюваний об'єкт – об'єкт, який неможливо поремонтувати або який не дозволяє відновити працездатність із заданими кількісними показниками надійності.

Невідновлюваними об'єктами є, наприклад, розрядники, скляні або фарфорові ізолятори, плавкі вставки запобіжників тощо. Об'єкти, що складаються з багатьох елементів, наприклад, трансформатор або генератор є відновлюваними, тому що їхні відмови пов'язані з пошкодженнями одного або декількох елементів, з яких вони складаються і які можуть бути замінені упродовж деякого періоду часу.

Інколи об'єкт, в залежності від особливостей, етапів експлуатації або призначення можна вважати відновлюваним або невідновлюваним. При цьому невідновлюваний об'єкт може бути як ремонтним, так і неремонтним.

Ремонтний об'єкт – це об'єкт, який придатний до ремонту, передбаченого нормативною, ремонтною або конструкторською (проектною) документацією.

Неремонтний об'єкт - це об'єкт, який не придатний до ремонту, передбаченого нормативною, ремонтною або конструкторською (проектною) документацією.

Поняття, що визначають властивості об'єкта з погляду надійності.

Кожен об'єкт має деякі властивості, що визначають характер його функціонування. Надійність об'єкта – комплексна властивість і в залежності від умов застосування і призначення об'єкта може характеризуватися такими властивостями як безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та

збережуваність, а також може містити певні поєднання цих властивостей (рис. 1.1).

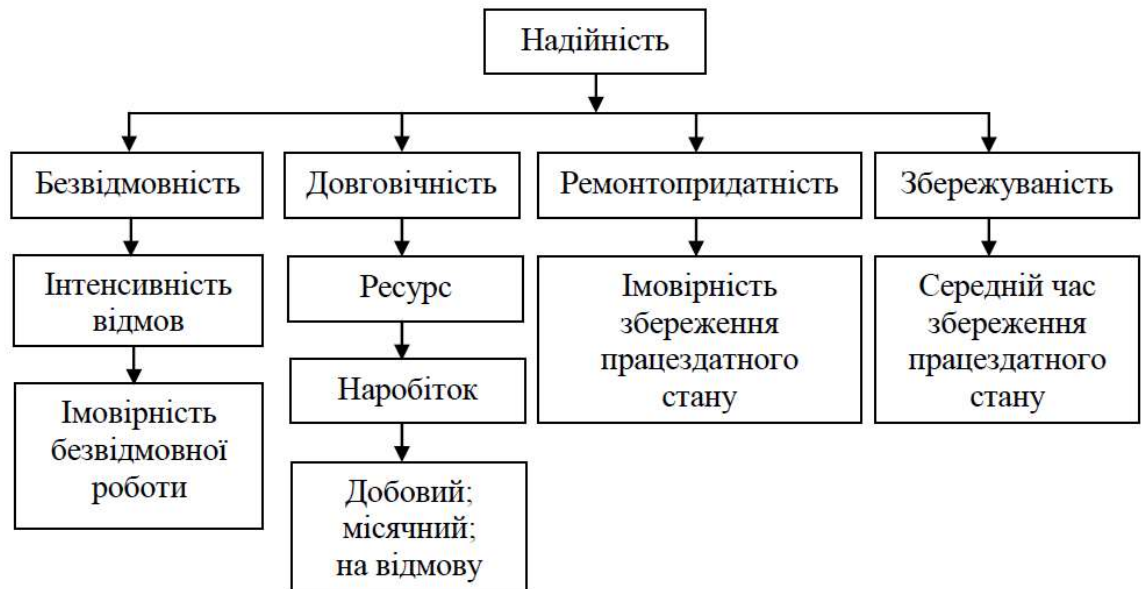


Рис. 1.1. Класифікація показників надійності

Безвідмовність – це властивість об’єкта виконувати необхідні функції в певних умовах протягом заданого проміжку часу чи наробітку.

Довговічність – це властивість об’єкта виконувати необхідні функції до того, як він перейде у граничний стан за наявної системи технічного обслуговування та ремонту.

Ремонтопридатність – властивість об’єкта бути придатним до підтримання та відновлення стану, в якому він буде виконувати необхідні функції за допомогою технічного обслуговування та ремонту.

Збережуваність – це властивість об’єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, які характеризують можливість об’єкта виконувати необхідні функції, протягом і після збереження або транспортування.

Такі одиничні властивості об'єкта як стійкоздатність, живучість, режимна керованість та безпека будуть визначені нижче після розгляду особливостей функціонування ЕЕС.

Поняття, що визначають стани об'єкта.

Під час функціонування об'єкт може бути в різних станах. Частота виникнення та тривалість цих станів впливають на виконання об'єктом заданих функцій у заданому обсязі.

Справність – стан об'єкта, при якому він має може виконувати всі задані функції об'єкта.

Несправність – стан об'єкта, при якому він не може виконувати як мінімум одну із заданих функцій об'єкта.

Аналіз несправностей – систематичне та логічне дослідження об'єкта для визначення та аналізу ймовірностей виникнення, причин і наслідків потенційних несправностей.

Поняття справність є ширшим, ніж поняття працездатність. Працездатний об'єкт повинен відповідати тільки тим вимогам нормативно-технічної документації, при виконанні яких забезпечується нормальне використання об'єкта за призначенням. Тоді, якщо об'єкт непрацездатний, то це говорить про його несправність. З іншого боку, якщо об'єкт є несправний, це ще не означає, що він непрацездатний.

Незначна несправність – несправність, яка не порушує ніякої з необхідних функцій об'єкта.

Значна несправність – несправність, яка порушує принаймні одну з необхідних функцій об'єкта.

Повна несправність – несправність, якій властива повна нездатність об'єкта виконувати всі необхідні функції[2].

1.3. Надійність власних потреб ТЕЦ

На електростанціях, особливо на ТЕЦ і АЕС, процес вироблення енергії зв'язаний з роботою достатньо великої кількості механізмів власних потреб, які мають значну сумарну потужність. На КЕС вона становить 6-8 % від встановленої потужності електростанції, на ТЕЦ – 8-14 %, на АЕС – 5-8 %. Надійність системи власних потреб електростанції повинна бути високою через те, що відмови цієї системи спричиняють порушення технологічного процесу виробництва електроенергії, зупинку генераторів, а за деяких умов можуть спричинити зупинку всієї станції. Потрібно відрізняти надійність живлення механізмів власних потреб електростанції і надійність їх роботи. До надійності системи живлення механізмів власних потреб ставлять особливо високі вимоги. Система живлення повинна бути оснащеною високонадійними комутаційними апаратами та пристроями автоматики, а також бути високорезервованою. При поєднанні високої надійності механізмів власних потреб з високою надійністю живлення їх приводів забезпечується неперервна робота системи власних потреб і безперебійний процес виробництва електроенергії[2].

Надійність роботи електростанції забезпечується на етапах їх проектування, спорудження та експлуатації. На етапі проектування велике значення має розробка надійних головних схем електричних з'єднань, схем видачі потужності та живлення власних потреб. На стадії будівництва електростанції необхідно забезпечити високу якість усіх будівельних і монтажних робіт. При експлуатації однаково важливе раціональне керування режимами роботи та досконалість технічного обслуговування і ремонтів.

При проектуванні головних схем електричних з'єднань, необхідно забезпечити високу надійність функціонування електростанції у нормальних, ремонтних та післяаварійних експлуатаційних режимах. При функціонуванні в нормальних режимах головна схема повинна забезпечити виконання електростанцією всіх покладених на неї функцій, а в ремонтних та післяаварійних режимах схема має забезпечувати збереження необхідної кількості електричних зв'язків для видачі електроенергії від станції до мережі.

Необхідного рівня надійності головних схем електричних з'єднань електростанції на етапі проектування можна досягнути, вибираючи відповідні структури самої схеми; тип, параметри та кількість силового устаткування; схеми РУ вищої, середньої та нижчої напруги; засобів системної та технологічної автоматики.

Особливий вплив на надійність головних схем має рівень надійності силового устаткування. Таке устаткування, як генератори, трансформатори й автотрансформатори електростанції необхідно конструювати так, щоб забезпечувалась безаварійність роботи в нормальних умовах, під час перевантажень, під час гроз, у пускових та спеціальних режимах тощо.

Експлуатація також має певні можливості для підвищення надійності роботи силового електроустаткування. Насамперед під час експлуатації потрібно дотримуватися всіх норм і приписів системи технічного обслуговування і ремонтів та постійно вдосконалювати цю систему, а також неухильно дотримуватися режимних вимог.

Під час виконання планових ремонтів силових агрегатів усувають знайдені під час оглядів і випробувань дефекти та несправності, для того, щоб вони не переросли в пошкодження, виконують заміни зношених деталей для відновлення ресурсу, покращують конструктивно недосконалі та малонадійні

вузли і системи. Підвищення ефективності технічного обслуговування і ремонтів досягають впровадженням передових технологій ремонтних робіт та сучасних систем діагностики.

Діагностика технічного стану дуже важлива для генерувальних агрегатів і силових трансформаторів. Постійне чи навіть періодичне (під час режимних і планових зупинок та вимикань) діагностичне спостереження за характером зміни стану основних вузлів та елементів агрегату дає змогу запобігати пошкодженням і аваріям. Діагностика сприяє виробленню рекомендацій для проведення ремонтів за технічним станом, які забезпечують набагато вищу надійність роботи силового обладнання електростанції порівняно з періодичними ремонтами.

Теплові електричні станції крім основних агрегатів - парових котлів, турбін і генераторів мають значну кількість різного роду механізмів, які обслуговують або автоматизують роботу основних агрегатів і допоміжних пристроїв. Всі ці механізми разом з їх приводними двигунами, відповідними джерелами живлення, внутрішньостанційними електромережами та розподільчими пристроями, пристроями електроосвітлення і т.д. входять в комплекс, який прийнято називати установкою власних потреб станцій.

Системи живлення власних потреб ТЕЦ повинні забезпечувати надійну роботу електротехнічного, теплотехнічного та технологічного обладнання електричної станції в різних (нормальному, ремонтному та аварійному) режимах.

На ТЕЦ до основних механізмів власних потреб, які обслуговують технологічний процес відносяться:

- механізм котельних агрегатів - дуттьові вентилятори, димососи, живильні і мережеві насоси;

- механізм турбоагрегатів - конденсаційні і циркуляційні насоси, масляні насоси систем регулювання, змащення і ущільнення.

Крім перерахованих механізмів на ТЕЦ встановлені такі механізми допоміжного призначення як: насоси технологічного водопостачання, пожежні насоси, компресорні установки, двигуни-генератори та зарядні випрямляючі агрегати для зарядки акумуляторних батарей, резервні збуджувачі.

Крім того, система живлення власних потреб ТЕЦ забезпечує електропостачання засобів управління (автоматизовані системи управління, релейний захист, засоби зв'язку, телемеханіки і телеуправління), приводів засувки і регулюючих клапанів, приводів вимикачів і роз'єднувачів. Слід зазначити, що крім живлення споживачів власних потреб ТЕЦ електроенергія витрачається на передачу і перетворення - втрати електроенергії в струмоведучих частинах, силових трансформаторах і перетворювальних установках.

Споживачі електричної енергії (електроприймачі) відрізняються:

- по призначенню;
- режиму роботи;
- принциповому виконанню;
- споживаній потужності;
- частоті споживаного струму;
- умовам роботи;
- відповідальності (категорійності) і відповідно за вимогами до надійності електропостачання.

Надійність роботи системи живлення власних потреб в значній мірі визначає працездатність станції в цілому. Залежно від ролі механізму або пристрою в технологічному процесі роботи ТЕЦ електроприймачі поділяються на три категорії по надійності живлення:

Перша категорія - електроприймачі, припинення електропостачання яких може спричинити людські жертви, ушкодження обладнання або розлад технологічного процесу. Електроприймачі такої категорії повинні забезпечуватися електроенергією від двох незалежних джерел, а в ряді випадків мати третє додаткове автономне джерело живлення;

Друга категорія - електроприймачі, перерви в електропостачанні яких пов'язані тільки з простоєм устаткування, але не можуть привести до людських жертв. Живлення таких споживачів рекомендується проводити від двох незалежних джерел. Перерва живлення таких споживачів допускається на час підключення резервних джерел.

Третя категорія - всі інші електроприймачі, для яких допускається перерва живлення на час ремонту або заміни пошкоджених елементів системи електропостачання.

Відповідальні механізми власних потреб - це механізми, припинення роботи яких навіть на незначний період призводить до зниження продуктивності або зупинки агрегатів, і як наслідок до зниження вироблення електричної і теплової енергії, це споживачі першої категорії.

У групі споживачів першої категорії виділяються особливо відповідальні споживачі, перерва живлення яких викликає небезпеку аварійної зупинки котлів і генераторів, а також ті, які забезпечують зупинку ТЕЦ без пошкоджень або ліквідацію наслідків аварій.

До таких особливо відповідальним механізмам власних потреб відносяться: циркуляційні насоси, конденсаційні, маслонуасоси системи змащення турбогенераторів і ущільнення вала генератора, живильні насоси котлів, димососи, дуттьові вентилятори і т.д.

Відключення електропостачання дуттєвих вентиляторів, димососів і живильників пилу призводить до погашення факела і зупинці парового котла. Важливе місце в технологічному циклі ТЕЦ займають живильні насоси, які подають живильну воду в парогенератор. Потужність електроприводу живильного насоса високого тиску близько 40% від загальної потужності споживачів власних потреб і може становити кілька мегават. Зупинка живильного насоса призводить до аварійного відключення парових котлів технологічними захистами.

Електропостачання споживачів першої особливо відповідальної категорії повинне здійснюватись від трьох незалежних джерел - робочого і двох резервних. В якості резервних джерел, незалежних від мережі живлення можуть використовуватися:

- 1) автономні агрегати, що складаються з первинного двигуна у вигляді дизеля і синхронного генератора;
- 2) допоміжні генератори, встановлені на валу головних агрегатів;
- 3) акумуляторні батареї.

Слід зазначити, що пуск і набір навантаження автономними агрегатами вимагають декількох хвилин. Такі агрегати отримали широке застосування на ТЕС і АЕС для резервування електропостачання тих споживачів власних потреб, які допускають таку перерву.

До невідповідальних відносяться механізми власних потреб, перерва в роботі яких на деякий період часу не викликає зниження вироблення ТЕЦ.

Величина потужності і витрата електроенергії на власні потреби залежать від типу ТЕЦ, її потужності, а також від виду палива, способу його спалювання і параметрів пари. Витрата електроенергії залежить від режиму роботи механізмів і їх продуктивності. Діапазон потужностей споживачів ТЕЦ досить великий. На таких станціях застосовуються механізми власних потреб потужністю від одиниць ватт до десятків мегаватт.

Основними споживачами власних потреб ТЕЦ є електродвигуни, частка яких становить близько 90% від загальної потужності власних потреб ТЕЦ. Решта 10% - це опалення, освітлення, вентиляція та д.р.

В якості приводів основних механізмів ТЕЦ, як правило, використовуються асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. Перевагами даних електродвигунів це висока надійність, дешевизна, конструктивна простота і простота пуску.

Крім асинхронних двигунів в якості приводів механізмів великої продуктивності використовуються синхронні двигуни. Основна перевага даних двигунів - можливість генерації реактивної потужності, що приводить до зниження втрат електроенергії в мережах, однак це малоефективно в системі живлення власних потреб. Однак високий ККД і можливість форсування, що підвищує стійкість роботи двигунів, робить їх застосування затребуваним.

Електродвигуни постійного струму застосовуються для механізмів, що вимагають регулювання продуктивності в широкому діапазоні, наприклад, на пиловугільних ТЕЦ для приводу живильників пилу або в якості приводу резервних маслonaсосів турбін. Зважаючи на низьку надійності таких двигунів

великої потужності, вони не використовуються для високопродуктивних механізмів ТЕЦ.

1.4. Поняття про структурну і функціональну надійність

Виділення в надійності ЕС складових: структурної і функціональної дозволяє спростити методи її аналізу та точніше підібрати заходи щодо зміни її рівня.

Структурна надійність – надійність, яка обумовлена складом елементів ЕС, їх зв'язками, пропускними здатностями без урахування їх функцій в системі (особливо важлива в проектуванні).

Показники структурної надійності визначаються для вузлів навантаження (ймовірність безвідмовної роботи, ймовірність відмови, параметр потоку відмов, напрацювання до відмови із заданою ймовірністю її максимуму, іноді недоотпуск енергії, збиток).

Для оцінки структурної надійності використовуються імовірнісні моделі, засновані на середніх ймовірностях стану елементів.

Функціональна надійність – надійність, заснована на аналізі режимів, їх обмежень, пропускної здатності при зміні структури (особливо важлива в експлуатації).

Функціональна надійність пов'язана з повною сукупністю їхніх аварійних режимів, після виникнення яких втрачається або цілеспрямовано вимикається навантаження. Аналіз функціональної надійності – завдання надзвичайно складне. Врахувати всі чинники, що визначають надійність, особливо у початковій стадії формування аварій, неможливо. Результативним розрахункам

піддаються тільки стаціонарні післяаварійні режими, які формуються після виникання одиничних відмов або випадкових збігів відмов елементів мережі[3].

1.5. Постановка задачі

Одним з основних завдань експлуатованих теплоелектроцентралей є завдання забезпечення ефективного функціонування системи власних потреб станції. Поняття "ефективність" припускає найбільшу безвідмовність, зіставлену з раціональним рівнем експлуатаційних витрат. Основним фактором, що зменшує безвідмовність власних потреб діючих теплоелектроцентралей, є фізичний знос або старіння електрообладнання. Виконання ремонтних заходів, що регламентуються системою планових попереджувальних ремонтів, підвищує експлуатаційну безвідмовність обладнання. При цьому витрати на експлуатацію обладнання можна зменшити, використовуючи діагностичні засоби в складі ремонтних заходів[4].

В основу аналітичних методів оцінки і аналізу безвідмовності системи власних потреб покладені поняття і методи теорії випадкових імпульсних потоків, теорії ймовірностей і математичної статистики, теорії надійності, методи планування і проведення експериментальних досліджень.

Метою роботи є підвищення надійності і ефективнішого функціонування системи власних потреб теплоелектроцентралей, обґрунтоване математичним моделюванням. В ході роботи будуть порівняні методи оцінки надійності структурних схем електростанцій. Запропоновані методи оцінки надійності системи власних потреб з урахуванням впливу його роботи на процес вироблення енергії теплоелектроцентральною і впливу діагностик і ремонтів дозволяють на стадії експлуатації теплоелектроцентралей аналітичними методами розраховувати безвідмовність обладнання власних потреб; визначати

раціональну частоту діагностик і попереджувальних ремонтів обладнання; формувати графік та обсяги профілактичних ремонтів, технічного обслуговування і ревізій електрообладнання системи; оцінювати рівень безвідмовності вироблення енергії ТЕЦ обумовлений функціонуванням системи власних потреб; обчислювати витрати на експлуатацію обладнання власних потреб; приймати рішення по модернізації обладнання, заміну його новим і використанню новітніх засобів діагностики. Це дозволяє знизити витрату матеріалів, запасних частин і зменшити чисельність обслуговуючого персоналу. Оцінка надійності функціонування дає можливість розрахувати значення потенційних економічних втрат теплоелектроцентралями, викликані недовідпуском енергії споживачам та витратами на відновлення електрообладнання в будь-який електротехнічної підсистемі.

Крім порівняння методів оцінки надійності, в роботі буде виконана оцінка надійності роботи власних потреб теплоелектроцентралі в трьох режимах – в нормальному режимі; в аварійному режимі(відмова однієї з секцій власних потреб); під час виконання ремонту трансформатора власних потреб.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Проблема надійності завжди займає центральне місце в функціонуванні і плануванні розвитку енергетичних систем і електростанцій. На ТЕЦ працює велика кількість механізмів власних потреб, відмова яких може спричинити зупинку електростанції. Тому до надійності роботи власних потреб ставлять досить високі вимоги. Споживачі власних потреб належать до 1-ї категорії надійності, серед них є особливо відповідальні споживачі, живлення яких резервується. Також резервується частина цих механізмів. Надійність власних потреб забезпечується на стадії проектування, експлуатації та ремонту.

2. ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

2.1. Методи розрахунку надійності

Розрахунок надійності установки можна виконати:

- логіко-ймовірносним методом за допомогою дерева відмов;
- аналітичним методом на основі ймовірносної моделі;
- методом мінімальних перерізів;
- таблично-логічним методом;
- методом марківських випадкових процесів.

Серед електроенергетичних установок можна виділити установки високої, середньої і низької надійності. Установки високої надійності (наприклад, системи електропостачання споживачів особливої групи I категорії по ПУЕ) за рахунок добре розвиненого резервування забезпечують високий рівень безвідмовності.

Причини, що призводять до відмови установки високої надійності, можуть бути визначені на основі експертних висновків і носять досить різноманітний характер. Для опису логіки можливих складних подій, що призводять до відмови такої установки, використовується метод дерева відмов.

Установки низької надійності (наприклад, системи електропостачання споживачів III категорії, електричні машини, апарати) не мають надлишкових елементів. Для розрахунку надійності таких установок аналітичним шляхом використовуються моделі старіння і зносу, моделі спрацювання ресурсу, марковські моделі надійності систем з відновленням.

Установки середньої надійності мають невисоку надмірність структури. Безвідмовність і відновлюваність їх забезпечуються засобами управління,

захисту та автоматики, а також своєчасною профілактикою. До таких установок відносяться системи електропостачання споживачів I і II категорій, головні схеми та схеми власних потреб електричних станцій і підстанцій, розподільні мережі. При найпростіших схемах з послідовним і паралельним включенням елементів можливе використання аналітичних виразів із загальної теорії надійності і поетапне еквівалентування ланцюгів.

В даний час вже не доводиться доводити необхідність чисельної оцінки надійності роботи головної схеми і надійності видачі потужності в енергосистему. Встановилися загальноприйняті показники надійності у вигляді частоти різних аварій і математичного очікування недовідпуску енергії споживачам або зниження вироблення енергії станцією. Виявилися фактори, які необхідно враховувати при аналізі надійності роботи станції або підстанції: наявність ремонтних схем комутації і тривалість ремонтів основного устаткування і комутаційної апаратури, відмови комутаційної апаратури і пристроїв релейного захисту та електроавтоматики, оперативні переключення, сезонна зміна пошкоджуваності повітряних ліній і обладнання зовнішньої установки, відсутність достовірної вихідної інформації про надійність елементів при розгляданні конкретної установки[5].

2.1.1. Логіко-ймовірнісний розрахунок за допомогою дерева відмов

Логіко-ймовірнісний метод розрахунку надійності з використанням дерева відмов є дедуктивним методом і застосовується в тих випадках, коли число різних видів відмов системи є невеликим. Основи цього методу використовуються при розрахунках надійності електропостачання секцій 6-0,4 кВ власних потреб електростанцій.

Застосування дерева відмов для опису причин відмови системи полегшує перехід від загального визначення відмови системи до місцевих визначень

відмов і режимів роботи її елементів, зрозумілим фахівцям - розробникам як самої системи, так і елементів. Перехід від дерева відмов до логічної функції відмови відкриває можливості для аналізу причин відмови системи на формальній основі. Логічна функція відмови дозволяє отримати формули для аналітичного розрахунку частоти і ймовірності відмов системи за відомою частотою та ймовірністю відмов елементів. Використання аналітичних виразів при розрахунку показників надійності дає підставу до застосування формул теорії точності для оцінки середньоквадратичної похибки результатів.

Позначимо через \bar{X} множину непрацездатних станів об'єкта, а через \bar{Z} - множину зовнішніх впливів, які приводять до відмови об'єкту. Відмова функціонування об'єкта як складна подія є сумою події відмови працездатності об'єкта \bar{x} і події \bar{z} , що складається в появі критичних зовнішніх впливів. Умови виникнення такої відмови запишуться як диз'юнкція ($\bar{y} = \bar{x} \vee \bar{z}$).

Умови відмови функціонування системи формуються спеціалістам в області даних, конкретних систем. Запис умов відмови як складної події має вигляд:

$$\bar{Y} = \bigcup_{k=1}^N S_k; \quad (2.1)$$

$$S_k = \bigcap_{i \in I_k} \bar{y}_i \bigcap_{j \in J_k} \tilde{y}_j, \quad (2.2)$$

де S_k , - мінімальна сукупність станів і подій, яка призводить до відмови k-го виду; \tilde{y}_j - непрацездатний стан j-го елемента; \bar{y}_i - подія відмови i-го елемента; I_k - множина відмов, що можуть призвести до k-ї відмови системи; J_k - множина станів системи, в яких можлива відмова k-го виду.

Для позначення диз'юнкції N мінімальних перетинів і кон'юнкцій ряду подій і станів використовуються записи:

$$\bigcup_{k=1}^N, \bigcap_{i \in J_k}, \bigcap_{j \in J_k}.$$

Формулювання подій і станів (\bar{y}, \tilde{y}) , також умов 2.1 і 2.2 здійснюється фахівцями на основі технічного проекту системи та аналізу її функціонування при виникненні різних подій. Зручно словесний запис диз'юнкції і кон'юнкції поєднувати зі знаками логічних операцій \vee або \wedge в графічній формі – в виді дерев відмов.

Відмова системи визначається як стан або подія, зв'язана з невиконанням заданих функцій при відомих обставинах. На діаграмі це визначення міститься в формі словесного запису (висловлювання) зверху листа і обводиться рамкою. Висловлювання може бути кінцевим, проміжним або первинним. Кінцеве висловлювання дерева обводиться подвійною рамкою, інші - одинарною. Висловлювання може бути простим або складним. Просте висловлювання відноситься до події або стану, які самі не розглядаються ні як логічна сума (АБО), ні як логічний добуток(І) інших подій або станів. Прості висловлювання позначаються цифровим або літерним кодом, яке поміщається в кружечок. Складне висловлювання, представляє собою кон'юнкцію декількох висловлювань (простих або складних), позначається на діаграмі оператором І, що зв'язує висловлювання нижчого рівня з висловлюванням вищого рівня.

Складні висловлювання позначаються на діаграмі цифровим або літерним кодом. Якщо таке висловлювання розташовується на верхньому рівні намальованого дерева (на виході діаграми), то код укладається в трикутник. Складне висловлювання може вводиться в іншу діаграму на будь-якому рівні, крім вихідного, також за допомогою коду, укладеного в трикутник.

Зручно кодувати висловлювання так, щоб по коду можна було б судити в тому, просте воно чи складне, на якому рівні дерева від кінцевого висловлювання розташовується і що собою представляє (подія, стан, відмова спрацювання, тип елемента).

Побудова дерева відмов починається з формулювання кінцевого висловлювання про відмову системи. Для характеристики безвідмовності системи кінцеве висловлювання відносять до події, яка призводить до порушення функціонування в розглянутому інтервалі часу при заданих умовах, безвідносно до будь-якого моменту часу. Для характеристики готовності кінцеве висловлювання відносять до стану, в якому неможливе функціонування системи в заданому обсязі при заданих умовах в розглянутому інтервалі часу в будь-який довільно обраний момент часу.

Кінцеве висловлювання визначається висловлюванням другого рівня. Спочатку виявляється можливість реалізації події або стану кінцевого рівня як диз'юнкція простих висловлювань другого рівня. При диз'юнкції висловлювань кінцевого і другого рівнів неприпустимо пов'язувати події і стани. В тому випадку, якщо неможлива реалізація подій або станів кінцевого рівня в результаті диз'юнкцій простих висловлювань другого рівня, виявляються диз'юнкції складних висловлювань, що визначають реалізацію кінцевого. Може виявитися, що прості і складні висловлювання не формують кінцеве висловлювання за допомогою диз'юнкції, тоді визначаються кон'юктивно пов'язані події або стани. У таких випадках кінцеве висловлювання може реалізуватися результатом збігу в часі двох і більше подій; виникнення події або декількох подій під час існування стану, накладення двох і більше станів.

Після запису висловлювань другого рівня про події, станах і відмовах спрацювання з'ясовується, які з них є простими, а які складними. Для складних висловлювань другого рівня визначаються висловлювання третього

рівня і їх логічні зв'язку (АБО, І) в тому ж порядку, як для висловлювання другого і кінцевого рівнів. Процес запису висловлювань і логічних зв'язків продовжується до тих пір, поки на всіх рівнях не залишаться одні прості висловлювання, що розкривають зміст вищерозташованих висловлювань і які відносяться до подій, станів і відмов спрацьовування.

Зручно при побудові дерева кожен рівень зображати на окремому аркуші. Потім, якщо не дуже складні дерева, можна побудувати на великому аркуші дерево повного виду. Дерево відмов повного виду записується за допомогою кодів і логічних операторів без словесних опису.

Логічна умовна реалізації події або стану кінцевого рівня в формі функції відмови записується за допомогою знаків логічного множення і складання і кодів первинних подій. Формування функції відмови починається з самого нижнього рівня дерева відмов, де всі висловлювання прості.

У разі диз'юнкції простих висловлювань a , b , c проміжне складне висловлювання записується як:

$$A = a + b + c \equiv a \vee b \vee c.$$

У разі кон'юнкції простих висловлювань проміжне складне висловлювання записується як:

$$B = abc \equiv a \wedge b \wedge c.$$

На наступному, більш високому рівні записуються кон'юнкції і диз'юнкції як простих, так і складних висловлювань:

$$AB, A + B, Acd, A + c + d, Bc + cd \quad \text{і т.д.}$$

Підстановка виразів для складних висловлювань дає можливі комбінації простих на даному рівні дерева. З отриманих комбінацій скорочуються

(відкидаються) однакові, крім однієї. Скорочуються також всі комбінації, що містять в собі з меншим числом членів. Потім записуються кон'юнкції і диз'юнкції складних подій зі станів наступного, більш високого рівня і формуються комбінації простих висловлювань на цьому рівні. Скорочення комбінацій проводиться за тими ж правилами. Продовжуючи операції формування і скорочення комбінацій висловлювань на всіх рівнях аж до кінцевого, отримуємо суму взаємовиключаючих (несумісних) висловлювань про способи реалізації кінцевої події або стану.

Кожна з комбінацій, що входять в функцію відмови, представляє собою k-ий мінімальний переріз відмови системи, сформульованого в кінцевому висловлюванні, і являється кон'юнкцією, порядок якої дорівнює числу членів (простих висловлювань). При визначенні практично можливих шляхів відмови слід відкинути кон'юнкції більш високого порядку, якщо їх порядок вдвічі перевищує порядок залишаються. Наприклад, функція відмови $ab + cd + ghk + mnsq + cdm$ скорочується до $ab + cd + ghk$.

У схемах електропостачання власних потреб електростанцій відмовами системи є погашення одного або декількох вузлів живлення (секцій шин, щитів) споживачів. Позначимо короткочасні погашення вузлів $u_{o.n.}$ в тривалі – $u_{в.р.}$, вважаючи короткочасним погашення на час оперативних перемикань, а тривалим - погашення на час відновлювального ремонту або заміни обладнання. До короткочасним погашень приводять відмови і пошкодження комутаційної апаратури, ліній та інших елементів, при умові що вони можуть бути від'єднані від вузла за допомогою рубильників або роз'єднувачів і живлення може бути відновлено шляхом ручних перемикань в схемі. До тривалих погашень призводять відмови і пошкодження самих вузлів і комутаційних апаратів, а також інших елементів, які не мають роз'єднувачів або рубильників між ними і вузлом.

Крім елементарних подій до погашень призводять такі складні події, як відмова комутаційного апарату в відключенні пошкодженого елемента або у включенні резервного, відмова одного елемента під час ремонту резервного. Тривалість такого погашення визначається схемою і можливістю перемикань.

Елементарні події і стани позначаються латинськими літерами. Як і вище, для позначення стану використовується хвиляста лінія над буквою, для позначення подій відмови спрацювання - індекс «о. с»; над символом події відмови для спрощення запису ризика не ставиться. Оцінка частоти виникнення подій $\lambda(x)$ і середньої тривалості станів $\tau(x)$ окремих елементів електричних схем наведено табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Показники надійності елементів системи електропостачання власних потреб

Елемент схеми електричних з'єднань	$\lambda(x)$, рік ⁻¹	$\tau(x)$, рік
Акумуляторна батарея	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-3}$	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$
Автоматичний вимикач 0,4 кВ	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-4}$
Кабельна лінія	$(5 \pm 2) \cdot 10^{-3}$	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$
Випрямляючий пристрій 0,4/0,22 кВ	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}$	$(0,2 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$
Секція збірних шин 6 кВ	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-3}$	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$
Дизель-генератор 6 кВ	$(2 \pm 0,5) \cdot 10^{-2}$	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-2}$
Генератор	$1 \pm 0,5$	$(2 \pm 0,5) \cdot 10^{-2}$
Вимикач 6 кВ	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-3}$	$(1 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$
Тиристорний ключ	$(5 \pm 4) \cdot 10^{-3}$	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}$
Високовольтний двигун	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-3}$
Низьковольтний двигун	$(5 \pm 2) \cdot 10^{-3}$	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$
Перемикач, рубильник	$(5 \pm 4) \cdot 10^{-5}$	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-4}$
Тиристорний перетворювач	$(5 \pm 4) \cdot 10^{-2}$	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-4}$
Автомат постійного струму	$(0,5 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-4}$
Робочий трансформатор ВП	$(1 \pm 0,5) \cdot 10^{-3}$	$(5 \pm 2) \cdot 10^{-3}$
Блочний трансформатор 330 – 750 кВ	$(5 \pm 2) \cdot 10^{-2}$	$(2 \pm 0,5) \cdot 10^{-2}$
Резервний трансформатор ВП	$(5 \pm 4) \cdot 10^{-4}$	$(1 \pm 0,2) \cdot 10^{-2}$
Трансформатор 6/0,4 кВ	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-4}$	$(3 \pm 1) \cdot 10^{-3}$
Струмообмежуючий реактор	$(1 \pm 0,2) \cdot 10^{-2}$	$(6 \pm 3) \cdot 10^{-3}$

Функції відмови $\bar{Y}(u)$ формуються шляхом виконання вказаних в дереві відмов операцій логічного додавання і множення над символами (кодами) елементарних подій і станів, починаючи з нижнього рівня. В результаті функції відмови для $u_{o.p.}$ і $u_{v.p.}$ будуть представлені сумою (диз'юнкцією) кон'юнкцій першого порядку (елементарних подій) і кон'юнкцій другого порядку (добутком двох подій, добутком події і стану):

$$\bar{Y}(u) = \bigcup_i y_i \bigcup_k (y_k \wedge x_{o.c.k}) \bigcup_{ij} (y_i \wedge \tilde{y}_j) \bigcup_{ji} (y_i \wedge \tilde{y}_j). \quad (2.3)$$

Переходячи від логічних функцій для подій погашення вузлів до виразів для розрахунку частоти і тривалості погашень, необхідно лише замінити знаки « \wedge » на знаки « \times », знаки « \vee » на знаки « $+$ », а символи y на $\lambda(y)$, $x_{o.c.}$ на $Q_{o.c.}$, \tilde{y} на $q(\tilde{y})$. При цьому ймовірності:

$$Q(x_{o.c.}) = 1/N_{o.c.}; \quad q(\tilde{y}) = \lambda(y) \tau(\tilde{y}),$$

де $N_{o.c.}$ - напрацювання на відмову, виражена середнім числом спрацювань до відмови.

Вираз для оцінки частоти погашень має вигляд:

$$\Lambda(u) = \sum_i \lambda(y_i) + \sum_k \lambda(y_k) Q(x_{o.c.k}) + \\ + \sum_{ij} \lambda(y_i) q(\tilde{y}_j) + \sum_{ji} \lambda(y_i) q(\tilde{y}_j), \quad (2.4)$$

для оцінки ймовірностей станів (відносної тривалості погашення):

$$q(u) = \sum_i \lambda(y_i) \tau(\tilde{y}_i) + \sum_k \lambda(y_k) Q(x_{o.c.k}) \tau \times \\ \times (y_k \wedge x_{o.c.k}) + \sum_{ij} \lambda(y_i) q(\tilde{y}_j) \tau(y_i \wedge \tilde{y}_j) + \\ + \sum_{ji} \lambda(y_i) q(\tilde{y}_j) \tau(y_i \wedge \tilde{y}_j), \quad (2.5)$$

де $\tau(y_k \wedge x_{o, c k})$ - середній час відновлення живлення при відмові у відключенні пошкодження на приєднанні; $\tau(y_i \wedge \tilde{y}_i)$ - середній час відновлення живлення при накладенні пошкодження одного ланцюга на аварійний простой іншого ланцюга.

При можливості відновлення живлення шляхом оперативних перемикачів час відновлення приймається від 6 до 30 хв і відповідна кон'юнкція переводиться в функцію відмови для $u_{o.п.}$. В іншому випадку кон'юнкція включається в функцію відмови для $u_{в.р.}$.

Вихідними даними для розрахунків $\Lambda(u)$ і $q(u)$ є оцінки середніх значень $\lambda(y)$, $\tau(\tilde{y})$ і $Q(x_{o.c.})$. Для елементів схем електропостачання, наведені в табл. 3.1. Середньоквадратичні похибки σ цих оцінок прийняті такими, що оптимістична оцінка середнього значення частоти відмов виходить при відніманні $\sigma \lambda$ із $\lambda(y)$, а песимістична - при додаванні $\sigma \lambda$ і $\lambda(y)$. Для показника τ і Q при додаванні виходить також песимістична оцінка, а при відніманні - оптимістична. Відносна похибка становить від 20 до 80%, причому менші оцінки мають більшу похибку, що в якійсь мірі відображає недостатність статистичних даних про високонадійні елементи.

Визначення середньоквадратичних похибок оцінки $\Lambda(u)$ і $q(u)$ засновано на рівняннях теорії точності для дисперсії суми, добутку і логарифма випадкових величин:

$$\begin{aligned}\sigma^2(A \pm B) &= \sigma^2(A) + \sigma^2(B); \\ \frac{\sigma^2(AB)}{A^2 B^2} &= \frac{\sigma^2(A)}{A^2} + \frac{\sigma^2(B)}{B^2}; \\ \frac{\sigma^2(A/B)}{A^2/B^2} &= \frac{\sigma^2(A)}{A^2} + \frac{\sigma^2(B)}{B^2}; \\ \sigma^2(\ln A) &= \sigma^2(A)/A^2\end{aligned}\tag{2.6}$$

Результати з оцінкою їх похибки видаються в формі:

$$\Lambda(u) \pm \sigma_{\Lambda} \text{ и } q(u) \pm \sigma_q.$$

2.1.2. Аналітичний метод розрахунку на основі ймовірносних моделей

Устаткування електроенергетичних установок через деякий час відмовляє. Математичний опис процесу виникнення відмови називається моделлю відмов. У більшості випадків елементи установок, які відмовили, відновлюються. Включення в роботу резервних елементів дозволяє відновити обладнання без припинення функціонування установки. Відновлення та профілактика устаткування не виключають можливості відмов установки, але в значній мірі знижують їх вірогідність, тобто підвищують надійність. Математичний опис процесів виникнення відмов з урахуванням відновлення і профілактики називається моделлю надійності. Моделі відмов і моделі надійності використовуються для розрахунку показників надійності.

На рис. 2.1 показана крива залежності інтенсивності відмов $\lambda(t)$ від часу експлуатації, типова для багатьох елементів електротехнічного і електронного обладнання. Характер цієї кривої в значній мірі залежить від періоду експлуатації. Весь інтервал часу роботи можна розбити на три ділянки.

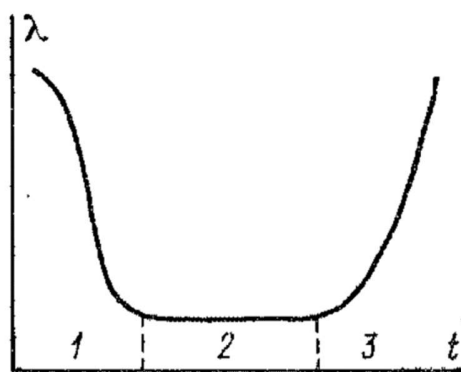


Рис. 2.1 - Залежність інтенсивності відмов від часу експлуатації

На першому інтервалі функція (1) має підвищені значення. Це пов'язано з тим, що у великій партії завжди є вироби з прихованими дефектами, що

виходять ладу незабаром після початку роботи. З цієї причини перший період називають періодом припрацювання або періодом «випалювання» дефектних виробів. Другий період називають періодом нормальної роботи. Він характеризується постійною або приблизно постійною інтенсивністю відмов. Останній період - період старіння. Незворотні фізико-хімічні явища призводять до погіршення якості матеріалів і деталей. У цей період інтенсивність відмов зростає.

Дана картина зміни інтенсивності відмов є типовою. Однак є обладнання, у якого система контролю перед введенням в експлуатацію відсіює майже всі дефектні елементи. Є елементи, які протягом терміну служби не старіють. У більшості елементів є тривалий період, протягом якого інтенсивність відмов практично постійна. Крім того, період припрацювання можна не розглядати як нормальну експлуатацію і виводити обладнання в профілактичний ремонт раніше, ніж почнеться помітне старіння його елементів. У таких випадках для якогось відрізка часу можна прийняти $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$. При цій умові ймовірність безвідмовної роботи:

$$P(t) = \exp(-\lambda t); \quad (2.7)$$

ймовірність відмови:

$$Q(t) = 1 - \exp(-\lambda t); \quad (2.8)$$

середній час безвідмовної роботи (середнє напрацювання до відмови)

$$\bar{t}_0 = 1/\lambda; \quad (2.9)$$

дисперсія середнього часу безвідмовної роботи

$$D[\bar{t}_0] = 1/\lambda^2. \quad (2.10)$$

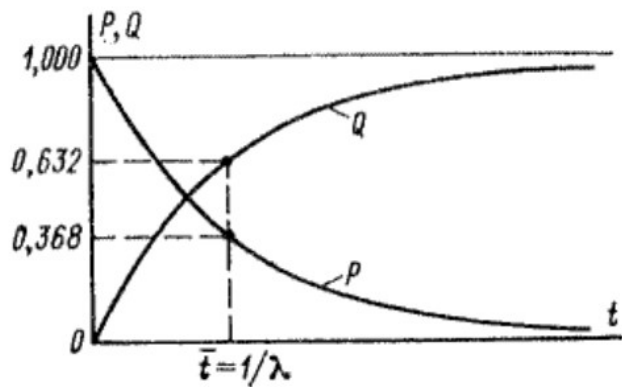


Рис 2.2 - Ймовірність відмови і безвідмовної роботи при експоненціальному законі розподілу

Графіки функцій $Q(t)$ і $P(t)$ наведені на рис. 2.2. Закон, який виражений формулою 2.8, називається експоненціальним. Основна його властивість полягає в тому, що ймовірність безвідмовної роботи не залежить від тривалості попередньої роботи, а залежить тільки від тривалості аналізованого інтервалу часу. Тобто, майбутня поведінка об'єкта не залежить від минулої, якщо в даний момент він працездатний. Це властивість є характеристичною, тобто якщо об'єкт їм володіє, то закон розподілу часу безвідмовної роботи експоненціальний, а потік відмов - найпростіший. Найпростіший потік характеризується як ординарний стаціонарний потік без післядії.

Потік вважається ординарним, якщо ймовірність виникнення двох і більше подій в один і той же момент часу нескінченно мала:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{k=2}^{\infty} P_k(t + \Delta t) = 0. \quad (2.11)$$

Потік відмов якого-небудь одного елемента установки є ординарним. Потік відновлень для елемента установки також ординарний.

Потік подій вважається стаціонарним, якщо його ймовірностний режим не змінюється в часі, тобто ймовірність відмов в інтервалі $(t, t + \Delta t)$ залежить тільки від Δt . Для стаціонарного потоку $\omega(t) = \lambda = \text{const}$.

Потік відмов (або інших подій) вважається потоком без післядії, якщо для будь-яких неперекриваючих інтервалів часу число подій в одному з них не залежить від числа подій в попередніх інтервалах. Ординарні потоки без післядії називаються пуасоновськими, і, отже, найпростіший потік - це стаціонарний пуасоновський потік.

Якщо обладнання або установка складається з великого числа частин, кожна з яких може відмовити лише з малою імовірністю (сума ймовірностей більше одної відмови нескінченно мала) і відмови різних частин взаємно незалежні, то сумарний потік відмов буде близьким до найпростішого. У добре спроектованій і правильно експлуатованій технічній системі, з профілактичним обслуговування у встановлені терміни, потік відмов найпростіший.

Нестаціонарність потоку відмов у окремих елементів електроенергетичних установок викликана наявністю припрацьовочного періоду, старінням ізоляції, зносом і розрегулюванням механічних частин і т.д. Високовольтне обладнання має також сезонну нестаціонарність потоку відмов, пов'язану з грозами, ожеледдю, зсувами, міграцією птахів і тварин[5].

Для нестаціонарного пуасоновського потоку математичне очікування числа подій в інтервалі (t_1, t_2)

$$a = \int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt; \quad (2.12)$$

Для стаціонарного пуассоновського потоку

$$a = \lambda t. \quad (2.13)$$

Закон Пуассона дає вираз для ймовірності появи m подій за час t :

$$P_m(t) = a^m \exp(-a)/m! \quad (2.14)$$

Звідси ймовірність безвідмовної роботи (при $m=0$):

$$P(t) = \exp(-a). \quad (2.15)$$

2.1.3. Метод мінімальних перерізів

Електричні схеми не завжди є звичайним послідовно-паралельним з'єднанням елементів. Існують й більш складні схеми, в яких елементи з'єднані так, що паралельно-послідовне спрощення виконати неможливо.

Одним з методів розрахунку показників надійності таких схем є метод мінімальних перерізів.

Перерізом певної складної схеми називається така група елементів, одночасна відмова яких призводить до розривання всіх шляхів, які з'єднують вхід та вихід схеми.

Мінімальними серед множини всіх перерізів схеми називають перерізи, утворені мінімальним набором елементів, тобто які у разі видалення з них певного елемента вже не будуть перерізами. У такому випадку надійність послідовно з'єднаних мінімальних перерізів схеми визначає нижню межу її надійності. Тобто, для визначення надійності початкової складної схеми її

необхідно перетворити на еквівалентну схему, яка буде складатися з послідовного з'єднання всіх мінімальних перерізів схеми, кожний з яких, у свою чергу, являє собою паралельне з'єднання елементів схеми, що утворюють цей мінімальний переріз.

Застосовуючи теорію графів визначають мінімальні перерізи цієї складної схеми.

Початкова схема зображується у вигляді замкненого графу, який має один вхід та один вихід. Вхід графу потрібно обрати таким, щоб його надійність була набагато вищою, ніж надійність початкової схеми, а вихід – розрахунковою точкою визначення надійності. Ребра графу утворюють елементи схеми з відомою надійністю. Завданням пошуку мінімальних перерізів - це побудова всіх дерев графу. Для цього до входу графу один за одним приєднують вершини, які безпосередньо зв'язані з попереднім деревом (за винятком виходу).

Розглянемо на прикладі структури, схему якої наведено на рис. 2.3, реалізацію алгоритму пошуку мінімальних перерізів.

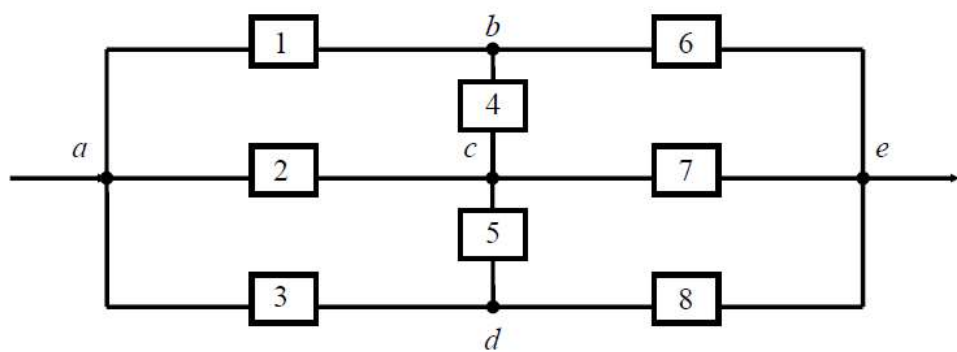


Рис. 2.3 - Приклад складної структури електричної мережі

1. Складаємо матрицю безпосередніх зв'язків вершин та відповідних ребер графу (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Матриця безпосередніх зв'язків вершин та ребер графу

Вершини	Ребра, зв'язані з вершиною
a	1 2 3
b	1 4 6
c	2 4 5 7
d	3 5 8
e	6 7 8

2. Складаємо масив M дерев графу за допомогою послідовного приєднання до дерева вершин M_{i+1} , безпосередньо зв'язаних з однією з вершин, що належать до M_i -го дерева. Перше M_1 дерево – це безпосередньо вершина a . До неї приєднуємо вершини b, c і d , що утворюють дерева ab, ac та ad ; до дерева ab – вершину d , котра має безпосередній зв'язок із вершиною a дерева M_2 . Отримуємо M_3 – дерево abd . Аналогічно приєднуємо всі вершини за винятком останньої вихідної вершини e , тобто виходу графу. Отримуємо масив M дерев графу: $a, ab, ac, ad, abc, acd, abd, abcd$.

3. Для кожного M дерева графу знаходимо перерізи. Приклад пошуку перерізів для заданого графу подано у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Алгоритм пошуку мінімальних перетинів складної електричної мережі

М-дерево	a	ab	ac	ad	abc	abd	acd	abcd
	123	123	123	123	123	123	123	123
Ребра		146	2457	358	146	146	2457	146
					2457	358	358	2457

								358
Перетини	123	2346	13457	1258	3567	24568	1784	678

Будуючи перерізи, ребра, які входять у відповідну сукупність ребер дерева парну кількість разів, вилучаємо; решту ребер, що утворюють переріз, записуємо у нижньому рядку таблиці.

4. Отримані перерізи мінімальні. Всі перерізи відтворюємо у міру збільшення кількості елементів. Після цього уточнюємо, чи немає у перерізах з більшою кількістю елементів перерізів з меншою кількістю елементів. Тоді переріз з більшою кількістю елементів усуваємо.

Отже, для заданої схеми мінімальні перерізи такі: 123; 1478; 678; 1258; 2346; 3567; 13457 та 24568.

5. Складаємо еквівалентну розрахункову схему, яка є сукупністю послідовно з'єднаних мінімальних перерізів (рис. 2.4). Надійність такої схеми заміщення буде не меншою, ніж початкова.

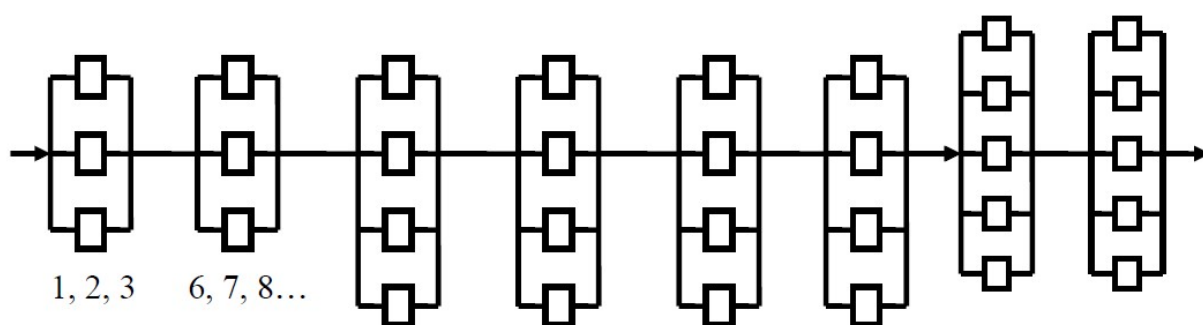


Рис. 2.4 - Розрахункова схема складної електричної мережі

6. Знаходимо показники надійності перерізів (як паралельне з'єднання), а також показники надійності всієї еквівалентної схеми.

2.1.4. Таблично-логічний метод розрахунку

Таблично-логічний метод дозволяє робити почерговий розгляд відмов елементів схем з виявленням їх наслідків в нормальному і ремонтному режимах. Побудова таблиці подій і станів організовує цілеспрямований перебір відмов і непрацездатних станів елементів схеми.

Таблиця 2.4 – Параметри і ідентифікатори

Параметр	Позначення	Ідентифікатор
Частота відмов елемента	ω_i	W(J)
Відносна частота відмов вимикача	a	O
Час відновлення елемента	T_{bi}	TB(J)
Тривалість планового ремонту	T_{pi}	TR(J)
Частота планових ремонтів	ui	UM(J)
Тривалість оперативних переключень: -при відмові одного елемента -при одночасній відмові двох елементів	T_{Π} T	T TP
Тривалість усунення пошкоджень при ремонті одного елемента і відмові другого	$T_{b,pi}$	TBP(J)
Ймовірність стану відмови елемента: -в нормальному режимі -в ремонтному режимі	P_i^H P_i^P	RV(k) RR(k)
Ймовірність одночасної відмови двох елементів: -в нормальному режимі -в ремонтному режимі	P_{2i}^H P_{2i}^P	RVD(k) RRD(l)

Ймовірність стану відмови схеми: -в нормальному режимі -в ремонтному режимі	P_{cx1}^H P_{cx1}^P	SH SR
Кількість вимикачів, які ремонтуються	n	NH(k)
Ймовірність стану відмови схеми при одночасному відключенні двох елементів: -в нормальному режимі -в ремонтному режимі	P_{cx2}^H P_{cx2}^P	SHD SRD
Ймовірність ремонтного режиму вимикача	P_B^P	PR
Ймовірність нормального режиму	P^H	PN(k)
Ймовірність ремонтного режиму	P^P	PR(k)
Умовний недовідпуск електроенергії	ΔW	DW
Коефіцієнт, який враховує максимум графіку навантаження	k_{max}	OK
Потужність блоку	$P_{бл}$	PB
Втрати через недовідпуск електроенергії	Y	U
Капіталовкладення	K	CK
Приведені затрати	Z	Z

В таблиці по рядках перераховуються стану системи (енергоустановки), пов'язані з відмовами або ремонтами окремих елементів (і). По стовпцям перераховуються елементи мережі (j), відмови яких розглядаються(PE). Якщо потрібно врахувати накладення непрацездатних станів трьох елементів, то складаються додаткові таблиці. У місцях перетину рядків і стовпців фіксують імовірносні показники наслідків відмов: середню тривалість (T_{ij}); генеруючу потужність ΔP_G , яка втрачається та ін.

У підсумку, використовуючи дані таблиці, визначають сумарну тривалість кожної з розрахункових аварійних ситуацій за рік $\sum \omega_{ij} T_{ij}$

Якщо в місцях перетину позначено відсутність або наявність зв'язків подій, то табличний метод являє собою не що інше, як упорядкований метод відшукування поєднань елементів, що утворюють мінімальні перерізи. Табличний метод зручний і простий для розрахунків відносно невеликих систем при обліку накладень непрацездатних станів до двох елементів.

У розрахунках надійності схем електричних з'єднань таблично-логічним методом враховуються такі обставини.

1. Приймається власна частота відмов вимикачів в статичному стані і під час оперативних перемикачів за виразом

$$\omega_{в.соб} = \omega_{в.ст} + \omega_{в.оп} = \omega_{в.ст} + a_{оп} N_{оп}, \quad (2.16)$$

де $\omega_{в.ст} = 0,2\omega_{в}$ - частота відмов вимикача в статичному стані;

$$N_{оп} = N_{ц}(\mu + \mu_{реж} + \omega_{пр1}) + (N_{ц} - 1) \omega_{пр2} (1 - a_{кз}) \quad (2.17)$$

- число операцій з вимикачами без урахування автоматичного відключення КЗ, причому $N_{\mu} = 2$ при комутації приєднання через один вимикач, $N_{\mu} = 4$ - через два вимикача; $\omega_{в}$ - частота відмов вимикача за довідковими даними; $\omega_{пр}$ - частота відмов приєднань; $\mu, \mu_{реж}$ - частоти планових та режимних відключень приєднань; $a_{оп}, a_{кз}$ - відносні частоти відмов вимикачів під час оперативних перемикачів і автоматичному відключенні.

2. Сумарне значення частоти відмов вимикачів

$$\omega_{в} = \omega_{в.соб} + a_{оп} N_{оп} + a_{кз} \omega_{пр}. \quad (2.18)$$

3. Всі пошкодження вимикачів пов'язані з КЗ і призводять до двосторонньої відмови, тобто відключення суміжних елементів.

4. У таблицю вносяться показники надійності елементів, відмова яких призводить до втрати РЕ (вимикачі, лінії, системи збірних шин).

5. Стан схеми при планових і відновлювальних ремонтах розраховується за виразом

$$P^P = \sum_{i=1}^I (\omega_i T_{vi} + \mu_i T_{pi}) / 8760 \quad (2.19)$$

6. Імовірність нормального стану визначається за вираз $P^H - 1 - P^P$.

7. На перетині горизонтальних рядків (ч) і вертикальних стовпців (j) фіксують генеруючу потужність ΔP_r , яка втрачається, і середню тривалість аварії T_{ij} . Частота відмов обчислюється за виразами: $\omega_{ij} = \omega_i^{PH}$ - для елементів, $\omega_{ij} = a_{KZ} \omega_i^{PH}$ - для ліній електропередачі.

8. Значення T_{ij} визначають залежно від характеру відмови: T_v - при відновленні; T_{Π} - при оперативних переключеннях; $T_{v.p.} = T_v - T_v^2 / 2T_p$, - при накладенні відмови одного елемента на ремонт іншого.

9. За даними таблиці знаходиться інтегральне значення

$$P^H \sum \omega_{ij} T_{ij} \cdot \quad (2.20)$$

10. Потім розраховується умовний недвідпуск електроенергії через відмови елементів схеми електричних з'єднань за виразом

$$\Delta W = T_{уст} \Delta P_G \sum \omega_{ij} T_{ij} / 8760, \quad (2.21)$$

$$\text{де } T_{\text{уст}} = (W_3 N_3 + W_{\text{л}} N_{\text{л}}) / P_{\text{ном.г}} ;$$

$W_3, W_{\text{л}}$ - кількість виробленої електроенергії по зимовому та літньому добовими графіками навантаження; $N_3, N_{\text{л}}$ - кількість зимових і літніх діб; $\Delta P_{\text{Г}}$ - потужність, яка втрачається при відмовах[6].

2.1.5. Метод марківських випадкових процесів

Розглянемо модель надійності відновлюваного об'єкта, яка враховує зміну в часі ймовірностей його станів. Допустим, об'єкт складається з n елементів відповідно сполучених між собою. Елемент може знаходитись в одному із двох станів: робочому або неробочому. Зміна стану будь-якого елемента призводить до зміни стану об'єкта загалом.

Загальна кількість станів об'єкта дорівнює 2^n . Відмова чи відновлення будь-якого елемента призводить до переходу об'єкта з одного стану в інший. Процес зміни станів є випадковим.

Якщо для кожного моменту часу ймовірність будь-якого стану в майбутньому залежить тільки від стану в певний момент і не залежить від того, яким способом об'єкт прийшов у цей стан, то такий процес зміни станів називається марковським (Марков - російський математик, який першим дослідив такі процеси). Процес зміни станів стає марковським в тому випадку, якщо час безвідмовної роботи і час відновлення кожного елемента системи підпорядковуються експоненціальному закону розподілу, так як тільки в такому разі ймовірність відмови (відновлення) не залежить від попередньої тривалості роботи (відновлення). Марковський процес описується звичайними диференціальними рівняннями, де невідомими функціями є ймовірності станів.

Розв'язавши рівняння, тобто визначивши ймовірності станів, можна встановити показники надійності об'єкта.

Допустим, об'єкт складається з двох елементів. У будь-який момент часу він може перебувати в одному з чотирьох станів, які утворюють повний простір станів об'єкта:

- 1 – обидва елементи в робочому стані;
- 2 – перший елемент відмовив і відновлюється;
- 3 – другий елемент відмовив і відновлюється;
- 4 – обидва елементи відмовили і відновлюються.

Імовірності перебування системи в названих станах позначимо p_1, p_2, p_3, p_4 (рис. 2.5). Позначимо p_{ij} імовірність переходів системи зі стану i в стан j . Наприклад, імовірність p_{12} – це ймовірність відмови першого елемента за умови, що другий – у робочому стані, p_{43} – імовірність відновлення першого елемента при умові, що другий елемент відновлюється і т. д. Так як потік зміни станів ординарний, і в заданий момент часу може змінитися стан тільки одного елемента, то переходи між станами 1 і 4, 2 і 3 відсутні.

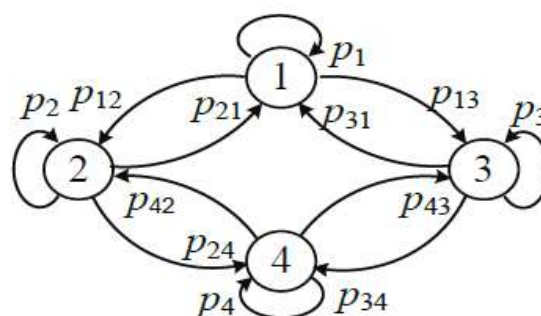


Рис. 2.5 - Граф переходів у просторі станів об'єкта

На основі графа переходів складемо рівняння, які зв'язують ймовірності станів об'єкта на початку і в кінці інтервалу часу $(t, t+\Delta t)$ з урахуванням ймовірностей переходів із стану в стан за проміжок часу Δt .

$$\begin{aligned} p_1(t + \Delta t) &= p_1(t)(1 - (p_{12}(\Delta t) + p_{13}(\Delta t))) + p_2(t)p_{21}(\Delta t) + p_3(t)p_{31}(\Delta t); \\ p_2(t + \Delta t) &= p_2(t)(1 - (p_{21}(\Delta t) + p_{24}(\Delta t))) + p_4(t)p_{42}(\Delta t) + p_1(t)p_{12}(\Delta t); \\ p_3(t + \Delta t) &= p_3(t)(1 - (p_{31}(\Delta t) + p_{34}(\Delta t))) + p_4(t)p_{43}(\Delta t) + p_1(t)p_{13}(\Delta t); \\ p_4(t + \Delta t) &= p_4(t)(1 - (p_{42}(\Delta t) + p_{43}(\Delta t))) + p_3(t)p_{34}(\Delta t) + p_2(t)p_{24}(\Delta t). \end{aligned} \quad (2.22)$$

Перше рівняння цієї системи можна пояснюється наступним чином: ймовірність того, що об'єкт у момент часу $t+\Delta t$ буде перебувати у першому стані, дорівнює ймовірності того, що він перебуває в момент часу t у цьому стані і не перейде за час Δt у другий чи третій стани, плюс ймовірність того, що в момент часу t об'єкт перебуває у другому чи третьому станах і за час Δt перейде в перший стан. Так само пояснюються решта рівнянь.

Ймовірність, що об'єкт перейде з одного стану в інший за час Δt визначається як ймовірність відмови чи ймовірність відновлення елемента за цей проміжок часу

$$p_{ij}(\Delta t) = 1 - \exp(-\lambda_{ij}\Delta t) = 1 - (1 - \lambda_{ij}(\Delta t) + \lambda_{ij}^2(\Delta t)^2 / 2! - \dots) = \lambda_{ij}\Delta t, \quad (2.23)$$

де λ_{ij} – інтенсивність переходу об'єкта зі стану i у стан j , значення якої дорівнює інтенсивності відмови λ або інтенсивності відновлення λ_B елемента, стан якого змінюється під час цього переходу.

Підставивши (2.23) у систему рівнянь (2.22) і після невеликих перетворень з урахуванням умови

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} (p_i(t + \Delta t) - p_i(t)) / \Delta t = dp_i(t) / dt \quad (2.24)$$

Отримаємо наступну систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} dp_1(t)/dt &= -(\lambda_{12} + \lambda_{13})p_1(t) + \lambda_{21}p_2(t) + \lambda_{31}p_3(t); \\ dp_2(t)/dt &= \lambda_{12}p_1(t) - (\lambda_{21} + \lambda_{24})p_2(t) + \lambda_{42}p_4(t); \\ dp_3(t)/dt &= \lambda_{13}p_1(t) - (\lambda_{31} + \lambda_{34})p_3(t) + \lambda_{43}p_4(t); \\ dp_4(t)/dt &= \lambda_{24}p_2(t) + \lambda_{34}p_3(t) - (\lambda_{42} + \lambda_{43})p_4(t). \end{aligned} \quad (2.25)$$

У матрично-векторній формі ця система рівнянь має такий вигляд:

$$d\vec{p}(t)/dt = \overset{\vee}{\Lambda} \vec{p}(t), \quad (2.26)$$

де $\vec{p}(t)$, $d\vec{p}(t)/dt$ – n-вимірні вектори ймовірностей станів та їх похідних; $\overset{\vee}{\Lambda}$ – матриця інтенсивностей переходів n-го порядку.

Для задачі, що розглядається:

$$\overset{\vee}{\Lambda} = \begin{vmatrix} -(\lambda_{12} + \lambda_{13}) & \lambda_{21} & \lambda_{31} & 0 \\ \lambda_{12} & -(\lambda_{21} + \lambda_{24}) & 0 & \lambda_{42} \\ \lambda_{13} & 0 & -(\lambda_{31} + \lambda_{34}) & \lambda_{43} \\ 0 & \lambda_{24} & \lambda_{34} & -(\lambda_{42} + \lambda_{43}) \end{vmatrix}. \quad (2.27)$$

Систему рівнянь (2.26) можна записувати на основі графа переходів, не здійснюючи пояснених вище перетворень, для об'єкта будь-якої структури відразу. Фактично потрібно тільки сформувати матрицю. Кожен рядок цієї матриці відповідає конкретному стану, який відзначений на графі кружком. На місці діагонального елемента пишуть взятую зі знаком мінус суму інтенсивностей переходів від цього стану до всіх інших. На місцях елементів рядка, які залишились, ставлять інтенсивності переходів до цього стану від інших станів

об'єкта. При відсутності зв'язку між станами інтенсивність переходу дорівнює нулеві.

Після розв'язання диференціального рівняння (2.26) для заданих початкових умов, отримаємо зміну в часі ймовірностей перебування об'єкта в усіх його станах – $p_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, n$). Початкові умови залежать від того, який стан об'єкта прийняти за вихідний. Якщо перший, то:

$$p_1(0) = 1; \quad p_i(0) = 0 \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (2.28)$$

Після підсумування ймовірності станів, у яких об'єкт рахується працездатним, отримаємо функцію готовності

$$\Gamma(t) = \sum_{i \in m} p_i(t), \quad (2.29)$$

де m – це множина робочих станів об'єкта.

В задачі, яка розглядається, функція готовності для послідовного та паралельного сполучення елементів набуває наступного вигляду

$$\Gamma_{\text{пар}}(t) = p_1(t) + p_2(t) + p_3(t); \quad \Gamma_{\text{посл}}(t) = p_1(t). \quad (2.30)$$

Для періодів T роботи відновлюваного об'єкта (рис. 2.6) існує функція надійності $P(t)$. Цю функцію можна визначити, встановивши розв'язки $\vec{p}^T t$ системи диференційних рівнянь (2.26) після внесення незначних змін у матрицю $\tilde{\Lambda}$.

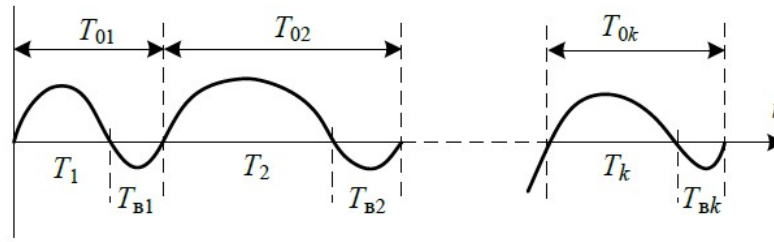


Рис. 2.6 - Процес функціонування відновлюваного об'єкта

$$P(t) = \sum_{i \in m} p'_i(t), \quad (2.31)$$

де $p'_i(t)$ – імовірність i -го робочого стану для нових умов; m – множина робочих станів.

Для визначення $P(t)$ необхідно здійснити зміни, які зводяться до ліквідації переходів від неробочих станів об'єкта до всіх робочих, тобто до усунення відповідних інтенсивностей у матриці. Замість повної системи диференціальних рівнянь розв'язують скорочену, в якій невідомими є тільки ймовірності робочих станів. Наприклад, у графі рис. 2.5 для випадку паралельного сполучення елементів усувають переходи p_{42} і p_{43} , а в матриці (2.27) – інтенсивності λ_{42} і λ_{43} . Потім розв'язують систему з трьох рівнянь.

2.2. Математична модель аналізу надійності на прикладі дослідження системи власних потреб з урахуванням резервування

Основним методом аналізу надійності, який дає змогу ефективно враховувати всі особливості резервування живлення, є логіко-ймовірнісний метод на основі дерева відмов. При застосуванні цього методу формують умови відмов системи, будують дерево відмов, записують логічну функцію відмови системи й обчислюють показники надійності електропостачання.

Розглянемо розв'язання задачі аналізу надійності на прикладі конкретної схеми власних потреб електростанції, зображеної на рис.2.7 в наступних режимах:

- нормальному режимі;
- в аварійному режимі(відмова однієї з секцій власних потреб);
- в ремонтному режимі(під час виконання ремонту трансформатора власних потреб, живлення від резервного трансформатора).

2.2.1. Надійність системи власних потреб електростанції в нормальному режимі

Схема власних потреб в нормальному режимі зображена на рис.2.7.

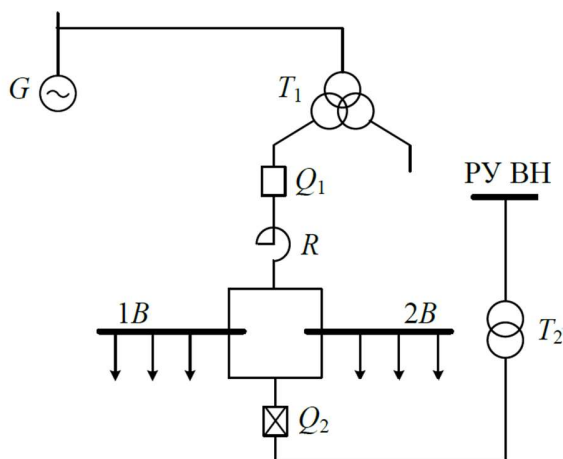


Рис. 2.7 – Схема живлення секції 6 кВ власних потреб ТЕЦ

Дерево відмов – це ніби миттєвий знімок системи в момент t , що фіксує всі можливі події і стани та їх поєднання, які спричиняють кінцеву подію.

Надійність електропостачання власних потреб оцінюють показниками, що характеризують частоту і тривалість знеструмлення секцій шин, від яких живляться електроприймачі. Для рис.2.7 кінцевою подією вважатимемо погашення секції 1В або 2В.

Аналіз процесу функціонування цієї схеми показує, що погашення секції шин 1В або 2В настає під час багатьох подій і станів та їх поєднань, наприклад, під час відмови струмообмежувального реактора, під час відмови резервного трансформатора власних потреб T_2 , коли основний T_1 перебуває у стані аварійного ремонту і т.д. Формулювання всіх умов відмови системи та їх систематизація дають змогу побудувати дерево відмов, зображене на рис. 2.8.

Логічна функція відмови системи $Y(U)$, де U – кінцева подія, формується за допомогою запису вказаних у дереві відмов операцій логічного множення (кон'юнкції) та додавання (диз'юнкції) над символами подій і станів, починаючи з вихідного рівня. Ця функція містить логічну суму кон'юнкцій першого порядку (вихідних подій чи станів), кон'юнкцій другого порядку (добутки двох подій та подій і станів) та кон'юнкцій третього порядку (добутки подій, станів і подій відмов засобів керування). У загальному вигляді вона записується так:

$$Y(U) = \bigvee_i x_i \bigvee_k (x_k \wedge z_k) \bigvee_{i,j} (x_i \wedge \tilde{y}_j) \bigvee_{j,i} (x_j \wedge \tilde{y}_i). \quad (2.32)$$

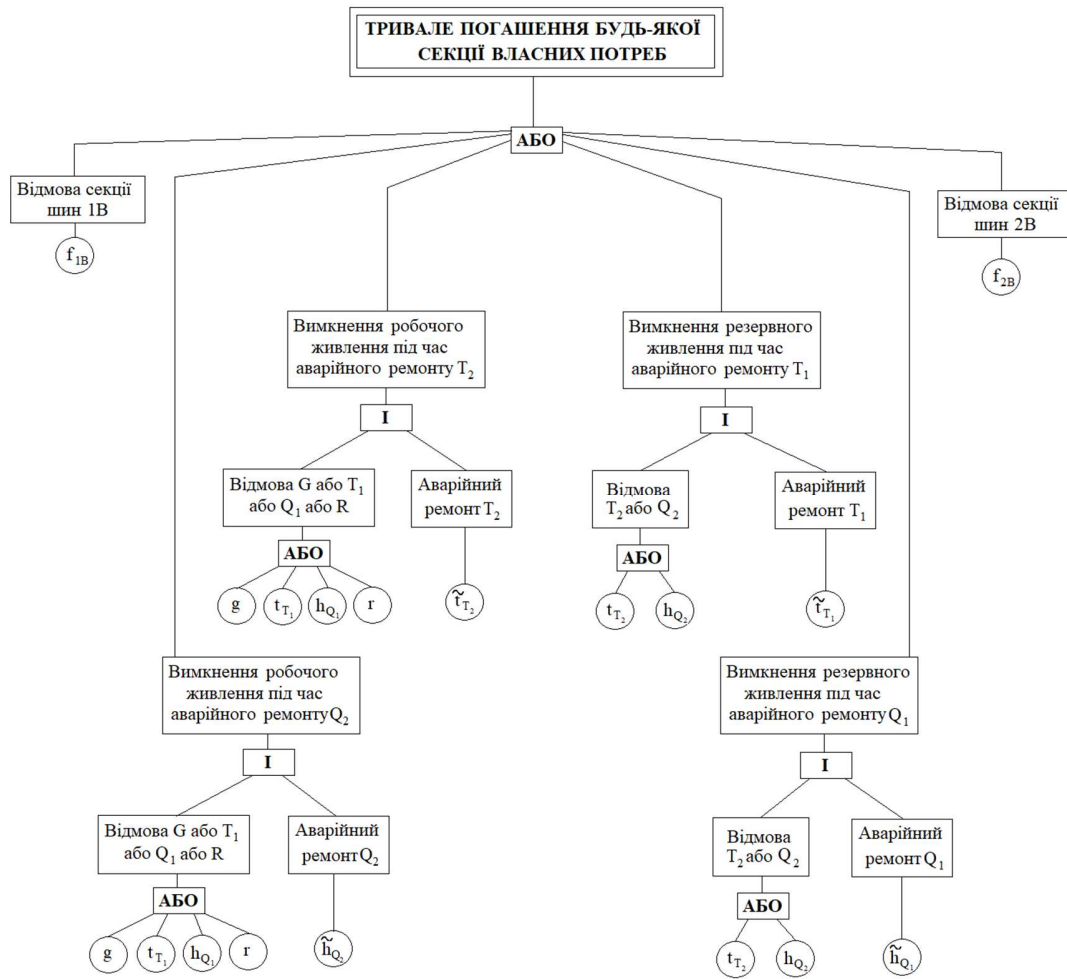


Рис 2.8 - Дерево відмов у нормальному режимі

Для дерева відмов рис. 2.8 запишемо логічну функцію для випадків тривалого погашення шин:

$$Y(БП) = f_{1B} + f_{2B} + (g + t_{T1} + h_{Q1} + r)\tilde{t}_{T2} + (t_{T2} + h_{Q2})\tilde{t}_{T1} + (g + t_{T1} + h_{Q1} + r)\tilde{h}_{Q2} + (t_{T2} + h_{Q2})\tilde{h}_{Q1} \quad (2.33)$$

Далі обчислюють показники надійності системи. Спочатку переходять від логічної функції відмов до алгоритму обчислення показників надійності. Для

цього в логічній функції $Y(U)$ символи подій відмов x замінюють на параметри потоку (частоти) в $Z_B(x)$, символи станів \tilde{y} – на ймовірності $q(\tilde{y})$. При цьому:

$$q(\tilde{y}) = Z_B(x_i) T_B(\tilde{y}_i) / 8760 \quad (2.34)$$

Алгоритм обчислення параметру потоку (частоти) відмов системи після цих замін набуває вигляду:

$$\begin{aligned} Z_{B_ВП} = & Z_B(1B) + Z_B(2B) + (Z_B(g) + Z_B(T_1) + Z_B(Q_1) + \\ & Z_B(r)) Z_B(T_2) T_B(T_2) + (Z_B(T_2) + Z_B(Q_2)) Z_B(T_1) T_B(T_1) + (Z_B(g) + Z_B(T_1) + \\ & Z_B(Q_1) + Z_B(r)) Z_B(Q_2) T_B(Q_2) + (Z_B(T_2) + Z_B(Q_2)) Z_B(Q_1) T_B(Q_1) \end{aligned} \quad (2.35)$$

Алгоритм обчислення ймовірності відмови системи (відносної тривалості стану відмови) дещо складніший:

$$\begin{aligned} q_{B_ВП} = & Z_B(1B) T_B(1B) + Z_B(2B) T_B(2B) + (Z_B(g) T_B(g) + Z_B(T_1) T_B(T_1) + \\ & Z_B(Q_1) T_B(Q_1) + Z_B(r) T_B(r)) 0,5 Z_B(T_2) T_B(T_2) + (Z_B(T_2) T_B(T_2) + \\ & Z_B(Q_2) T_B(Q_2)) 0,5 Z_B(T_1) T_B(T_1) + (Z_B(g) T_B(g) + Z_B(T_1) T_B(T_1) + \\ & Z_B(Q_1) T_B(Q_1) + Z_B(r) T_B(r)) 0,5 Z_B(Q_2) T_B(Q_2) + (Z_B(T_2) T_B(T_2) + \\ & Z_B(Q_2) T_B(Q_2)) 0,5 Z_B(Q_1) T_B(Q_1) \end{aligned} \quad (2.36)$$

де 0,5 – коефіцієнт, що враховує накладання відмов одного елемента на вимушені простої іншого, коли зворотної події не існує.

Вихідні дані для обчислення показників надійності елементів візьмемо з табл.2.1. Підставивши їх у формули 2.35 і 2.36, розрахуємо частоту та тривалість стану відмови будь-якої секції шин власних потреб:

$$\begin{aligned}
Z_{B_BП} &= 2 * 10^{-3} + 2 * 10^{-3} + (1 + 1 * 10^{-3} + 2 * 10^{-3} + 1 * 10^{-2}) * 5 * 10^{-4} \\
&\quad * 1 * 10^{-2} + (5 * 10^{-4} + 2 * 10^{-3}) * 1 * 10^{-3} * 5 * 10^{-3} \\
&\quad + (1 + 1 * 10^{-3} + 2 * 10^{-3} + 1 * 10^{-2}) * 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3} \\
&\quad + (5 * 10^{-4} + 2 * 10^{-3}) * 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3} = 0,040071 \\
&\approx 4,0071 * 10^{-3} \text{ рік}^{-1}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
q_{B_BП} &= (2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3}) + (2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3}) \\
&\quad + (1 * 2 * 10^{-2} + 1 * 10^{-3} * 5 * 10^{-3} + 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3} + 1 \\
&\quad * 10^{-2} * 6 * 10^{-3}) * 0,5 * 5 * 10^{-4} * 1 * 10^{-2} \\
&\quad + (5 * 10^{-4} * 1 * 10^{-2} + 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3}) * 0,5 * 1 * 10^{-3} * 5 \\
&\quad * 10^{-3} \\
&\quad + (2 * 10^{-2} + 1 * 10^{-3} * 5 * 10^{-3} + 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3} + 1 * 10^{-2} \\
&\quad * 6 * 10^{-3}) * 0,5 * 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3} \\
&\quad + (1 * 5 * 10^{-4} * 1 * 10^{-2} + 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3}) * 0,5 * 2 * 10^{-3} * 1 \\
&\quad * 10^{-3} \\
&= 4 * 10^{-6} + 5,01675 * 10^{-8} + 3 * 10^{-11} + 2,0067 * 10^{-8} + 1,2 \\
&\quad * 10^{-11} = 4,22326 * 10^{-4} \text{ рік}
\end{aligned}$$

2.2.2. Надійність системи власних потреб електростанції в аварійному режимі

Під аварійним режимом будемо розглядати відмову секції 1В. Схема власних потреб в аварійному режимі зображена на рис.2.9.

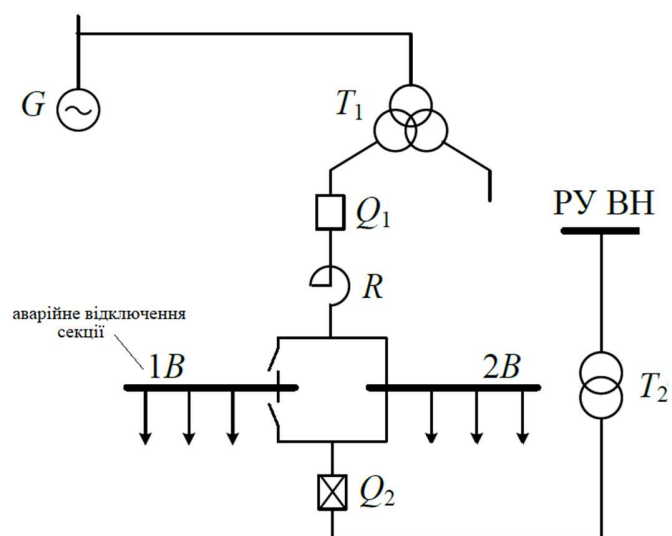


Рис. 2.9 – Схема живлення секції 6 кВ власних потреб ТЕЦ

Дерево відмов для такої схеми зображено на рис.2.10.

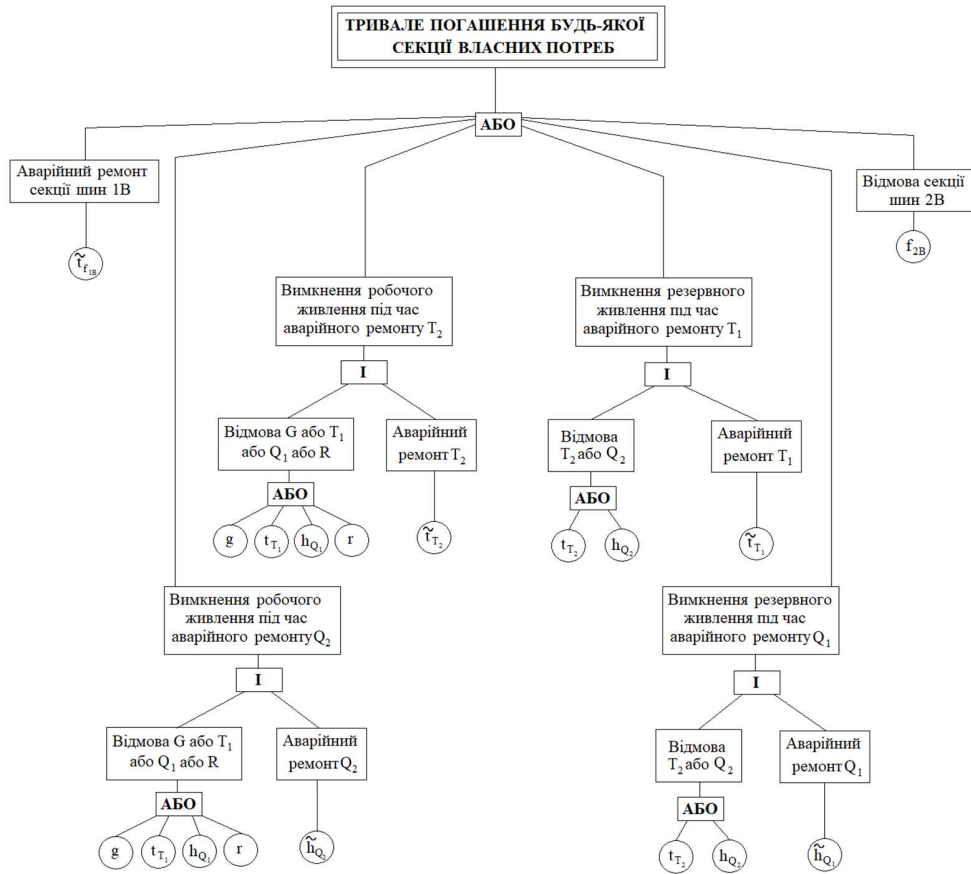


Рис 2.10 - Дерево відмов у аварійному режимі

Для дерева відмов рис. 2.10 запишемо логічну функцію для випадків тривалого погашення шин:

$$Y(БП) = \tilde{f}_{f1B} + f_{2B} + (g + t_{T1} + h_{Q1} + r)\tilde{t}_{T2} + (t_{T2} + h_{Q2})\tilde{t}_{T1} + (g + t_{T1} + h_{Q1} + r)\tilde{h}_{Q2} + (t_{T2} + h_{Q2})\tilde{h}_{Q1} \quad (2.37)$$

Оскільки відключення секції 1В уже відбулось, приймемо: $\tilde{f}_{f1B} = 1$. Тоді алгоритм обчислення параметру потоку (частоти) відмов системи набуває вигляду:

$$Z_{B_ВП} = Z_B(2B) + (Z_B(g) + Z_B(T_1) + Z_B(Q_1) + Z_B(r))Z_B(T_2)T_B(T_2) + \\ (Z_B(T_2) + Z_B(Q_2))Z_B(T_1)T_B(T_1) + (Z_B(g) + Z_B(T_1) + Z_B(Q_1) + \\ Z_B(r))Z_B(Q_2)T_B(Q_2) + (Z_B(T_2) + Z_B(Q_2))Z_B(Q_1)T_B(Q_1) \quad (2.38)$$

Алгоритм обчислення ймовірності відмови системи (відносної тривалості стану відмови):

$$q_{B_ВП} = T_B(f_{1B}) + Z_B(2B)T_B(2B) + (Z_B(g)T_B(g) + Z_B(T_1)T_B(T_1) + \\ Z_B(Q_1)T_B(Q_1) + Z_B(r)T_B(r))0,5 Z_B(T_2)T_B(T_2) + (Z_B(T_2)T_B(T_2) + \\ Z_B(Q_2)T_B(Q_2))0,5 Z_B(T_1)T_B(T_1) + (Z_B(g)T_B(g) + Z_B(T_1)T_B(T_1) + \\ Z_B(Q_1)T_B(Q_1) + Z_B(r)T_B(r))0,5 Z_B(Q_2)T_B(Q_2) + (Z_B(T_2)T_B(T_2) + \\ Z_B(Q_2)T_B(Q_2))0,5 Z_B(Q_1)T_B(Q_1) \quad (2.39)$$

де 0,5 – коефіцієнт, що враховує накладання відмов одного елемента на вимушені простої іншого, коли зворотної події не існує.

Вихідні дані для обчислення показників надійності елементів візьмемо з табл.2.1. Підставивши їх у формули 2.38 і 2.39, розрахуємо частоту та тривалість стану відмови будь-якої секції шин власних потреб:

$$Z_{B_ВП} = 2 * 10^{-3} + (1 + 1 * 10^{-3} + 2 * 10^{-3} + 1 * 10^{-2}) * 5 * 10^{-4} * 1 * 10^{-2} \\ + (5 * 10^{-4} + 2 * 10^{-3}) * 1 * 10^{-3} * 5 * 10^{-3} \\ + (1 + 1 * 10^{-3} + 2 * 10^{-3} + 1 * 10^{-2}) * 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3} \\ + (5 * 10^{-4} + 2 * 10^{-3}) * 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3} = 0,02341 \text{ рік}^{-1}$$

$$\begin{aligned}
q_{B_ВП} = & 1 * 10^{-3} + 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3} \\
& + (1 * 2 * 10^{-2} + 1 * 10^{-3} * 5 * 10^{-3} + 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3} + 1 \\
& * 10^{-2} * 6 * 10^{-3}) * 0,5 * 5 * 10^{-4} * 1 * 10^{-2} \\
& + (5 * 10^{-4} * 1 * 10^{-2} + 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3}) * 0,5 * 1 * 10^{-3} * 5 \\
& * 10^{-3} \\
& + (2 * 10^{-2} + 1 * 10^{-3} * 5 * 10^{-3} + 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3} + 1 * 10^{-2} \\
& * 6 * 10^{-3}) * 0,5 * 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3} \\
& + (1 * 5 * 10^{-4} * 1 * 10^{-2} + 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3}) * 0,5 * 2 * 10^{-3} * 1 \\
& * 10^{-3} = 1,6668 * 10^{-4} \text{ рік}
\end{aligned}$$

2.2.3. Надійність системи власних потреб електростанції в ремонтному режимі

Під ремонтним режимом будемо розглядати режим, коли основний трансформатор власних потреб знаходиться в ремонті, а власні потребм живляться від резервного трансформатора. Схема власних потреб в ремонтному режимі зображена на рис.2.11.

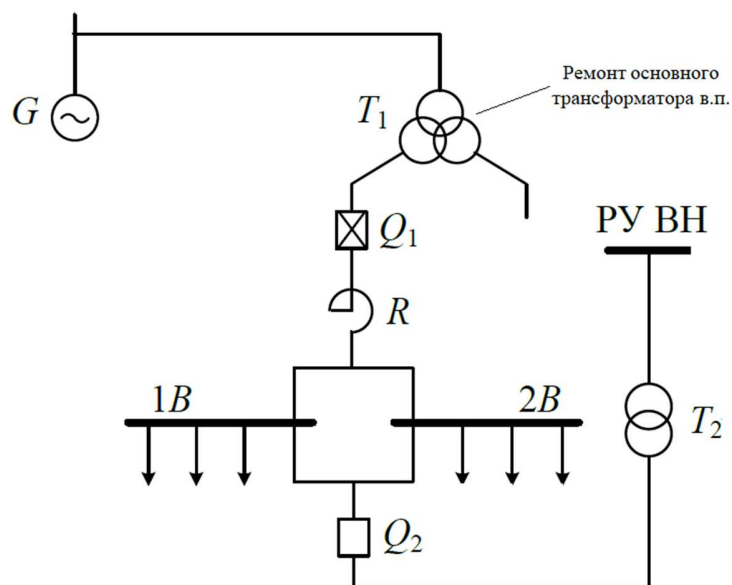


Рис. 2.11 – Схема живлення секції 6 кВ власних потреб ТЕЦ

Дерево відмов під час ремонту основного трансформатора власних потреб зображено на рис. 2.12.

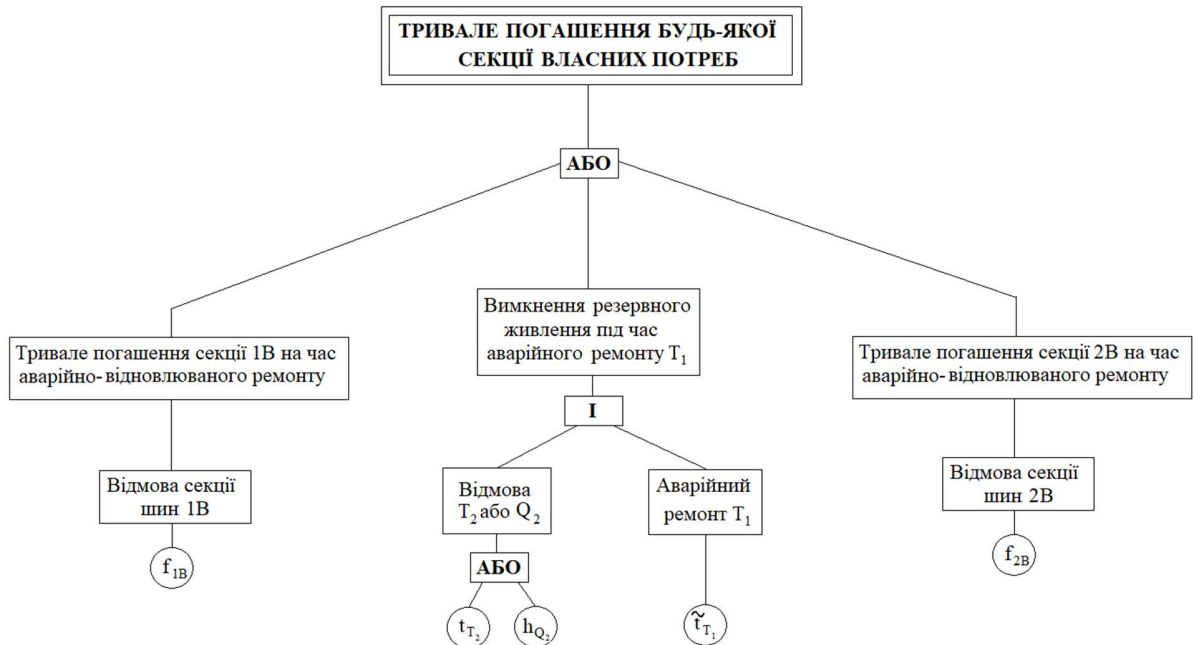


Рис 2.12 - Дерево відмов у випадку ремонту основного трансформатора
Для дерева відмов рис. 2.12 запишемо логічну функцію для випадків тривалого погашення шин 1В або 2В:

$$Y(\text{ВП}) = f_{1B} + f_{2B} + (t_{T2} + h_{Q2})\tilde{t}_{T1} \quad (2.40)$$

Оскільки основний трансформатор уже в ремонті, прийнемо: $\tilde{t}_{T1} = 1$.
Алгоритм обчислення параметру потоку (частоти) відмов системи набуває вигляду:

$$Z_{B_ВП} = Z_B(1B) + Z_B(2B) + Z_B(T2) + Z_B(Q2) \quad (2.41)$$

Алгоритм обчислення ймовірності відмови системи (відносної тривалості стану відмови):

$$q_{B_ВП} = Z_B(1B)T_B(1B) + Z_B(2B)T_B(2B) + (Z_B(T_2)T_B(T_2) + Z_B(Q_2)T_B(Q_2)) T_B(T_1) \quad (2.42)$$

Вихідні дані для обчислення показників надійності елементів візьмемо з табл.2.1. Підставивши їх у формули 2.41 і 2.42 розрахуємо частоту та тривалість стану відмови будь-якої секції шин власних потреб:

$$Z_{\Sigma B} = 2 * 10^{-3} + 2 * 10^{-3} + 5 * 10^{-4} + 2 * 10^{-3} + 3 * 10^{-3} = 9,5 * 10^{-3} \text{ рік}^{-1}$$

$$\begin{aligned} q_{B \Sigma B} &= 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3} + 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3} \\ &+ (5 * 10^{-4} * 1 * 10^{-2} + 2 * 10^{-3} * 1 * 10^{-3}) * 5 * 10^{-3} \\ &= 6,9195 * 10^{-6} \text{ рік} \end{aligned}$$

2.2.4. Розрахунок надійності системи власних потреб електростанції за допомогою апарату Марківських випадкових процесів

Формування моделей для розрахунку надійності систем і електроустановок проводиться з урахуванням реальних потоків подій, в результаті яких відбувається еволюція об'єктів, які розглядаються, зі стану в стан. Потоки подій виникають через відмови, відновлення, заміни, планові ремонти елементів систем. Еволюція станів описується в вигляді траєкторій переходів з одного стану в інший за допомогою ланцюгів Маркова.

Ланцюги Маркова відображають можливі стани системи. При цьому кожний стан розглядається як результат дії можливих подій. Перехід з одного стану в інший здійснюється по дузі, що характеризує інтенсивність переходу: частоту відмов або відновлень.

Для власних потреб розглянемо три стани: нормальний P_0 – нормальний режим, коли всі елементи знаходяться в роботі; ремонтний P_2 – ремонтний режим, коли основний трансформатор власних потреб знаходиться в ремонті; частково робочий P_1 – аварійний режим, при відмові однієї секції власних

потреб в нормальному і ремонтних режимах. Граф, який відображає еволюцію переходів, показаний на рис. 2.13, математичний опис графа відповідає системі рівнянь 2.43.

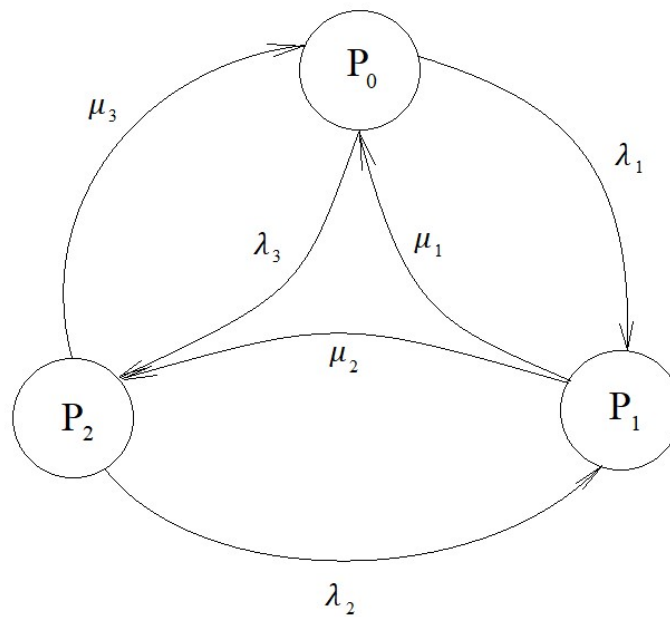


Рис. 2.13 – Граф переходу з стану в стан

$$\begin{aligned}
 -(\lambda_1 + \lambda_3)P_0 + \mu_1P_1 + \mu_3P_2 &= 0 \\
 \lambda_1P_0 - (\mu_1 + \mu_2)P_1 + \lambda_2P_2 &= 0 \\
 \lambda_3P_0 + \mu_2P_1 - (\lambda_2 + \mu_3)P_2 &= 0 \\
 P_0 + P_1 + P_2 &= 1
 \end{aligned}
 \tag{2.43}$$

Розрахуємо коефіцієнти для нормального режиму:

$$\begin{aligned}
 \lambda_1 &= Z_{B_ВП} = 4,0071 * 10^{-3} \\
 \mu_1 &= \frac{Z_{B_ВП}}{q_{B_ВП}} * 8760 = \frac{4,0071 * 10^{-3}}{4,2233 * 10^{-4}} * 8760 = 923,256
 \end{aligned}$$

Розрахуємо коефіцієнти для аварійного режиму:

$$\lambda_2 = Z_{B_BП} = 2,341 * 10^{-2}$$

$$\mu_2 = \frac{Z_{B_BП} 1}{q_{B_BП}} * 8760 = \frac{2,341 * 10^{-2}}{1,6669 * 10^{-4}} * 8760 = 62,371$$

Розрахуємо коефіцієнти для ремонтного режиму:

$$\lambda_3 = Z_{B_BП} = 9,5 * 10^{-3}$$

$$\mu_3 = \frac{Z_{B_BП} 1}{q_{B_BП}} * 8760 = \frac{9,5 * 10^{-3}}{6,9195 * 10^{-6}} * 8760 = 8,937$$

Кількість рівнянь вибирається по кількості невідомих. Підставивши коефіцієнти в 2.43, маємо:

$$\begin{cases} 0,0040071 * P_0 - (923,256 + 62,371) * P_1 + 0,02341 * P_2 = 0 \\ 0,0095 * P_0 + 62,371 * P_1 - (0,02341 + 8,937) * P_2 = 0 \\ P_0 + P_1 + P_2 = 1 \end{cases}$$

Після розв'язання системи отримуємо наступні результати:

$$P_0 = 0,9989084$$

$$P_1 = 4,08692 * 10^{-6}$$

$$P_2 = 1,08751 * 10^{-3}$$

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Для оцінки надійності структурних схем електричних станцій можна використовувати ряд методів заснованих на теорії ймовірності. В розділі були розглянуті наступні методи оцінки надійності: логіко-ймовірносний метод за допомогою дерева відмов; аналітичний метод; метод мінімальних перерізів; таблично-логічний метод; метод марківських випадкових процесів.

В ході роботи було визначено надійність роботи власних потреб за допомогою дерева відмов і математичного апарату марківських випадкових процесів в робочому, аварійному та частково робочому стані. В результаті отримана ймовірність роботи в нормальному режимі – 0,9989084.

Електропостачання першої особливо відповідальної категорії споживачів власних потреб повинне здійснюватись від трьох незалежних джерел – робочого і двох резервних. Так як на схемі, яка розглядалась, використовувався основний і резервний трансформатор, то для підвищення надійності необхідно застосувати акумуляторні батареї, для гарантованого безперебійного живлення.

3.ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСФОРМАТОРА ВЛАСНИХ ПОТРЕБ

Вступ

Споживачі власних потреб у нормальному режимі живляться від робочих трансформаторів власних потреб, підключених до відпайки до генераторного струмопроводу відповідного генератора напругою 10,5-24 кВ. Робочий трансформатор власних потреб підключається між генераторним вимикачем і блоковим підвищувальним трансформатором. Таке підключення дає можливість жити власні потреби від енергосистеми при відключеному генераторі. При відмові трансформатора власних потреб можлива зупинка станції або підстанції, тому надійність його роботи є важливим завданням. Зазвичай на станціях або підстанціях є резервний трансформатор власних потреб, який може жити навантаження власних потреб, при аварії основного трансформатора.

Мета розділу – розроблення технічних заходів та засобів безпеки, для запобігання та зменшення впливу на працівників небезпечних і шкідливих виробничих чинників (НШВЧ), що виникають у ході експлуатації трансформатора власних потреб.

Предмет досліджень – забезпечення зменшення шкідливого впливу і небезпечних виробничих чинників, які виникають у ході експлуатації трансформатора власних потреб.

Завдання досліджень, що передбачають в кінцевому варіанті:

- розробка певних технічних та організаційних заходів та засобів з охорони праці та безпеки життєдіяльності, які базуються на новітніх досягненнях у галузі охорони праці, промислової безпеки.
- аналіз умов праці під час експлуатації електроустановок, що розміщуються на електричних станціях.

Усі розроблені заходи безпеки ґрунтуються на чинних нормативних документах, інструкціях з експлуатації трансформатора власних потреб, інструкціях охорони праці електричних станцій та електричних підприємств.

3.1 Загальна характеристика об'єкта, технічні характеристики серійного енергетичного устаткування та систем енергопостачання

Таблиця 3.1. Загальна характеристика об'єкту

Найменування ЕУ	Вид розміщення	Розміщення робочого місця	Категорія електроприміщення	Категорія з пожежної безпеки
1	2	3	4	5
Трансформатор	Трансформаторна підстанція відкритого типу, розміщена на електростанції	Зовнішнє (на відкритій місцевості)	Приміщення з підвищеною небезпекою	Категорія Д

Таблиця 3.2 Показники технічних характеристик ЕУ

Найменування ЕУ і марка	Основні характеристики	Числове значення показника
Трансформатор масляний ТМ-1000/10	Потужність	1000 кВА
	Напруга первинної обмотки	10 кВ
	Напруга вторинної обмотки	0,4 кВ
	Втрати короткого замикання	11 Вт
	Втрати холостого ходу	2,45 Вт
	Габаритні розміри	185x122x243,5 см
	Маса	4200 кг

3.2 Визначення обсягів і послідовності робіт у ході експлуатації

Таблиця 3.3. Послідовність виконання робіт

Вид робіт	Спосіб доставки і розгрузки	Період виконання робіт і тривалість	Кількісний склад бригади	Група з електробезпеки
1	2	3	4	5
Огляд трансформатора,		періодично впродовж усього		

покази датчиків і рівня масла	-	року, 1 раз на добу	1 особа	IV, V
Заміна масла	Доставка автотранспортом, перекачка за допомогою насосів, розгрузка не потрібна	1 раз в рік і після капітальних ремонтів	2 особа	IV, V
Очищення ізоляторів	-	в залежності від інструкцій підприємства	2 особа	IV, V

3.3 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників

Таблиця 3.4. Чинники умов праці та їх показники

Найменування чинника	Основні характеристики	Числове значення показника
1	2	3
Параметри мікроклімату	Температура повітря Вологість Швидкість вітру	(-20...35) °C (60...85) % (1...6) м/с
Важкість праці	Робоче положення	«стоячи», «стоячи зігнувшись»
Напруженість праці	Тривалість <i>зосередженого спостереження</i> Тривалість <i>активних дій</i> Змінність Напруженість органів чуття: зір	65 % робочого часу 60 % робочого часу 1 зміна, 12 годин 30 % робочого часу
Шум	Шумовий рівень	73 дБА
Робота на висоті	Робота на висоті	2,5 м
Робота з трансформаторним маслом	Концентрація парів масла	9 мг/м ³
Електричне поле	Напруженість електричного поля	5 кВ/м

3.4 Визначення та оцінка шкідливих і небезпечних виробничих чинників

На електромонтерів з обслуговування трансформаторів власних потреб впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі чинники:

Таблиця 3.5. Перелік небезпечних і шкідливих виробничих чинників

Небезпечні і шкідливі чинники	Фактичне значення	Допустиме значення
1	2	3
Електричного походження		
Напруга	10/0,4 кВ	6 В
Струм	57,73/1443 А	0,6 мА
Неелектричного походження		
Робота на висоті	2,5	1,3
Робота з трансформаторним маслом	9 мг/м ³	5 мг/м ³
Оцінка умов праці	Шкідливі I категорії	

3.5 Вибір технічних та організаційних заходів з безпеки праці

Згідно із [7] для запобігання уражень працівників обов'язково використовується захисне заземлення. При нормальному режимі роботи безпека експлуатації забезпечується застосуванням ізолюючих пристроїв, огороженням струмоведучих частин. Працівники, які обслуговують електроустановки обов'язково мають користуватися засобами індивідуального захисту - спецвзуття, рукавиці. Перед використанням ЗІЗ необхідно перевірити цілісність. Засоби захисту потрібно періодично випробувувати, їх слід захищати від пошкоджень і впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості. Загальні вимоги безпеки встановлені згідно з [8], в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання будь-якого виду і призначення.

Перед допуском до роботи виконують такі організаційні та технічні заходи:

Таблиця 3.6. Технічні і організаційні заходи

Вид заходу	Найменування заходу	Опис, показники і характеристики
1	2	3
Організаційні заходи з електробезпеки		
Категорія робіт щодо заходів безпеки	Роботи зі зняттям напруги.	Наряд-допуск на 15 робочих днів

Розміщення плакатів безпеки	Розміщення плакатів для запобігання помилкового вмикання трансформатора	При роботах зі зняттям напруги вивісити «Не вмикати! Працюють люди» на приводах ручного управління і на ключах дистанційного управління вимикачами.
Технічні заходи з електробезпеки		
Огороджувальний засіб	Огорожа трансформатора	Сітчаста огорожа з висотою 2,5 м
Встановлення заземлень	Встановлення захисного заземлення струмопровідних частин.	Встановлення та знімання заземлень при роботі з застосуванням із застосуванням діелектричних рукавичок.
Технічні заходи щодо виключення інших НШВЧ		
Шум	Використання захисту органів слуху	Використання навушників 4EAR M50

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

Таблиця 3.7. Перелік засобів індивідуального захисту

Вид ЗІЗ	Призначення	Марка або маркування. Модель. Матеріал.	Гарантований термін використання	Технічні характеристики
1	2	3	4	5
Захисний одяг	Для захисту від загальних виробничих забруднень і механічних впливів	Костюм робочий «Віннер»	2 роки	Куртка і напівкомбінезон універсальні, 65% поліестер, 35% бавовна
Захисне взуття	Захист від механічних ушкоджень	BICAR AB 3040/2E	1 рік	Черевики робочі захисні з високими берцями утеплені
Захист рук	Захист від механічних ушкоджень	Рукавички, поліестер з бавовною.	5 робочих змін	Під час монтажних робіт
Захист голови	Захист від електричного струму, а також механічного впливу	Каска від механічного впливу. Полікарбонат.	2 роки	Високоміцний поліетилен низького тиску
Захист очей	Захист від електричної дуги ті ультра-фіолетового випромінювання	Окуляри Delta Plus. Полікарбонат.	2 роки	Під час робіт в ЕУ

Захист органів слуху	Зниження рівня шуму на 27,5 дБА	4EAR M50	2 роки	Під час роботи з підвищеним звуковим навантаженням
----------------------	---------------------------------	----------	--------	--

Таблиця 3.8. Перелік електрозахисних засобів

Вид ЕЗЗ	Найменування	Технічні характеристики	Призначення і норми випробувань
1	2	3	4
Електрозахисний засіб індивідуального захисту	Рукавиці діелектричні, клас 2 Калоші гумові діелектричні	Для робіт під напругою до 10 кВ	Підключення після ремонту, робота на струмопровідних частинах. Періодичні випробування рукавиць і калош - 6 і 12 місяців відповідно[9]
Контрольно-сигнальні прилади	Ізолювальні кліщі	Накладання муфт, заміна плавких вставок, довжина 450мм[9]	0,4-35 кВ Раз у 24 місяці[9]
	Показник напруги	Перевірка відсутності напруги після відключення трансформатора	Раз у 12 місяці[9]
Захисні пристосування	Захисне переносне заземлення, ізолюючі підставки, плакати безпеки.	Виконання робіт	0,4 – 10 Раз у 24 місяці[9]

Для виконання робіт усередині баків трансформатора допускаються тільки спеціально підготовлені робочі і фахівці, які добре знають шляхи переміщення, що виключають падіння і травмування під час виконання робіт або оглядів активної частини. Спецодяг працюючих повинен бути чистим і зручним для пересування, не мати металевих застібок, захищати тіло від перегріву і забруднення маслом. Працювати всередині трансформатора слід в захисній касці і рукавичках. В якості взуття необхідно використовувати гумові чоботи[10].

3.7 Вибір заходів із запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій

Таблиця 3.9. Перелік заходів і засобів з пожежної безпеки

Група заходів	Технічні характеристики	Критерії вибору
1	2	3
Технічні		
Газовий захист трансформатора РЗТ - 25	Автоматизований захист трансформатора (для трансформаторів 1000кВА встановлюється обов'язково), потужність захисного трансформатора – до 5000 кВА	Реле монтують на з'єднувальному трубопроводі між баком трансформатора та розширювальною посудиною
Автоматична система пожежогасіння	Прилад приймально-контрольний пожежний керування пожежогасінням «Sigma XT».	Призначений для дистанційного автоматичного ручного керування пожежогасінням.
	Система газового пожежогасіння «Імпульс 125» з електричним, пневматичним і дублюючим ручним пускачем, тип модуля МГП.І-100.1. Строк служби – не менше 30 років, маса вогнегасної речовини – 102,8 кг, тип вогнегасної речовини – HFC-125.	Кількість балонів в модулі вибирається з розрахунку 1 балон/150м ³
	Установка димовидалення. Продуктивність димовидалення 455м ³ /год	Цей пристрій є пересувним, використовується для видалення диму, продуктів горіння і вогнегасних речовин.
Сховище	Укриття будується з розрахунку укриття найбільш працюючої зміни, повинне забезпечувати зберігання в ньому людей не менше 2-х діб	Сховища розміщують не далі ніж 400 м від електростанції
Організаційні		
План дій під час надзвичайних ситуацій	Визначає правила, вимоги і дії персоналу під час надзвичайних ситуацій.	Відділ з охорони праці
Навчання дій персону під час надзвичайних ситуацій	Навчання персоналу вмінню застосовувати засоби індивідуального захисту і діяти у надзвичайних ситуаціях.	Відділ з охорони праці
ЗІЗ		
Захисний одяг водонепроникний	Комбінезон Болонья	Комбінезон багаторазового використання з терміном зберігання – 4 років.

Протигаз	ППМ-88 з фільтром.	Температура зберігання – від -35 °С до 70 °С. Термін зберігання – 10 років
Хімічний костюм	Ізолюючий костюм «Треллкем-супер» тип Т-А	Багаторазового використання з терміном зберігання – 6 років

3.8 Розрахунок технічного заходу з безпеки експлуатації

Розрахуємо кількість обладнання для автоматичної системи пожежогасіння для двох приміщень на одному об'єкті, площа обох 100 і 140 м² відповідно, висота – 3 і 2,5 м відповідно. Врахуємо, що кількість газу вибирається з розрахунку $K=1\text{кг}/1,5\text{м}^3$. Для гасіння пожежі вибираємо НФС-125. Перевагами цього газу є те, що він: не зменшує концентрацію кисню в приміщенні, дозволяючи людям, які в приміщенні дихати; цей газ є діелектриком; не пошкоджує обладнання; є найбільш економним варіантом серед вогнегасних газів.

Розрахуємо об'єми приміщень:

$$V_1 = S_1 \cdot H_1 = 100 \cdot 3 = 300 \text{ м}^3$$

$$V_2 = S_2 \cdot H_2 = 140 \cdot 2.5 = 350 \text{ м}^3$$

Розрахуємо необхідну кількість вогнегасного газу НФС-125:

$$F_1 = \frac{V_1}{K} = \frac{300}{1,5} = 200 \text{ кг}$$

$$F_2 = \frac{V_2}{K} = \frac{350}{1,5} = 233,33 \text{ кг}$$

На об'єкті будемо встановлювати системи «Імпульс 125» з електричним, пневматичним і дублюючим ручним пускачем, тип модуля МГП.І-100.1.

Номінальна місткість балонів – 102,8 кг. Враховуючи необхідну кількість газу, можна підрахувати кількість балонів для обох приміщень:

$$N_1 = \frac{F_1}{100} = \frac{200}{102,8} = 1,94 \sim 2 \text{ балони}$$

$$N_2 = \frac{F_2}{100} = \frac{233,33}{102,8} = 2,26 \sim 3 \text{ балони}$$

Тобто, для обох приміщень необхідно в сумі 5 балонів з газом, 2 балони для першого приміщення, 3 балони для другого приміщення.

Також необхідно встановити прилад приймально-контрольний пожежний «Sigma XT». Цей прилад призначений для дистанційного автоматичного керування пожежогасінням, також дозволяє керувати гасінням пожежі в ручному режимі. Так як він дозволяє підключити 3 зони виявлення, 1-го такого пристрою буде достатньо.

Крім цього потрібна одна переносна установка димовидалення, для видалення диму, вогнегасних речовин і продуктів горіння.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

В даному розділі було проведено аналіз небезпечних та шкідливих чинників під час експлуатації трансформатора власних потреб ТМ-1000/10 кВА.

На працівників, які обслуговують трансформатор, впливає ряд негативних чинників такі як шум, напруженість електричного поля, наявність високої напруги. Тому, персонал який обслуговує електроустановки обов'язково повинен користуватися засобами індивідуального захисту. При роботах з зняттям напруги, необхідно перевіряти відсутність напруги, використовуючи показчик напруги. Також обов'язкове використання плакатів. В розділі був вибраний ЗІЗ для захисту від забруднень, електричних та механічних ушкоджень. Було вибрано електрозахисні засоби при роботі без і з зняттям напруги. Електрозахисні засоби обов'язково випробовуються на діелектричну міцність, не допускається використання засобів з закінченим терміном придатності.

Так як трансформатор відноситься до установок з підвищеною пожежонебезпекою, на підприємстві обов'язково повинні бути вогнегасники і газовий захист трансформатора, персонал повинен бути навчений, як діяти під час надзвичайних ситуацій і як правильно надавати першу медичну допомогу.

В розділі було розраховано кількість обладнання для автоматичної системи пожежогасіння для двох приміщень на одному об'єкті. Було розраховано, що необхідно 5 балонів для системи «Імпульс 125», установка димовидалення і приймально-контрольний пожежний прилад «Sigma XT». Використання меншої кількості балонів з газом буде недостатньо для гасіння пожежі.

4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

ВСТУП

На електростанціях, особливо на ТЕЦ, процес вироблення енергії зв'язаний з роботою достатньо великої кількості механізмів власних потреб, які мають значну сумарну потужність. Надійність системи власних потреб електростанції є дуже важливою проблемою через те, що відмови цієї системи спричиняють порушення технологічного процесу виробництва електроенергії, зупинку генераторів, а за деяких умов можуть спричинити зупинку всієї станції. Тому на електростанціях трансформатор власних потреб резервують. Для забезпечення швидкого переключення, у разі аварії, з основного трансформатора на резервний використовують пристрої автоматичного введення резерву.

4.1 Опис ідеї проекту

Ідея проекту полягає у застосуванні пристрою швидкодіючого автоматичного введення резерву (ШАВР) «БАВР 072». При відмові основного трансформатора власних потреб виконується автоматичне введення в роботу резервного трансформатора. Одна із переваг такого підходу – виключення впливу людського фактору. Час реакції на аварійний режим – доли секунди, і як наслідок уникнення зниження продуктивності роботи систем власних потреб.

Зміст та напрямки застосування ідеї, а також вигоди для користувача назначені в табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Покращення надійності роботи систем власних потреб і електрообладнання	Електростанції	1. Збільшення надійності роботи власних потреб. 2. Зменшення недовідпуску електроенергії. 3. Збільшення ресурсу електродвигунів, насосів
	Підстанції	
	Промислові об'єкти з підвищеними вимогами до надійності роботи електрообладнання	1. Збільшення надійності роботи електрообладнання. 2. Зменшення недовідпуску виробленої продукції. 3. Збільшення ресурсу електродвигунів, насосів

В порівнянні з традиційними АВР, пристрої ШАВР передбачають:

- Більшу швидкодію;
- Переключення на резерв здійснюється завжди з дотриманням синфазності;
- Синхронні двигуни не втрачають синхронізму;
- Працюють без прив'язки до будь-якого релейного захисту.

В проєкті передбачено реалізацію пристрою ШАВР «БАВР 072».

«БАВР 072» може поставлятися у вигляді шафи або терміналу з додатковими елементами. Конструктивно термінал представляє собою єврокасету, в середину якої вставляються різноманітні блоки.

В склад термінала входять:

- блок живлення;
- блоки трансформаторів;
- блоки дискретних вводів/виводів;
- блок логіки;
- блок індикації;
- блок об'єднуючий.

Основними конкурентами є інші пристрої ШАВР:

а) «БАВР ЭКРА» – пристрій 2;

б) «БАВР Бреслер» – пристрій 3.

Переваги й недоліки пристроїв наведено в табл.4.2

Таблиця 4.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	Концепції конкурентів			Слабка сторона	Нейтральна сторона	Сильна сторона
		Обраний варіант Пристрій 1	Пристрій 2	Пристрій 3			
1.	Час переключення, с.	0,009	0,025	0,02	П2,П3	-	П1
2.	Кількість дискретних входів, од.	32	24	32	П3	-	П1,П3

3.	Кількість дискретних виходів, од.	29	27	16	ПЗ	-	П1,П2
4.	Критерій спрацювання I_{\min}	+	-	-	П2,ПЗ	-	П1
5.	Напруга стійкого спрацювання	$<0,6 U_{\text{пит}}$	$<0,74 U_{\text{пит}}$	$<0,7 U_{\text{пит}}$	П2	ПЗ	П1
6.	Можливість під'єднання будь-якого вимикача	+	+	+	-	-	П1,П2,ПЗ
6.	Сумарна вартість обладнання і монтажу, млн. грн.	4,2	4,35	5,1	ПЗ	П2	П1

Як видно з таблиці, обраний варіант є технічно кращим ніж аналоги.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту наведено в табл. 4.3

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Покращення надійності роботи систем власних потреб	Розробка проекту встановлення	наявна	доступна
2		Монтаж ШАВР	наявна	доступна
3		Налаштування для автоматичного функціонування	наявна	доступна

Згідно із наведеними в табл.4.3 даними, для створення та встановлення ШАВР створено усі умови, оскільки технології, що залучаються, не є новими.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Встановити точний обсяг продажу ШАВР неможливо, оскільки рішення про встановлення конкретного типу обладнання приймаються кожною організацією та в кожному проекті окремо.

В табл. 4.4. наведені короткі відомості щодо ринку в даній специфіці.

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку(найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	>30
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає

3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Рівень первинних інвестицій, відповідність вимогам надійності
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ГОСТ 22789
5	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку),%	15%

Наведене в табл. 4.4 значення середньої норми рентабельності - 15%, це більше, ніж банківський відсоток на вкладення, який складає 10%.

Для розрахунку щорічних експлуатаційних витрат, була використана формула 4.1:

$$V_E = P_v * K \quad (4.1)$$

де, V_E – щорічні експлуатаційні витрати, грн/рік

P_v – частка відрахувань на експлуатацію ШАВР у % від вартості сумарних початкових вкладень і складає 15%.

K – величина початкових капітовкладень, грн., які прийняті $K_{\text{БАВР } 072} = 4,2 * 10^6 \text{ грн.}$, $K_{\text{БАВР ЭКРА}} = 4,35 * 10^6 \text{ грн.}$, $K_{\text{БАВР Бреслер}} = 5,1 * 10^6 \text{ грн.}$, згідно з вихідними даними, які вказані в табл.4.2.

За формулою 4.1 розраховано щорічні експлуатаційні витрати для «БАВР 072» і аналогів:

$$V_{E \text{ БАВР } 072} = 0,15 * 4,2 * 10^6 = 0,63 * 10^6 \text{ грн/рік}$$

$$V_{E \text{ БАВР } \text{ЭКРА}} = 0,15 * 4,35 * 10^6 = 0,6525 * 10^6 \text{ грн/рік}$$

$$V_{E \text{ БАВР } \text{Бреслер}} = 0,15 * 5,1 * 10^6 = 0,765 * 10^6 \text{ грн/рік}$$

Для розрахунку щорічних капітальних затрат, використовується формула 4.2:

$$З = E_n * K + V_E \quad (4.2)$$

де, З - щорічні капітальні затрати, грн/рік.

E_n – банківська процентна ставка, яка складає 10%.

К – величина початкових капітовкладень, грн. ., які прийняті $K_{\text{БАВР } 072} = 4,2 * 10^6 \text{ грн.}$, $K_{\text{БАВР } \text{ЭКРА}} = 4,35 * 10^6 \text{ грн.}$, $K_{\text{БАВР } \text{Бреслер}} = 5,1 * 10^6 \text{ грн.}$, згідно з вихідними даними, які вказані в табл.4.2.

V_E – щорічні експлуатаційні витрати, розраховані за формулою 4.1, грн/рік

За формулою 4.2 розраховано щорічні капітальні витрати для «БАВР 072» і аналогів:

$$З_{\text{БАВР } 072} = 0,1 * 4,2 * 10^6 + 0,63 * 10^6 = 1,05 * 10^6 \text{ грн/рік}$$

$$З_{\text{БАВР } \text{ЭКРА}} = 0,1 * 4,35 * 10^6 + 0,6525 * 10^6 = 1,0875 * 10^6 \text{ грн/рік}$$

$$З_{\text{БАВР } \text{Бреслер}} = 0,1 * 5,1 * 10^6 + 0,765 * 10^6 = 1,275 * 10^6 \text{ грн/рік}$$

За результатами розрахунків в табл. 4.5 наведено економічне порівняння «БАВР 072» і аналогів.

Таблиця 4.5 – Економічне порівняння двох варіантів

	«БАВР 072»	«БАВР ЭКРА»	«БАВР Бреслер»
Сумарна вартість обладнання і монтажу пристрою ШАВР, грн.	$4,2 * 10^6$	$4,35 * 10^6$	$5,1 * 10^6$
Щорічні експлуатаційні витрати B_E , грн/рік.	$0,63 * 10^6$	$0,6525 * 10^6$	$0,765 * 10^6$
Щорічні приведені затрати Z , грн/рік.	$1,05 * 10^6$	$1,0875 * 10^6$	$1,275 * 10^6$
Витрати на експлуатацію протягом 10 років, грн.	$6,3 * 10^6$	$6,525 * 10^6$	$7,65 * 10^6$

Порівнюючи сумарну вартість обладнання і монтажу та витрати на експлуатацію протягом 10 років «БАВР 072» та аналогів, видно, що даний проект є економічно більш вигідним з точки зору впровадження та експлуатації ніж аналоги.

На підставі аналізу факторів загроз та ринкових можливостей маркетингового середовища був складений SWOT– аналіз. Матриця аналізу сильних (Strenght) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) подана у табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Технологічна перевага 2. Економічна перевага 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Висока конкуренція на ринку 2. Висока вартість
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Підвищення надійності роботи власних потреб і електрообладнання 2. Зменшення недовідпуску електроенергії і виробленої продукції 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Організація може вирішити не встановлювати «БАВР 072» через набагато більшу ціну, порівняно з звичаними АВР

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Розглянуто розроблення стартап-проекту, ідея якого це покращення надійності роботи систем власних потреб і електрообладнання.

В розділі було виконано техніко-економічне порівняння пристроїв швидкодіючого автоматичного введення резерву «БАВР 072», «БАВР ЭКРА» і «БАВР Бреслер». Найбільш оптимальним варіантом є встановлення «БАВР 072», через те, що він технічно більш досконалий, а також менш затратний в порівнянні з конкурентами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Забезпечення надійності роботи власних потреб є дуже важливою задачею, яка вирішується на стадії проектування, експлуатації та ремонту. Пошкодження в системі власних потреб призводять до порушення роботи станцій і, як наслідок, до недовідпуску електроенергії

Аналітичний метод дозволяє оцінити надійність схеми за рахунок перетворення всієї схеми в один еквівалентний елемент. Метод дерева відмов застосовується в тих випадках, коли число різних видів відмов системи є невеликим. Цей метод заснований на систематичному аналізі подій, які можуть викликати відмову системи. В методі мінімальних перерізів знаходяться мінімальні перерізи, тобто мінімальна кількість елементів, відмова яких призведе до відмови всієї схеми. Це дозволяє дати кількісну оцінку надійності без повного еквівалентування схеми. Таблично-логічний метод дозволяє робити почерговий розгляд відмов елементів схем з виявленням їх наслідків в нормальному і ремонтному режимах. Математичний апарат марковських випадкових процесів допускає, що час безвідмовної роботи і час відновлення кожного елемента підпорядковані експоненційному законові розподілу.

Практично всі розглянуті методи дають прийнятні результати. Вибір методу залежить від бажаної точності розрахунків.

В ході роботи була розрахована надійність схеми з'єднань власних потреб ТЕЦ. Особливо відповідальні споживачі власних потреб повинні мати два резервних джерела живлення, тому необхідно підвищити надійність застосувавши акумуляторні батареї.

В даній роботі були розроблені технічні заходи та засоби безпеки, для запобігання та зменшення впливу на працівників небезпечних і шкідливих

виробничих чинників, що виникають у ході експлуатації трансформатора власних потреб.

Також було розглянуто підвищення надійності роботи власних потреб внаслідок застосування пристрою швидкодіючого автоматичного вводу резерву. Був вибраний конкретний пристрій і розрахована сумарна вартість обладнання та монтажу пристрою швидкодіючого АВР, а також розраховані щорічні експлуатаційні витрати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Журахівський А.В. /Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж./ А.В. Журахівський, С.В. Казанський, Ю.П. Матеєнко, О.Р. Пастух – Київ.:КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с.
2. Казанський С.В./Надійність електроенергетичних систем: навч. посіб./ С.В. Казанський, Ю.П. Матеєнко, Б.М. Сердюк – К.:НТУУ «КПІ», 2011. -216с.
3. Савоськин Н.Е./Надежность электрических систем: уч. пособ./ Н.Е. Савоськин – Издательство Пензенского государственного университет, 2004. – 101с.
4. Добрынин П.Ю./Система собственных нужд теплоэлектроцентралей/ П.Ю. Добрынин, 2001. – 206с.
5. Гук Ю.Б. /Анализ надежности электроэнергетических установок. - Л.: Изд.-во Ленингр. ун-та, 1988. -223 с.
6. Трубицын В.И./Надежность электростанций: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1997.-240с.
7. Правила улаштування електроустановок. Розділ 1.7. Заземлення і захисні заходи безпеки. (ПУЕ – 2006). Вид. офіц. Харків: Форт, 2010. 736 с.
8. ДСанПіН 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. Вид. офіц. Київ: Держнаглядохоронпраці, 2002. 38 с.
9. НПАОП 40.1-1.07-01. Правила експлуатації електрозахисних засобів: наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 05.06.2001 №253. Вид. офіц. Київ: Держнаглядохоронпраці, 2001. 17 с.

10. Охрана труда при эксплуатации и обслуживании силовых трансформаторов
[Электронный ресурс] // <http://www.allbest.ru/>, 2014. Режим доступа до ресурсу:
https://revolution.allbest.ru/life/00396721_0.htm