

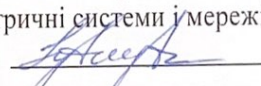
Вінницький національний технічний університет

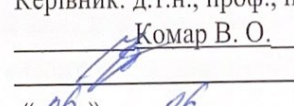
Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

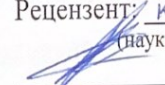
Оптимізація етапності реконструкції кабельних ліній

Виконав: студент 4 курсу, групи ІЕСМ-216
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електричні системи і мережі»,
Ситник С. В. 

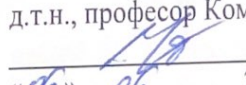
Керівник: д.т.н., проф., професор каф. ЕСС
Комар В. О. 

« 06 » 06 2025 р.

Рецензент: К.т.н., доц. каф. ЕССМ
(наук. ступінь, вч. звання, назва кафедри)

 Войтик Ю. І.
« 06 » 06 2025 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.


« 06 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025 рік

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

«20» листопада 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ситника Станіслава Валерійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Оптимізація етапності реконструкції кабельних ліній»

Керівник роботи д.т.н., проф., зав. каф. ЕСС Комар В. О.

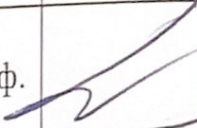
затверджена наказом вищого навчального закладу № 97 від 20.03.2025р

2. Термін подання студентом роботи 03 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Схема фідера 165 підстанції 110/10 "Західна" Вінницьких міських електричних мереж, графіки навантаження споживачів приєднаних до цього фідера, інтенсивності відмов та відновлень кабельних ліній.

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Проблеми математичного моделювання якості функціонування кабельних ліній. 2. Оцінка якості функціонування кабельних ліній. 3. Визначення показників функціональної надійності кабельних ліній. 4. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Математична модель інтегрального показника якості функціонування розподільних мереж. Граф зміни станів розподільної мережі. Результати оцінки показника якості функціонування для фідера 165 ПС "Західна". Висновки.

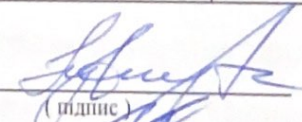
6. Консультанти розділів роботи			
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	викона прийм
Спеціальна частина	Керівник роботи Комар В. О., д.т.н., проф., зав. кафедри ЕСС		
Охорона праці	Кобилянський О. В. д. пед. н., професор, зав. каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання 20 березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

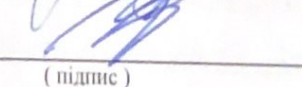
№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи	
		початок	кінець
1	Формування та затвердження завдання БКР	20.03.2025	27.03.2025
2	Вступ. Огляд літературних джерел	28.03.2025	04.04.2025
3	Оцінка якості функціонування кабельних ліній	05.04.2025	12.04.2025
4	Визначення показників функціональної надійності кабельних ліній	13.04.2025	28.04.2025
5	Охорона праці	29.04.2025	06.05.2025
6	Формування висновків по роботі	07.05.2025	14.05.2025
7	Оформлення пояснювальної записки	15.05.2025	22.05.2025
8	Виконання графічної частини та оформлення презентації	23.05.2025	29.05.2025

Студент


(підпис)

С. В. Ситник

Керівник роботи


(підпис)

В. О. Комар

АНОТАЦІЯ

УДК 621.311.1

Ситник Станіслав Валерійович «Оптимізація етапності реконструкції кабельних ліній». Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ. – 2025. – 79 с. Бібліогр.: 34. Рис. : 11. Табл. : 13

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто питання оптимізації процесу поетапної реконструкції кабельних ліній.

У першому розділі проводиться огляд літератури за темою і вибір напрямків дослідження, виклад загальної методики дослідження, розглядаються проблеми математичного моделювання якості функціонування кабельних ліній.

В другому розділі описано параметри ізоляції кабельних ліній, які впливають на її якість функціонування, наведено методику оцінки цих параметрів за рівнем інформативності, запропонована методика оцінки якості функціонування кабельної мережі на основі надійності електропостачання споживачів.

У третьому розділі описані загальні принципи отримання показників функціональної надійності кабельних ліній та проведений розрахунок коефіцієнта якості функціонування кабельної лінії.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, кабельні лінії електропередавання, показник якості функціонування, надійність електропостачання.

SUMMARY

Stanislav Valeriyovych Sytnyk “Optimization of the phased reconstruction of cable lines”. Bachelor's qualification work. – Vinnytsia: VNTU. – 2025. – 79 p. Bibliography: 34. Fig. : 11. Table. : 13

The bachelor's qualification work considers the issue of optimizing the process of phased reconstruction of cable lines.

The first section reviews the literature on the topic and selects research areas, presents the general research methodology, and considers the problems of mathematical modeling of the quality of functioning of cable lines.

The second section describes the insulation parameters of cable lines that affect its quality of functioning, provides a methodology for assessing these parameters by the level of informativeness, and proposes a methodology for assessing the quality of functioning of the cable network based on the reliability of power supply to consumers.

The third section describes the general principles of obtaining indicators of functional reliability of cable lines and calculates the coefficient of quality of functioning of the cable line.

Keywords: electrical distribution networks, cable power lines, performance quality indicator, reliability of power supply.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	3
SUMMARY	4
ВСТУП	6
1 ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ.....	11
2 ОЦІНКА ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ.....	23
3 ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ.....	47
3.1. Загальні принципи отримання показників функціональної надійності кабельних ліній.....	47
3.2 Визначення розрахункових навантажень кабельних ліній.....	49
3.3. Приклад розрахунку показників функціональної надійності КЛ	56
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	61
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації	61
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	67
4.2.1 Мікроклімат виробничих приміщень.....	67
4.2.2 Склад повітря робочої зони	67
4.2.3 Виробниче освітлення	68
4.2.4 Виробничий шум.....	69
4.2.5 Виробничі вібрації	70
4.3. Пожежна безпека.....	70
ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	76
ДОДАТОК А Протокол перевірки навчальної (кваліфікаційної) роботи.....	81
ДОДАТОК Б Ілюстративний матеріал.....	82

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасне виробництво з його складними технологічними комплексами, з широким застосуванням засобів автоматичного керування і контролю процесами не можливе без чіткої роботи всіх технічних засобів. Це вимагає дотримання особливо жорстких вимог до їх надійності.

Однак очевидно, що створювати високонадійні технічні агрегати не має сенсу, якщо не забезпечується відповідна надійність їх електропостачання. Розробка нових систем електропостачання та модернізація існуючих потребує оцінки їх якості. Під якістю електропостачання розуміють сукупність властивостей системи, які обумовлюють її придатність задовольняти графік навантаження певного споживача.

Підвищення якості електропостачання є важливою проблемою, яка вирішується як під час проектування, так і під час експлуатації систем електропостачання. Коло питань, які відносяться до цієї проблеми, досить широке. До основних з них необхідно віднести питання побудови оптимальних систем електропостачання.

Необхідність врахування значної кількості характеристик системи для оцінки її якості ставить задачу визначення інтегрального показника. Як зазначалось в [1] загальні вимоги, яким має відповідати такий критерій є: відображення об'єктивної реальності; оцінка ефективності, якості та оптимальності; можливість фізичного та абстрактного тлумачення; можливість обчислення, хоча б з використанням ЕОМ; нормування і відображення "крайніх" станів системи з урахуванням потенційно та реально можливих; повинен бути до певної міри узагальнюючим (характеризувати окремі підсистеми і системи в цілому в усіх життєвих циклах); повинен легко розкладатись на часткові показники та об'єднуватись в узагальнені; повинен мати теоретичну основу і дозволяти розробляти нову теорію або розвивати стару; володіти евристичністю, дозволяти приймати рішення на підставі

досвіду та інтуїції тощо.

Для можливості проведення об'єктивного і повного порівняння можливих варіантів виконання систем електропостачання необхідно під час їх оцінки враховувати такі показники, як безперебійність, живучість, безвідмовність елементів схеми, ремонтпридатність, збережуваність, довговічність, конфігурація схеми.

У довгому ланцюзі елементів виробництва і передачі електроенергії розподільні мережі, зокрема кабельні, займають граничне положення на стику з абонентами. Надійність роботи розподільних мереж є важливим чинником забезпечення стійкої роботи абонентських установок. Ресурс розподільних кабельних мереж 6–10 кВ вичерпується, що створює ряд проблем, без рішення яких подальша надійна робота мережі стане не можливою. Вже сьогодні, у ряді великих міст України, через вихід з ладу великої кількості кабелів, схеми електропостачання споживачів промисловості, комунальних підприємств, населення далекі від оптимальних. Це створює труднощі в забезпеченні необхідної надійності електропостачання і збільшує витрату електроенергії на її транспорт.

Стан кабельних мереж такий: щодоби виходять з ладу від 50–100 кабельних ліній обленерго, тому вирішуються в першу чергу задачі усунення аварійні. Слід зазначити, що частина кабельних ліній навіки "похована" і кинута, частина загублена, оскільки відсутня достовірна виконавча зйомка. Стан мереж, які знаходяться в експлуатації, далекий від ідеального роботи – велика кількість сполучних муфт, пошкоджена ізоляція, подекуди кабельні лінії з паперово-масляною ізоляцією ще дореволюційної прокладки, слабкі мережі в історичних центрах великих міст, що не задовольняють потребам сучасного навантаження. Тому у містах України починають проводити заміну старих кабелів на кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену, але темпи заміни далекий від потреб сьогодення.

В мережах середньої електричної системи річна кількість пошкоджень обчислюється сотнями, а в живлячих від неї абонентських мережах –

тисячами. Аналіз більше 1000 випадків короткочасних замикань на землю в кабельних лініях (КЛ) сучасного міста (тобто пробою під робочою напругою) дозволив дослідити виникнення 79 стійких однофазних та міжфазних пошкоджень, а також виявити почерговим випробуванням КЛ ще 27 пошкоджень (дивись додаток А). Треба відмітити поступовий розвиток пошкоджень в кабельних мережах, де 82% розглянутих випадків відносились до пробою ізоляції КЛ, і лише 18% до пробою інших елементів мережі. Слід відмітити, що за багаторічними даними в кабельних мережах 6–10 кВ біля 90% причин автоматичного відключення приходить на пошкодження КЛ, а 10% – на пошкодження інших елементів цих мереж.

За видами, пошкодження поділяються на КЗ, однофазні замикання на землю та обриви. Основні пошкодження КЗ – ділять на однофазні (однополюсні), та міжфазні (дво- та трьохфазні, як з “землею”, так і без “землі”). Для мереж з ізольованою нейтраллю або компенсацією ємнісних струмів істотне значення мають також подвійні замикання на землю, або замикання двох фаз на землю в різних точках електрично зв’язаної мережі.

Розподіл КЗ за видами залежить від класу ізоляції та конструкції елементів мереж. Так однофазні КЗ складають приблизно 65%, двофазні та подвійні на землю 20%, двофазні замикання без землі 10%, трьохфазні замикання 5%.

Статистичний розподіл пошкоджень КЛ по її елементам. За даними аналізу на 3649 аварій КЛ: 13,5% пошкоджень припадає на з’єднувальні муфти, 16,5% на кінцеві муфти та пошкодження оболонки кабелю, інші 70% – на непошкоджені місця кабелю.

При цьому на електричні пробої ізоляції в пошкодженному місці приходить 40% випадків, а на механічні 60%. Характерним випадком профілактичних випробувань КЛ є велика відносна пошкоджуваність кінцевих та з’єднувальних муфт, яка сумарно досягає 40 – 45% (проти 30% при аваріях). Це вказує на ефективність профілактичної відбраковки кінцевих та з’єднувальних муфт.

Не поліпшуючи якості ізоляції та струмоведучих частин кабельних ліній, неможливо виключити їх пошкодження, тим більш, що багато сучасних кабельних ліній вже відслужили строк свого використання і потребують заміни.

В сучасних умовах безперервно підвищуються вимоги до надійності та безперебійного постачання електроенергії підприємств, житлових масивів тощо. Тому реконструкція існуючих кабельних ліній, прокладка нових ділянок є основними заходами для підвищення надійності електропостачання.

Ще одним фактором, який спонукає енергопостачальні компанії до реконструювання живлячих мереж напругою 10 кВ, зокрема кабельних, є широке впровадження в експлуатацію засобів індивідуального електроопалення. Широке впровадження електроопалення значно підвищує рівень споживаної потужності. Кабельні розподільчі мережі 10 кВ, основна частина яких споруджена у 70-х – 90-х роках минулого століття, нерозраховані на такий рівень потужності. Тому, щоб забезпечити необхідний рівень якості електроенергії та надійності електропостачання, необхідно проводити реконструкцію КЛ, прокладати нові ділянки та будувати нові центри живлення.

На сьогоднішній день українські підприємства освоїли випуск нових типів кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену, які мають кращі експлуатаційні характеристики та забезпечують вищий рівень надійності електропостачання.

Актуальність даної теми полягає у такому. Реконструкція КЛ – процес, що потребує значних матеріальних затрат. Враховуючи рівень матеріального забезпечення енергопостачальних компаній та особливості електропостачання споживачів, реконструювати всю мережу одразу немає можливості. Тому особливо важливою у даному випадку постає проблема вибору найгіршого елемента кабельної мережі та вибору оптимальної з точки зору надійності електропостачання схеми для перерозподілу потужностей споживачів, що живились по лінії, яка виведена з експлуатації на час реконструкції.

Метою роботи є підвищення якості функціонування кабельних електричних мереж за рахунок підвищення ефективності експлуатації і оптимізації процесу їх реконструкції.

Методи дослідження. Для аналізу та розв'язання поставлених задач використані узагальнюючі методи теорії подібності і моделювання, метод лінійного та нелінійного програмування. Моделювання якості функціонування кабельних мереж здійснюється з використанням методів теорії марковських процесів та критеріального моделювання.

1 ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ

1.1 Аналіз факторів, які впливають на рівень надійності систем електропостачання

Якість функціонування електроустаткування електростанцій, підстанцій і електричних мереж у значній мірі залежить від його технічного стану. У процесі експлуатації в результаті впливу різних факторів, режимів і умов роботи вихідний технічний стан електроустаткування безупинно погіршується, зростає ймовірність виникнення відмов. Крім того, як показує аналіз [2] старіння основного й допоміжного електроустаткування електроенергетичних систем (ЕЕС) України й країн ближнього зарубіжжя, існує стійка тенденція до збільшення частки обладнання, що відпрацювало нормативний термін служби і продовжує експлуатуватись далі. В Україні й інших країнах СНД станом на кінець 2006 року [] зношування основних фондів електроенергетики становить близько 50%, причому середній термін експлуатації електроустаткування вже перевищує половину проектного строку, що приводить до зниження якості його функціонування. Надійність електроустаткування багато в чому визначається не тільки рівнем якості виготовлення, але й залежить від науково обґрунтованої експлуатації, технічного обслуговування й ремонту.

Найбільш ефективною системою технічного обслуговування й ремонту електроустаткування в цей час є система, при якій методи організації ремонтів базуються на індивідуальному спостереженні зміни технічного стану в процесі експлуатації шляхом контролю й діагностики, проведених із глибиною й періодичністю, установленною технічною документацією.

У наш час використовується й розробляється багато інформаційних систем, методів і засобів контролю й діагностики технічного стану електроустаткування. Разом з тим необхідне вдосконалювання існуючих і розробка нових технологій і практичних методів, які забезпечували б більш

ефективне технічне обслуговування й ремонт електроустаткування за технічним станом.

Основним напрямком, що визначає підвищення якості інформаційних технологій контролю й діагностики технічного стану, варто вважати інтелектуалізацію процесів обробки діагностичної інформації з використанням технології експертних систем, які здатні забезпечити підвищення якості розпізнавання й прогнозування технічного стану й ресурсу об'єкта.

База даних експертної системи містить інформацію як довідкового так і оперативного характеру: характеристики й паспортні дані устаткувань; характеристики режимів роботи й особливості конструкції; описи й статистичні дані про аварії й ушкодження; нормативні документи й керівні матеріали; дані про причини дефектів і ремонти електроустаткування; дані про періодичні виміри, випробування й оцінки технічного стану з рекомендаціями про подальшу експлуатацію. База знань експертної системи містить нормативні значення параметрів електроустаткування й знання-правила у форматі "якщо..., то..., коментар, порада, пояснення". Логічні знання бази знань експертної системи, представляють в основному експертні правила для оцінки технічного стану електроустаткування й прийняття рішень про подальшу експлуатацію устаткування.

У загальному випадку експертна система оцінки технічного стану й прогнозування ресурсу електроустаткування визначає таке:

- чи перебуває устаткування в нормальному стані, що не вимагає якого-небудь втручання;
- чи потрібна підвищена увага з боку персоналу або прискорений контроль параметрів устаткування;
- чи необхідно виконання додаткових вимірів, випробувань і інших профілактичних заходів із відключенням і без відключення;
- чи потрібно проведення певного виду ремонтів, модернізації, полегшення режимів роботи, або вивід електроустаткування з роботи.

Сучасні системи електропостачання є частиною електроенергетичних систем, які відрізняються від інших технічних систем не тільки великими розмірами, але і складним характером взаємозв'язків між окремими елементами і зовнішнім середовищем, а також між об'єктами виробництва і споживання енергії. Системи електропостачання мають ті ж особливості, що і електроенергетичні системи. Однією з основних характеристик системи є надійність, що визначає економічну ефективність функціонування системи.

З кібернетичних позицій система електропостачання є відкритою. Її функціонування можна представити як безперервний обмін енергією між системою і споживачами при неможливості її складування і діях на систему, що ненавмисно заважають, приводять до відмови її елементів, а у ряді випадків і системи в цілому.

Взаємодія між системою електропостачання і зовнішнім середовищем носить стохастичний (імовірнісний) характер, і можна говорити лише про деяку вірогідність досягнення системою мети – передачі енергії споживачеві.

При оцінці ефективності роботи системи електропостачання можна розрізняти два види її стійкості: речовинно-енергетичну і структурно-функціональну. Перший вид пов'язаний з постійністю енергетичного балансу, другий – з постійністю структури системи і її реакції на зовнішні дії. Для сучасних систем електропостачання промислових підприємств, міст, об'єктів сільського господарства і інших об'єктів другий вид стійкості є визначальним, хоча з ускладненням структури і значним збільшенням потужності одиничних споживачів можливий перехід до визначальної ролі першого вигляду. У [3] основна увага приділена методам оцінки постійності структури системи при випадкових діях на її елементи, тобто оцінки так званої структурної або схемної надійності систем електропостачання. Під надійністю будь-якого технічного об'єкту розумітимемо його здатність виконувати певні завдання в певних умовах експлуатації, а стосовно систем електропостачання – забезпечення споживачів електроенергією в межах допустимих показників її якості (напруга, частоти).

Надійність системи електропостачання також є одним з показників якості системи, проте цей показник істотним чином відрізняється, наприклад, від показників якості енергії, оскільки якщо система не володіє необхідним ступенем надійності, то решта всіх показників якості втрачає своє практичне значення, оскільки вони не можуть бути повноцінно використані в експлуатації. Чинник надійності завжди враховувався при створенні систем електропостачання. Ділення споживачів на категорії за надійністю і рекомендації по побудові схемних рішень для електропостачання кожної категорії сприяють забезпеченню структурної стійкості системи в часі. З розвитком науки про надійність, що займається аналізом загальних закономірностей, що визначають довговічність роботи різних технічних пристроїв, і розробкою способів попередження відмов на стадіях проектування, спорудження і експлуатації, а також розвитком і проникненням у всі області людської діяльності обчислювальної і інформаційної техніки, створилися об'єктивні умови вирішення проблем надійності не тільки в якісному, але і в кількісному аспекті. Надійність при цьому можна оцінити кількісно як вірогідність того, що характеристики об'єкту знаходитимуться в межах технічних норм впродовж заданого періоду часу за заданих умов експлуатації.

На основі кількісних оцінок надійності можлива кількісна оцінка якості функціонування системи електропостачання.

В наш час як кількісний показник ефективності приймають відношення реального вихідного ефекту до ідеального, тобто відношення математичного очікування відпущеної споживачем електроенергії в реальній системі до математичного очікування енергії в ідеальній за показниками функціонування системі. Кількісна оцінка ефективності є одним з кінцевих результатів всіх розрахунків надійності силових систем, якими є системи електропостачання. При цьому недовідпуск електроенергії споживачам, обумовлений відмовами елементів устаткування, визначається з урахуванням реальних характеристик електроспоживання. Очевидно, що кількісна оцінка ефективності системи

електропостачання повинна базуватися на кількісних показниках її надійності. У розрахунках надійності систем електропостачання, так само як і будь-яких технічних систем, виникає суперечливе бажання: мати, з одного боку, найбільш точну розрахункову модель, з іншої – простоту розрахунків і забезпеченість моделі початковими даними.

В даний час в енергетиці, та і в більшій частині основних областей техніки набули широкого поширення елементні методи розрахунку, що витікають з припущення, що система складається з самостійних (у сенсі надійності) елементів, тобто на другий план відходять функціональні залежності між параметрами елементів. Застосування елементних методів розрахунку надійності на сучасному етапі в значній мірі виправдане тими завданнями, які можуть бути вирішені при реальній нагоді отримання інформації про відмови устаткування і його режими роботи. Оцінка надійності систем електропостачання проводиться на етапі проектування або реконструкції і в набагато більш окремих випадках – в процесі експлуатації. Тому необхідні методи оцінки надійності, що дозволяють працювати з мінімумом початкових даних, в той же час забезпечують достовірні результати, що по можливості прості, такі, що дозволяють розглядати чималу кількість варіантів, що обмежують області детальних досліджень. При рішенні цих задач елементні методи можуть дати цілком прийнятні з практичної точки зору результати. Цим зовсім не заперечується необхідність розробки більш довершених методів оцінки надійності, зокрема методів управління рівнем надійності, виходячи з аналізу функціонування елементів, процесів, що відбуваються в елементах і системі при передачі електроенергії і дії на неї зовнішніх несприятливих чинників, тобто так званих функціональній надійності.

Тому в [3] дається статистичний аналіз характеристик надійності основних елементів систем електропостачання, отриманих в реальних системах, і розглянуті можливості кількісних віддзеркалень «фізики» відмов, обумовлених старінням елементів системи, тобто поступових відмов.

У більшій своїй частині елементи систем електропостачання є відновлюваними після відмови і такими, що відключаються під час функціонування системи з метою профілактики і капітальних ремонтів. Показники надійності елементів в загальному випадку непостійні в часі, міняються протягом експлуатації. Достатньо адекватно такого роду процеси функціонування системи описуються з використанням випадкових процесів, які, проте, складні в практичних інженерних розрахунках, тому в [3] певне місце відводиться обґрунтуванню можливостей спрощення математичних моделей для цілей практичного застосування.

У зв'язку з складністю систем електропостачання (збільшенням числа елементів і функціональних взаємозв'язків), що постійно росте, виникає проблема розробки інженерних методів розрахунку надійності складних багатозв'язкових систем з багатьма входами (джерелами електроенергії) і виходами (споживачами) з орієнтацією на широке використання ЕОМ. При цьому розглядаються не тільки способи аналізу надійності, засновані на аналізі хоч і обмеженого, але в реальних системах все ж таки дуже великої кількості станів системи, обумовлених різним станом окремих її елементів, але і способи, засновані на структурному аналізі систем, застосування яких дозволяє формалізувати не тільки процеси розрахунку показників надійності, але і, що особливо важливе в практичних розрахунках, процес отримання розрахункових схем з надійності – вельми трудомістку операцію. Основна складність формалізації в отриманні розрахункових схем по надійності систем електропостачання полягає в тому, що відмови не всіх елементів локалізуються в них самих в результаті роботи комутаційних апаратів (які до того ж самі можуть відмовляти). Відмова ряду елементів залежно від конкретних електричних схем приводить до відключення на час оперативних перемикачів і інших суміжних з ним елементів. Тому часто електрична схема відрізняється від схеми по надійності функціонування.

В даний час досліджені і розроблені методи рішення задач оцінки як структурної (схемною) надійності, так і надійності функціонування,

пов'язаних з аналізом режимів роботи, знаходяться на такій стадії розвитку, коли ставиться питання не тільки про принципову можливість рішення тієї або іншої задачі, але і про вибір найбільш економічного і практично прийнятного алгоритму рішення. Орієнтація на аналітичні методи рішення дозволяє отримувати достатньо прості результативні алгоритми.

Як вже наголошувалося, однією з кінцевих цілей розрахунку надійності систем електропостачання є оцінка недовідпуску електроенергії. Це завдання в даний час є ще невирішеним, для його вирішення проводяться інтенсивні дослідження.

Вживані в даний час елементні методи розрахунку базуються на статистиці відмов устаткування систем електропостачання. Достовірні статистичні дані про процеси функціонування елементів є запорукою отримання достовірних результатів в розрахунках надійності систем. Проте міра достовірності результатів розрахунків надійності систем по відомій достовірності результатів для елементів до останнього часу оцінювалася інтуїтивно на якісному рівні. У [3] висловлюються методи визначення довірчих меж для показників надійності систем електропостачання.

В наш час саме завдання оцінки і оптимізації якості представляють особливий інтерес зважаючи на їх актуальність; створенню теоретичної бази для їх практичного вирішення в різних сферах народного господарства присвячений цілий ряд робіт [4].

Сучасне виробництво з його складними технологічними комплексами, з широким застосуванням засобів автоматичного управління і контролю процесами не уявляється без чіткої і злагодженої роботи всіх використовуваних технічних засобів, що примушує пред'являти особливо жорсткі вимоги до їх якості.

Проте абсолютно очевидно, що створювати високоякісні технічні агрегати не має сенсу, якщо не передбачити відповідну якість їх енергопостачання, зокрема електропостачання. Якщо виходити з концепції про ієрархічну структуру якості об'єкту, то систему електропостачання слід

рахувати одним з базових елементів в будь-якому сучасному виробничому комплексі, а це означає, що вимоги до її якості повинні бути високими.

При цьому слід мати на увазі, що підвищення якості майже завжди пов'язане з додатковими витратами. На кожен даний момент часу не техніка, а економіка ставить межу доцільному підвищенню якості. Отже, при проектуванні, спорудженні і експлуатації систем електропостачання необхідно прагнути до досягнення показників якості електропостачання, доцільних саме з економічної точки зору. Виняток з цього правила становлять лише ті об'єкти, у яких показники якості електропостачання, що мінімально допускаються, встановлюються виходячи з необхідності запобігання людським жертвам і інших катастрофічних наслідків. Проте і в цьому випадку досягнення необхідної якості повинне бути здійснене економічно доцільним шляхом.

1.2 Аналіз якості функціонування кабельних ліній і її математичне моделювання

Від якості функціонування кабельних ліній залежить не тільки надійне електропостачання споживачів але й нормальна робота системи взагалі. Вихід з ладу певної ділянки кабельної лінії призводить до наслідків, які по різному відбиваються на нормальній роботі системи електропостачання в цілому, наприклад, два крайні випадки: живлення споживачів відбувається з значними відхиленнями показників якості електроенергії, або система переходить в стан повної відмови. Таким чином, ефективність роботи системи електропостачання буде визначатись, з одного боку, величиною додаткових втрат від невідповідності показників якості електроенергії $\delta F_{\partial od}$, а з іншого, ризиком відключення через відмову елементів системи, тобто зниженням надійності роботи системи в цілому.

При повній надійності елементів системи електропостачання додаткові втрати в системі дорівнюють нулю. З іншого боку, якщо система працює по схемі, яка продиктована лише міркування будь-що надати споживачу

електрику не дивлячись на відхилення з якості електроенергії, то додаткові втрати максимальні. Отже величина додаткових втрат напряму залежить від надійності системи електропостачання.

Функціонування системи в оптимальному режимі вимагає значних капітальних затрат. Наслідком цього є зниження якості функціонування динамічної системи в цілому, оскільки фінансові можливості електропостачальних компаній обмежені $\delta F_n = f(3)$, де δF_n – очікувана величина обмеження вихідного ефекту.

Приведені міркування свідчать про необхідність знаходження компромісу між зростанням додаткових витрат і зниженням якості функціонування системи, оскільки ці фактори взаємно суперечливі (рис. 1.1). З врахуванням сказаного цільова функція оптимального управління станами електропостачальної системи може бути записана:

$$\delta F = \delta F_{\text{доо}} + \delta F_n, \quad (1.1)$$

де δF – мінімізуюча функція, яка визначає якість функціонування системи;

$\delta F_{\text{доо}}$ – додаткові втрати від невідповідності показників якості електроенергії;

δF_n – очікувана величина обмеження вихідного ефекту.

Для аналізу результатів оптимальних розрахунків і оцінки необхідних дій і їх наслідків доцільно цільову функцію (1.1) привести до критеріального виду:

$$\delta F_* = \frac{\delta F}{\delta F_{\min}} = \delta F_{\text{доо}*} + \delta F_{n*}, \quad (1.2)$$

де $\delta F_{\min}$ – мінімальні втрати, які відповідають оптимальному стану системи при абсолютній надійності елементів системи.

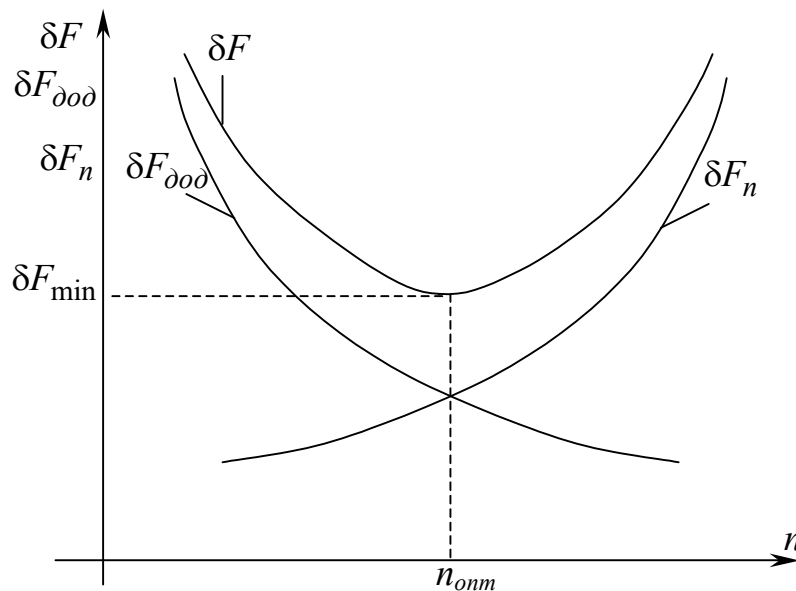


Рисунок 1.1. Конкуруючий ефект між δF_{dod} та δF_n

Очевидно, що δF_n^* залежить від рівня надійності регулюючих пристроїв. Для визначення показників надійності, як основного фактора, що впливає на якість функціонування систем електропосачання, будуються математичні моделі використовуючи різні методи та підходи.

Всі методи теорії надійності можна поділити таким чином [5, 6, 7]:

- аналітичні методи, до їх переваг можна віднести можливість отримати математичну модель, яка може врахувати вплив різних факторів на показники надійності системи. Але для побудови таких моделей необхідний значний об'єм початкових даних, які не завжди можна отримати. Це в свою чергу відбивається на адекватності моделі.

- методи статистичного моделювання, надають можливість отримати числові характеристики об'єкту. До недоліків належить: складні алгоритми, значні витрати машинного часу, неможливість визначення впливу на надійність системи конкретних факторів.

- експериментальні методи, надають можливість визначити надійнісні характеристики шляхом безпосереднього дослідження об'єкту. До недоліків належить досить значна вартість.

– окрему групу складають комбіновані методи (поєднання можливостей аналітичних та експериментальних методів).

Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки. Тому отримати необхідні результати з відповідною похибкою, використовуючи лише методи одної групи, досить важко. Для цього необхідно комбінувати методи таким чином, щоб отримати максимальний ефект. Перспективним є поєднання методів аналітичної та експериментальної груп. Пояснюється це можливістю отримати під час експлуатації необхідні параметри системи, статистичні данні, не ставлячи перед собою за мету досліджувати об'єкт. Це дозволить уточнювати математичні співвідношення отримані аналітичним способом.

До аналітичних методів дослідження і оцінки надійності автоматичних систем ставляться вимоги простоти та невеликих затрат часу, що в свою чергу призводить до зниження точності розрахунків. В зв'язку з цим не припиняються пошуки аналітичних методів, які дозволяють отримати більш точні оцінки показників і характеристик надійності складних систем при прийнятних витратах часу і праці. Недоцільно вимагати від цих методів абсолютної точності, оскільки вихідні дані, що використовуються в розрахунках, мають, як правило, обмежену точність і достовірність. В той же час приблизні методи повинні вносити до результату принципові риси розподілу випадкової величини x системи, що досліджується, які дозволяють відповісти на практичні питання, такі як вплив структурної надлишковості, ефективність профілактичного обслуговування, тощо. В зв'язку з цим можна говорити щодо доцільності удосконалення, розробки ряду методів, які розрізняються за трудомісткістю обчислень і точністю розрахунків.

На різних етапах розвитку теорії надійності для оцінки показників безвідмовності і ремонтпридатності систем використовувався різний математичний апарат. Сформульовані таким чином методи можуть бути зведені в такі групи [5, 7]:

- методи, що базуються на апараті класичної теорії ймовірностей;
- методи, що використовують апарат теорії марковських процесів;

– методи, які базуються на апараті функцій випадкових аргументів.

Апарат класичної теорії ймовірностей дозволяє визначати як числові показники, так і характеристики (функції розподілу) безвідмовності і ремонтпридатності системи в цілому і окремих її функцій [5, 6, 7]. Однак складності виникають з ростом числа елементів системи і сеансів профілактичного обслуговування в інтервалі часу, що розглядається, з введенням позапланових відновлень, з збільшенням різновиду використовуваних законів розподілу величини x .

Марковські процеси, завдяки простоті залежності між ймовірностями станів і вихідними характеристиками системи, успішно використовуються для розв'язання різних задач, які виникають в теорії і практиці надійності [5, 6, 7]. Однак не дивлячись на те, що задача розрахунку показників надійності з допомогою апарату марковських процесів в літературі розв'язана, практично користуватись отриманими розв'язками часто не можливо. Це пояснюється неспроможністю отримати явні формули для деяких характеристик (наприклад, функції часу безвідмовної роботи), складності розв'язання диференціальних рівнянь високого порядку, а також необхідності прийняття припущень про експоненціальний закон розподілу вихідних випадкових величин, які часто не виконуються на практиці [8].

Методи побудовані на основі апарату функції випадкового аргументу мають за мету досягнення високої швидкодії та не вимагають від інженера додаткових знань [5, 6, 7]. Але це призводить до зростання похибки розрахунків.

Огляд методів моделювання надійності, дозволяє зробити висновок про необхідність розробки метода, використовуючи принципи вже існуючих підходів, для отримання математичних моделей якості функціонування, який надав би можливість врахувати рівень надійності регулюючих пристроїв в критерії управління.

Найбільший інтерес під час досягнення поставленої мети представляє теорія марковських процесів. Методи, побудовані на її основі, дозволяють

врахувати поетапність відновлення кабельних ліній, що необхідно для даної роботи. Допущення, які приймаються для моделювання марковських процесів, не вносять значної похибки. Це дозволяє використовувати теорію марковських процесів під час розв'язання практичних задач в системах електропостачання.

У даній магістерській дисертації для вирішення питання оптимізації процесу поетапної реконструкції КЛ пропонується розв'язати такі задачі:

1. Аналіз параметрів, які впливають на рівень надійності КЛ, за якими можна оцінювати якість функціонування КЛ, оцінка їх з точки зору інформативності.
2. Дослідження можливості використання положень теорії подібності та теорії марковських процесів в задачах оцінки якості функціонування з метою оптимізації процесу реконструкції розподільних міських мереж.
3. Розробка математичних моделей якості функціонування розподільних мереж на основі подібності моделювання марковських процесів і критеріального моделювання.

2 ОЦІНКА ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ

2.1. Обґрунтування переліку визначальних параметрів якості функціонування кабельних ЕМ

2.1.1. Огляд параметрів ізоляції кабельних ліній, що найчастіше досліджуються

Кабелі є елементами енергосистеми, що найбільш важко перевіряються. Ізоляція кабелів зазвичай тверда. Випробування, що здійснюються: випробування підвищеною змінною і постійною напругою, вимірювання опору ізоляції, дослідження абсорбції, дослідження часткових розрядів, вимірювання тангенса кута втрат, дослідження розподілу напруги на кінцевих відгалуженнях. Якщо кінцеві муфти можна ізолювати від землі, то на них можна проводити і інші дослідження (наприклад, $tg\delta$). Ємність довгих кабельних ліній велика, тому випробування підвищеною змінною напругою від зовнішнього джерела проводити не можна зважаючи на велику необхідну потужність.

Таблиця 1.1

Рекомендовані методи дослідження кабелів

Необхідні дослідження	Пропоновані практичні дослідження	Дослідження, що пропонуються для накопичення досвіду
1. Випробування підвищеною постійною напругою 2. Вимірювання опору ізоляції	– Вимірювання залежності тангенса кута втрат від напруги – Перевірка напруги порогу іонізації	– Дослідження абсорбції – Вимірювання відносної інтенсивності розрядів при робочій напрузі

Протікаючі в землі блукаючі струми і струми, що наводяться в оболонці кабелю, вносять сильні спотворення до результатів деяких вимірювань, тому необхідно виконати заходи для відведення вказаних струмів в обхід вимірювальної системи.

Випробування підвищеною напругою є найбільш ефективним методом

контролю кабелів.

Таблиця 1.2

Найбільш часто досліджувані параметри ізоляції

Вимірюваний параметр	Пошкодження, що найбільш легко виявляються	Пошкодження, що не виявляється	Об'єктивність оцінки
Опір ізоляції	Вологість, забруднення Слабке місце при	Слабке місце	Мала Дуже мала
Тангенс кута втрат	Розподілені дефекти	Слабке місце, старіння	Хороша
Внутрішні розряди	Порожнини, газові пухирі		Середня

Необхідний опір ізоляції кабелю залежить від матеріалу ізоляції, від типу кабелю і його довжини. Опір ізоляції вимірюють до і після випробування високою напругою. При вимірюванні опору ізоляції кінцеві з'єднання кабелю необхідно очистити, інакше вимірювання відображатиме поверхневе забруднення. Опір ізоляції у чистих кінцевих відгалуженнях зменшується головним чином під дією вологи. Виміряне значення, природно, сильно залежить від температури.

Температуру кабелів можна визначити лише приблизно. Після виключення кабель остигає повільно; уздовж кабельної лінії температура навколишнього середовища різна, тому розподіл температури по ізоляції кабелю складний. Найбільш доцільним є вимірювання опору жил кабелю, на підставі якого можна робити висновок про середню температуру. Вимірювання температури оболонки кабелю і навколишнього середовища дозволяють лише орієнтуватися щодо температури ізоляції. За таких умов оцінка величини провідності і тангенса кута втрат може бути недоцільною.

Дослідження постійною напругою часто пов'язують з вимірюванням

струму витоку і з визначенням залежності струму витоку від напруги. На деяких підприємствах є розпорядження щодо допустимого значення струму витоку, а також щодо допустимої асиметрії між значеннями, вимірюваними на різних фазах. Допустимі значення, можна визначати лише з урахуванням місцевих особливостей. Велике значення при випробуваннях постійною напругою мають спостережувані імпульси струму, бо в більшості випадків вони указують на початок пробою.

Тангенс кута втрат у кабелів представляє інтерес не тільки з погляду оцінки якості ізоляції, але і для врахування того, що при великій напрузі тангенс кута втрат визначає здатність навантаження кабелю. Контроль тангенса кута втрат можливий тільки на коротких ділянках кабелю; на довгих кабелях унаслідок великої ємності для контролю необхідне спеціальне устаткування. Тому систематичне вимірювання $tg\delta$ зазвичай не проводиться, проте, якщо є можливість, доцільно його провести. При нагоді також проводять вимірювання $tg\delta$, якщо стан кабелю сумнівний. Результати таких вимірювань потім зіставляють з даними, якими володів кабель в "новому" стані. При вказаних вимірюваннях велика роль температури. Крива залежності тангенса кута втрат від температури кабелю з просоченою паперовою ізоляцією має мінімум, місце якого визначає перетин кривих складовою, викликаною провідністю і складовою релаксаційних втрат (рис. 2.1). На сьогоднішній розроблені прилади (дивись додаток Б), які дозволяють достатньо легко вимірювати часткові розряди та знімати характеристики $tg\delta$.

Ізоляція кабелів дуже чутлива до часткових розрядів. Через складність вимірювальної техніки подібні вимірювання проводяться лише на зразках, що складаються з невеликих шматків. Напругу порогу іонізації раніше визначали на основі кривої іонізації, на рис. 2.2 приведено декілька типових кривих.

Останнім часом поширення набувають високочастотні методи вимірювання. Необхідно прагнути, щоб напруга порогу іонізації була вище за робочу напругу, проте на практиці це не завжди можна забезпечити; до того ж напруга порогу іонізації в процесі експлуатації також зменшується, що

пояснюється збільшенням числа порожнин в ізоляції.

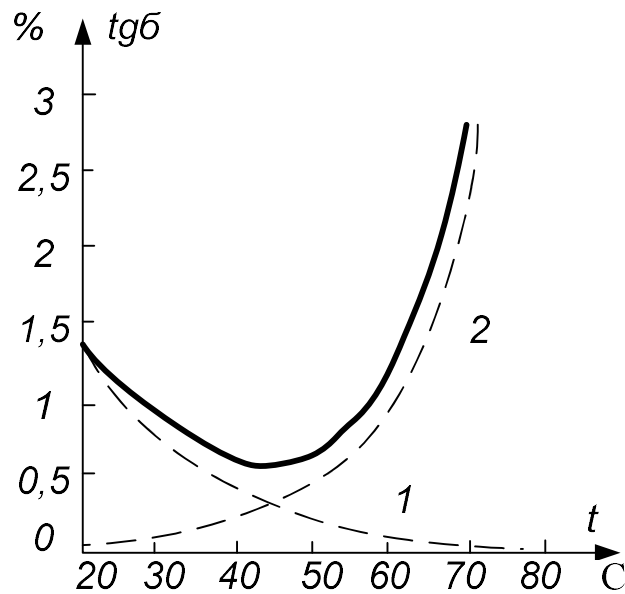


Рисунок 2.1. Крива залежності $tg\delta$ кабелю від температури:

- 1– релаксаційні втрати;
- 2– втрати через провідність.

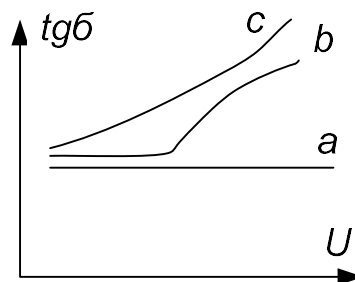


Рисунок 2.2. Криві іонізації кабелів:

- а– хороший кабель;
- б– ізоляція ослаблена біля вводу чи біля втулки;
- с– наявність інтенсивних внутрішніх розрядів.

Ще не з'ясовано питання про допустиму інтенсивність часткових розрядів. Відомо лише, що кабелі в більшості випадків виходять з ладу в результаті часткових розрядів.

З невизначеностей, що приховуються в отриманих при вимірюваннях значеннях, витікає, що значно більшу інформацію можна отримати, якщо

замість окремих дискретних величин будувати криві, наприклад, $R = f(t)$, $R = f(U)$, $i = f(\tau)$ і т.д. В цих випадках вимірювання достовірніші, бо частина вимірювальних похибок може бути виправлена. Крім того, хід кривих дає можливість повніше аналізувати фізичні процеси, що відбуваються в ізоляції. З огляду на те, що зняття кривих вимагає значного часу, часто знаходять лише дві відповідно вибрані точки кривої і ізоляцію характеризують відношенням цих двох значень. Це має ще і інші переваги: незалежність від геометричних співвідношень в ізоляції, відсутність погрешностей методу вимірювання, зменшення зовнішніх впливів.

Стан ізоляції можна визначити тільки на основі комплексу різних і одночасно виконуваних випробувань. Це вимагає певної спроможності до оцінки і наявності практичного досвіду. Відповідно до вищесказаного оцінка якості ізоляції має імовірнісний характер.

Перераховані параметри необхідно досліджувати залежно від інших впливаючих чинників. Найбільш важливими є залежності від напруги. При дослідженні зразків ізоляційних матеріалів дуже корисно мати залежності їх параметрів від часу і температури.

За наслідками кожного виду випробувань і вимірювань електроустаткування з використанням певного набору ознак і відповідної бази знань $X_j (j = \overline{1, m})$ можна оцінити технічний стан об'єкту і віднести його до деякого класу станів (нормальне, або несправне з дефектом певного типу), що оцінюються за наслідками даного виду випробувань або вимірювань. Інтегральна оцінка технічного стану здійснюється на основі об'єднання часткових висновків про технічний стан і виконується з використанням бази знань D , в якій всі правила сформульовані на основі експертних знань. На рис. 2.3 представлена розроблена ієрархічна структурна схема логічного висновку про технічний стан і ухвалення рішень про стратегію подальшої експлуатації КЛ.

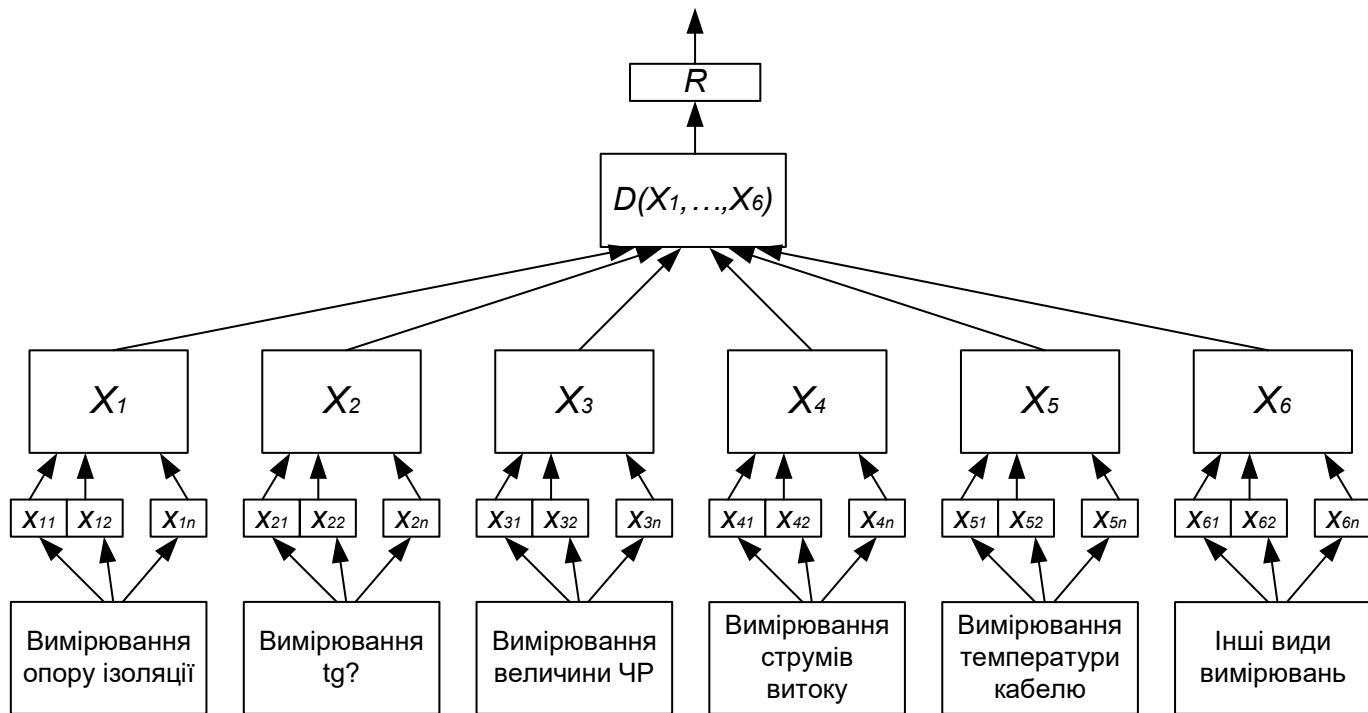


Рисунок 2.3. Ієрархічна структурна схема логічного висновку про технічний стан КЛ

2.1.2. Визначення найбільш інформативних параметрів КЛ (селекція ознак)

У зв'язку з тим, що процес діагностування та вимірювання параметрів КЛ є досить складним та трудомістким, постає задача визначення найбільш інформативних показників (селекція ознак), які будуть з найвищою точністю характеризувати стан КЛ.

Селекція ознак – виявлення ознак, які мають якнайкращі класифікаційні властивості для конкретного завдання.

Нехай

$X \in \square R^m$ – множина ознак,

$Y \in R^l$ – множина ознак, які потрібно відібрати в процесі селекції, причому $l < m$.

Тоді завдання селекції задається таким чином: $X \rightarrow Y$.

Розрізняють скалярну і векторну селекцію ознак. При скалярній селекції розглядається окремо одна ознака з даної множини. Таким чином, отримали одновимірне завдання. При векторній селекції одночасно досліджуються властивості групи ознак.

Селекції ознак передуює передобробка, що дозволяє привести їх в єдиний масштаб вимірювань і провести деякі додаткові поліпшення..

Основні операції передобробки описуються наступними трьома пунктами.

1. Видалення викидів – точок, що лежать «дуже далеко» від середнього значення. Зазвичай вимірюється відстань в середніх відхиленнях, наприклад, $2\sigma \sim 95\%$, $3\sigma \sim 99\%$ для нормального розподілу.

2. Нормалізація. Ознаки, що мають великі значення, можуть впливати на класифікатор сильніший за інших, що спотворює правильність класифікатора. Тому необхідно зменшити їх вплив шляхом, який носить назву нормалізації.

Нехай

x_i – прецедент,

$x_i = (x_{i_1}, \dots, x_{i_l})$ – ознаки.

Тоді

$$\bar{x}^{(k)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{i_k}, k=1,2,\dots,l \quad (2.1)$$

є усереднювання ознаки (фактично його математичне очікування).

Позначимо через

$$(\sigma^{(k)})^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_{i_k} - \bar{x}^{(k)})^2 \quad (2.2)$$

оцінку розкиду. Тоді нормалізовані ознаки задаються таким чином.

$$\tilde{x}_{i_k} = \frac{x_{i_k} - \bar{x}^{(k)}}{\sigma^{(k)}}. \quad (2.3)$$

3. Пропуск даних (втрати). По багатьом прецедентам можуть бути відомі не всі ознаки. У такому разі, якщо даних багато, то можна відібрати ті у яких набір ознак однаковий. Якщо ж відкидати ознаки не можна, то їх можна доповнити, наприклад, за допомогою евристик.

2.1.2.1. Векторна селекція ознак. Міра віддільності класів

Розглянемо дискримінантні здібності векторів ознак.

Нехай

X – множина ознак

X_r – підмножина з r ознак

$C(X_r)$ – міра віддільності класів на множині ознак X_r .

Тоді завдання виглядає таким чином:

$$C(X_r) \rightarrow \max_{X_r \leq X}. \quad (2.4)$$

Існують різні підходи до опису міри віддільності. Ми розглянемо два таких підходу: дивергенцію і матрицю розсіювання.

2.1.2.2. Дивергенція

Розглядатимемо Байєсовське правило:

$$P(\Omega_1 | x) > P(\Omega_0 | x), \quad (2.5)$$

по якому вибирається Ω_1 . Помилка класифікації задається наступним інтегралом:

$$P_l = P(\Omega_0) - \int_{R_1} [P(\Omega_1 | x) - P(\Omega_0 | x)] p(x) dx. \quad (2.6)$$

Нехай

R_l – область рішення по класу Ω_1 ; якщо $x \in R_l$, то клас Ω_1 ;

$R_1 \cup R_0 = R^l$ – весь простір ознак,

$P(\Omega_1 | x) - P(\Omega_0 | x)$ – дуже важливий показник роздільності класів. Від цієї різниці залежить помилка класифікації;

$\frac{P(\Omega_1 | x)}{P(\Omega_0 | x)}$ – інформація про розділяючі властивості вектора ознак (інша форма цього показника).

Інформацію про розділяючі властивості вектора ознак можна записати таким чином:

$$\ln \left(\frac{P(\Omega_1)}{P(\Omega_0)} \cdot \frac{p(x | \Omega_1)}{p(x | \Omega_0)} \right). \quad (2.7)$$

Якщо

$$\frac{P(\Omega_1)}{P(\Omega_0)} = const,$$

то

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \left[\ln \frac{p(x | \Omega_1)}{p(x | \Omega_0)} \right] p(x | \Omega_1) dx = D_{01}, \quad (2.8)$$

де D_{01} – характеристика віддільності. Аналогічно:

$$D_{01} = \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\ln \frac{p(x | \Omega_0)}{p(x | \Omega_1)} \right] p(x | \Omega_0) dx. \quad (2.9)$$

Позначимо через $d_{01} = D_{01} + D_{10}$ дивергенцію розділення класів по вектору ознак x . Аналогічно для випадку багатокласового завдання d_{ij} – дивергенція класів Ω_i і Ω_j . Тоді

$$d = \sum_{i=0}^k \sum_{j=0}^k P(\Omega_i) P(\Omega_j) d_{ij}. \quad (2.10)$$

Дивергенція є міра відстані між щільностями. Вона має наступні властивості:

$d_{ij} \geq 0$; $d_{ij} = 0$ при $i=j$; $d_{ij} = d_{ji}$. Якщо компоненти вектора ознак незалежні, можна показати, що $d_{ij}(x_1, x_2, \dots, x_l) = \sum d_{ij}(x_r)$.

Дивергенція враховує відмінності і в середніх, і в дисперсії. Проте, вона дуже чутлива до різниці середніх, що утрудняє використання.

2.1.2.3. Міра на основі матриць розсіювання

Головний недолік багатьох критеріїв віддільності класів – складність обчислення, якщо не проходить припущення про гаусові щільності. Ми розглянемо простій критерій, що не вимагає нормальності розподілу, побудований на інформації, що відноситься до того, як вектора ознак розкидані в просторі.

Нехай

S_i – матриця ковариації,

$S_i = E[(x - \mu_i)(x - \mu_i)^T]$, де x – вектор ознак і μ_i – середнє значення по x , що належить даному класу, $\mu_i = E(x | \Omega_i)$.

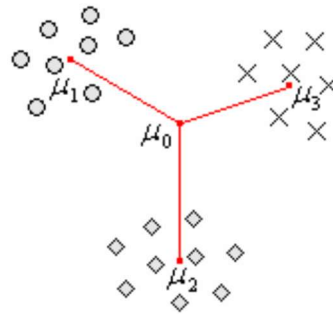


Рисунок 2.4. Середнє значення по x і загальне середнє

$S_W = \sum_{i=1}^M P_i S_i$ – матриця внутрішньокласового розсіювання, є міра дисперсії ознак, де P_i – апіорна вірогідність даного класу, $P_i = P(\Omega_i)$.

$S_b = \sum_{i=1}^M P_i (\mu_i - \mu_0)(\mu_i - \mu_0)^T$ – матриця позакласового розсіювання, де $\mu_0 = \sum_{i=1}^M P_i \mu_i$ – загальне середнє – розкид щодо загального середнього всіх класів (центр тяжіння).

S_m – змішана матриця розсіювання (ковариація щодо загального середнього), $S_m = E[(x - \mu_0)(x - \mu_0)^T] = S_W + S_b$

Слідом (позначається trace) називається сума діагональних елементів матриці.

Приклад. Нехай задана матриця $A = \|a_{ij}\|_{l \times l}$. Тоді $\text{trace}(A) = \sum_{i=1}^l a_{ii}$.

Нехай

$J_1 = \frac{\text{trace}(S_m)}{\text{trace}(S_w)}$ – критерій, що приймає великі значення, коли образи добре

кластеризуються навколо своїх середніх у межах кожного класу і кластери різних класів добре розділені. Іноді замість S_m використовують S_b . Тоді отримуємо завдання $J_1 \rightarrow \max$.

Замість критерію J_1 можна використовувати інші критерії:

$$J_2 = \frac{|S_m|}{|S_w|} = |S_m S_w^{-1}|, \quad (2.11)$$

$$J_3 = \{S_m S_w^{-1}\} \quad (2.12)$$

Останній критерій дуже зручний на практиці для аналітичних викладень.

За допомогою даних методик можна визначити найінформативніший показник. Але у зв'язку з повною відсутністю статистичної інформації по показникам, що оцінюються, на даному етапі провести розрахунки і визначити найінформативніший показник неможливо.

2.2 Оцінка якості функціонування кабельних мереж на основі надійності електропостачання споживачів

2.2.1. Основні чинники, що визначають якість електропостачання

Кажучи про надійність електропостачання, треба розрізняти його безперебійність або безперервність, а також живучість системи електропостачання і об'єкту, який живиться від неї. При цьому під безперебійністю електропостачання слід розуміти забезпечення електроенергією споживача у будь-який момент часу відповідно до режиму

його навантаження, а під живучістю – здатність системи електропостачання не допускати розвитку аварій, продовжувати роботу після пошкоджень, не допускати катастрофічних наслідків і розладів складних технологічних процесів у споживача при порушеннях електропостачання. Живучість промислових систем електропостачання як самостійна, така, що підлягає вивченню проблема була усвідомлена порівняно недавно. Мабуть, до проблеми живучості цих систем слід віднести питання електропостачання електроприймачів особливої групи в аварійних умовах і питання забезпечення самозапуску електродвигунів відповідальних механізмів.

Безперебійність живлення електроприймачів споживача залежить від надійності системи електропостачання і ступеня автоматизації останньою, від відповідності пропускній спроможності елементів системи електропостачання навантаженням споживача, від їх перевантажувальної здатності, від кратності резервування і від відсутності в енергосистемі дефіциту активної потужності і енергії.

Надійність системи електропостачання визначається надійністю елементів, які в неї входять, схемою їх з'єднання, наявністю надійних, чутливих, селективних і швидкодіючих релейних захистів, і, нарешті, якістю її експлуатації.

Надійність елементів, що входять в систему електропостачання, характеризується їх безвідмовністю, ремонтпридатністю, збереженістю (ця властивість відноситься до елементів, що знаходяться в складському, пересувному і ненавантаженому резерві) і довговічністю.

Відповідно до [9] безвідмовність – це властивість виробу зберігати працездатність протягом деякого напрацювання без вимушених перерв. Показниками безвідмовності для ремонтованих виробів можуть служити, наприклад, напрацювання на відмову і параметр потоку відмов. Для виробів неремонтованих або замінюваних після першої відмови показниками безвідмовності є, наприклад, вірогідність безвідмовної роботи і інтенсивність відмов. У більшості робіт вітчизняних авторів з питань надійності систем

електропостачання терміни "параметр потоку відмов" і "інтенсивність відмов" замінюються терміном "питома аварійність" або "питома пошкоджуваність".

Важливим чинником, що визначає безвідмовність елементу, є правильність вибору його з погляду відповідності тим умовам, в яких він повинен працювати. У зв'язку з цим є обов'язковим чітко дотримання вказівок Правил улаштування електроустановок з вибору різних елементів системи електропостачання. У загальному випадку елементи повинні відповідати умовам їх прокладки (установки), вимогам електричної міцності, механічній міцності в нормальному режимі і в режимі короткого замикання, умовам тривалого нагріву робочим струмом в нормальному, аварійному і ремонтному режимах, бути термічно стійкими при коротких замиканнях і, крім того, – для вимикачів – відключаюча здатність повинна відповідати струму, що відключається при коротких замиканнях (потужності).

Під ремонтпридатністю виробу [9] розуміє властивість виробу, що полягає в його пристосованості до попередження, виявлення і усунення відмов і несправностей шляхом проведення технічного обслуговування і ремонтів. Показником ремонтпридатності елементів системи електропостачання може служити, наприклад, середній час відновлення або зворотна йому величина – параметр потоку відновлення.

Комплексним показником, що враховує і безвідмовність і ремонтпридатність відновлюваних виробів, є вірогідність їх безвідмовної роботи, яка при експоненціальних законах розподілу часу виникнення відмов і часу відновлення записується як

$$P(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \exp[-(\lambda + \mu)t], \quad (2.13)$$

де λ і μ – параметри потоків відмов і відновленні.

Для елементів систем електропостачання прийнято вважати, що $\lambda = \text{const}$ і $\mu = \text{const}$, тобто в цьому випадку вони є також і інтенсивностями відмов і відновлень.

Стаціонарне значення функції $P(t)$ при $t \rightarrow \infty$ є коефіцієнт готовності виробу

$$k_{\tilde{A}} = \lim_{t \rightarrow \infty} P(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{T}{\tau + T}, \quad (2.14)$$

де T – напрацювання на відмову;

τ – середня часу відновлення.

Для системи без відновлення

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

Приймаючи закони розподілу експоненціальними, ми значно спростуємо завдання розрахунку вірогідності безвідмовної роботи. В цьому випадку для опису процесу виникнення аварій і відновлень у виробі може бути використана дуже зручна математична модель – простій однорідний Марківський процес. При будь-яких інших законах розподілу довелося б удатися до складніших методів рішення задачі, наприклад до методу вкладених ланцюгів Маркова або методу інтегро-диференціальних рівнянь.

Практично для всіх елементів систем електропостачання $\tau \ll T$. Так, наприклад, для кабельних ліній 10 кВ відношення середнього часу відновлення до напрацювання на відмову складає $5,32 \cdot 10^{-4}$. Тому можна нехтувати часом відновлення і прийняти, що елементи відновлюються миттєво, тобто прийняти для визначення вірогідності безвідмовної роботи елементів систем електропостачання формулу (2.15). З $\tau \ll T$ витікає також, що для елементів систем електропостачання коефіцієнт k_g завжди буде близький до одиниці, у зв'язку з чим він не може вважатися достатньо наочним показником безвідмовності елементу системи електропостачання або всієї системи в цілому.

Наступним показником надійності є збережуваність. По [9] збережуваність – це властивість виробу зберігати обумовлені експлуатаційні показники під час і після терміну зберігання і транспортування, встановленого в технічній документації. Показниками цієї властивості можуть, служити, наприклад, середній або гамма-відсотковий термін збереження. У системах

електропостачання ця характеристика надійності, як вище вже наголошувалося, відноситься до елементів, що знаходяться в складському, пересувному або ненавантаженому резерві.

Трансформатори, що знаходяться в складському резерві, повинні обслуговуватися так само, як і ті що знаходяться в роботі. Практика показує, що дотримання стосовно складського трансформаторного резерву вимог Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів електричної енергії забезпечує їх хорошу збережуваність і можливість використання в будь-який необхідний момент.

Надійність системи електропостачання залежить також і від конфігурації мережі, тобто від схеми з'єднання входних в неї елементів. Наявність в схемі резервних елементів може істотно збільшити надійність системи. У системах електропостачання промислових підприємств найбільшого поширення набув навантажений або полегшений резерв (ненавантажений резерв, як вже мовилося, застосовується порівняно рідко). Велике значення має конфігурація мережі і з погляду локалізації впливу пошкодження. Так, наприклад, пошкодження на нерезервованій радіальній лінії позначається зазвичай на меншу кількість споживачів або електроприймачів, чим таке ж пошкодження на нерезервованій магістралі.

Надійність, селективність, чутливість і швидкодія релейних захистів, що дозволяють локалізувати пошкодження, і запобігти його розповсюдженню, також робить істотний вплив на надійність роботи системи електропостачання в цілому. Зазвичай в системах електропостачання застосовують найбільш прості види захисту: максимальні струмові (з витримкою часу, відсічення, направлене), диференціальні (подовжні і поперечні), газову, мінімальної напруги і т.п. В теорії релейного захисту надійність захистів визначається як відсутність відмов в роботі і неправильних спрацьовувань, тобто практично характеризується її безвідмовністю. У розрахунках надійності систем електропостачання безвідмовність комплектів захист прийнято в даний час

визначати параметром потоку відмов, вираженим у вигляді частки від параметра потоку відмов елементу, що захищається.

Чинником, що в значній мірі визначає надійність роботи системи електропостачання, є режим нейтралі електричної мережі. У деяких джерелах затверджується навіть, що саме режим нейтралі і визначає в першу чергу надійність системи електропостачання.

Істотну роль в забезпеченні надійності систем електропостачання відіграють якість їх монтажу і експлуатації. Приведені приклади аварій, викликаних низькою якістю як монтажу, так і експлуатації електрогосподарства підприємств.

Найважливішими чинниками, що забезпечують раціональну експлуатацію систем електропостачання і що підвищують їх надійність, є:

- чітка структура управління електрогосподарством;
- належне приймання електроустановок в експлуатацію;
- своєчасне проведення планово-запобіжних ремонтів і профілактичних випробувань і заміна ненадійного і застарілого устаткування;
- технічний нагляд за роботою електроустаткування і догляд за ним;
- розробка і проведення заходів щодо попередження аварій;
- чіткий і оперативний технічний облік проведення експлуатаційних заходів;
- наявність необхідної і достатньої кількості резервних і запасних елементів.

2.2.2. Показники якості електропостачання

Для можливості проведення об'єктивного і повного порівняння можливих варіантів виконання систем електропостачання необхідно при їх оцінці враховувати приведені в п. 2.2.1 чинники, що визначають якість електропостачання споживача. У зв'язку з цим виникає необхідність в їх кількісній оцінці.

Режим електроспоживання, залежний перш за все від технологічних процесів, складу устаткування, вигляду і об'єму продукції, що випускається, а також від організації праці, визначає графік навантаження споживача. Вірогідність забезпечення цього графіка або математичне очікування енергії, отриманої відповідно до графіка, можуть розглядатися як кількісні характеристики ступеня безперебійності живлення. Крім того, ступінь безперебійності характеризується кількістю перерв і обмежень і їх тривалістю, максимальними величинами і математичними очікуваннями потужностей, що відключаються, а також вірогідністю здійснення самозапуску.

Як відомо, зміна показників якості електричної енергії в часі носить випадковий характер. Враховуючи це, для кількісної оцінки якості електричної енергії доцільно використовувати вірогідність того, що її показники знаходитимуться в допустимих межах.

Як комплексний показник якості електропостачання може розглядатися математичне очікування енергії, отриманої споживачем відповідно до графіка його навантаження при показниках якості її, що лежать в допустимих межах.

Показник якості функціонування

$$k_e = \sum_{i=1}^{m-k} P_i \cdot P_i[(A_{min} \leq A \leq A_{max}) | (s_i \geq S)] \prod_{j=1}^n P_j[(A_{min} \leq A \leq A_{max}) | (s_j \geq S)]^{v_{ij}} - \sum_{i=1}^k P_i \cdot P_i[(A_{min} \leq A \leq A_{max}) | (s_i \geq S)] \prod_{j=1}^n P_j[(A_{min} \leq A \leq A_{max}) | (s_j \geq S)]^{v_{ij}} \quad (2.16)$$

де $j=0,1,...,m$ – можливі стани системи електропостачання;

$P[s_j]$ – вірогідність знаходження системи в стані j , що характеризується пропускнуою спроможністю s_j ;

A – значення показника якості функціонування системи електропостачання;

$P[s_j \geq S]$ – показник ефективності j -го стану, що є вірогідністю того, що даний рівень пропускнуої спроможності s_j задовольнятиме графіку навантаження S .

Оскільки k_e показує вірогідність забезпечення режиму електроспоживання, математичне очікування енергії, яку зможе отримати споживач в необхідному йому режимі, складе

$$\bar{W}_{\text{пот}} = W_{\text{пот}} k_e, \quad (2.17)$$

де $W_{\text{пот}}$ – енергія, споживана споживачем за даний проміжок часу за відсутності перерв і обмежень в живленні.

Метод визначення показника k_e викладений далі.

2.2.3. Визначення імовірності знаходження системи у певному стані

Розглядається система, яка в процесі експлуатації може набувати різних станів. Ці стани є робочими, але вони відрізняються між собою якістю виконання системою своїх функцій. Зміна станів обумовлена зміною рівня надійності елементів системи. В такому разі критерієм оптимальності при порівнянні варіантів функціонування системи є максимум знаходження її в станах, коли параметри знаходяться в межах допустимих значень. Зміну станів системи можна зобразити за допомогою графів, прикладом може служити граф на рис. 2.5.

За графом (рис. 2.5) можна скласти систему диференціальних рівнянь Колмогорова. Приймаючи до уваги допущення про не врахування динаміки перехідних процесів між окремими станами ($\frac{dp_i}{dt} = 0$), система диференціальних рівнянь буде мати вид:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_{ji} p_i &= 0, \quad j = \overline{2, n} \\ \sum_{i=1}^m p_i &= 1, \end{aligned} \right\}, \quad (2.18)$$

де $P(s_j)$ – вектор ймовірностей станів досліджуваної системи; v_{ij} – елементи матриці v , яка є матрицею інтенсивностей переходів з одного стану в інший; m - кількість можливих станів досліджуваної системи; n - кількість напрямків зміни станів, що виходять з робочого стану 1 (див. рис. 2.5).

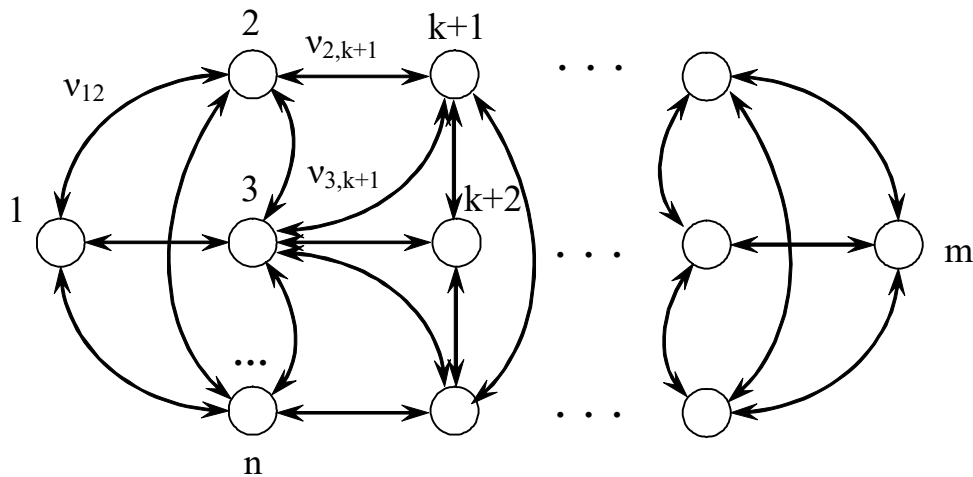


Рисунок 2.5. Граф зміни станів системи

Для визначення імовірностей робочих станів і оцінки якості функціонування досліджуваної системи необхідно розв'язати алгебраїчну систему рівнянь (2.18), яка в більш загальному вигляді записується

$$\mathbf{v} \cdot \mathbf{p} = \mathbf{b}. \quad (2.19)$$

В критеріальному програмуванні систему рівнянь ортогональності та нормування можна записати

$$\alpha \cdot \pi = \mathbf{b}, \quad (2.20)$$

α – матриця показників; π – вектор критеріїв подібності.

Проаналізувавши системи рівнянь (2.19) та (2.20), можна відмітити, що матриця коефіцієнтів $\mathbf{v}$ системи рівнянь (2.19) є аналогічною до матриці розмірностей α системи рівнянь (2.20), що застосовується в теорії подібності, а вектор $\mathbf{p}$, компоненти якого є по суті ваговими коефіцієнтами станів досліджуваного процесу, за своїм змістом відповідають вектору критеріїв подібності π , елементи якого є безрозмірними співвідношеннями параметрів системи і в тому випадку, коли вони визначаються методом інтегральних аналогів, також є ваговими коефіцієнтами складових цільової функції (пронормовані до одиниці). Отже можна провести аналогію між системою рівнянь (2.19) та (2.20).

Для підтвердження аналогії (одного з видів подібності) між системою

рівнянь ортогональності та системою рівнянь Колмогорова використаємо теореми теорії подібності. Для цього побудуємо багаточлени від матриць α та ν .

Якщо скористатись інтерполяційним багаточленом, то матрицю α системи рівнянь ортогональності (2.19) критеріального програмування і матрицю переходів ν системи рівнянь (2.21) можна привести до матричного багаточлену. Використаємо для цього експоненціальну функцію $f(z) = e^{zt}$. Якщо мінімальний багаточлен (в даному випадку це характеристичний багаточлен $\Delta(z)$) складається тільки з лінійних множників $(z - z_k)$, то достатньо визначити функцію $f(z)$ в характеристичних точках $z_1, z_2, \dots, z_m$. При цьому система рівнянь для коефіцієнтів інтерполяційного багаточлену має вигляд:

$$f(z_k) = a_0 + a_1 z_k + \dots + a_{m-1} z_k^{m-1}, \quad (2.21)$$

або в матричній формі

$$\begin{bmatrix} f(z_1) \\ f(z_2) \\ \dots \\ f(z_m) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & z_1 & z_1^2 & \dots & z_1^{m-1} \\ 1 & z_2 & z_2^2 & \dots & z_2^{m-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & z_m & z_m^2 & \dots & z_m^{m-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_{m-1} \end{bmatrix}.$$

Розв'язавши цю систему відносно $a_0, a_1, \dots, a_{m-1}$ отримаємо

$$f(A) = \sum_{i=0}^{m-1} a_i A^i.$$

Отже в загальному вигляді матриця α буде мати багаточлен виду:

$$f(\alpha) = \sum_{i=0}^{m-1} a_i \alpha^i. \quad (2.22)$$

А матриця ν :

$$f(\nu) = \sum_{i=0}^{m-1} a_i \nu^i. \quad (2.23)$$

Зробивши таке перетворення можна використовувати всі властивості скалярних багаточленів, в тому числі і наслідки теорем теорії подібності.

Відомо, що для встановлення подібності між оригіналом і моделлю замість умов:

$$\pi_i = \frac{a_i \prod_{j=1}^n u_j^{\alpha_{ji}}}{f} = \text{idem}, \quad (2.24)$$

можуть використовуватися рівнозначні їм вирази

$$\mu_i = \frac{\mu_{a_i} \prod_{j=1}^n \mu_{u_j}^{\alpha_{ji}}}{\mu_f} = 1, \quad (2.25)$$

де π_i – критерії подібності, визначені способом інтегральних аналогів; μ_i – індикатори подібності, які визначаються масштабами відповідних коефіцієнтів та параметрів моделі.

Використавши ці умови можна довести подібність матричних багаточленів і відповідних їм матриць.

Для матричних багаточленів (2.22) та (2.23) умову (2.25) можна записати:

$$\frac{\mu_{a_1}}{\mu_f} = 1; \frac{\mu_{a_2} \mu_{\alpha/v}}{\mu_f} = 1; \frac{\mu_{a_3} \mu_{\alpha/v}}{\mu_f} = 1 \text{ і т.д.},$$

$$\text{де } \mu_{a_i} = \frac{a_{i\alpha}}{a_{iv}}; \mu_{\alpha/v} = \alpha \cdot v^{-1}; \mu_f = \frac{e^{|a|t}}{e^{|v|t}}.$$

В теорії матриць є розділ матричних перетворень. Згідно з ним еквівалентне перетворення можна розглядати як переходи до нових

координатних базисів для вектора x та y , тобто $x' = Q^{-1}x$ і $y' = Py$. Тобто перетворення $\tilde{A} = PAQ$ відповідає незалежним перетворенням координат, які визначаються матрицями Q^{-1} та P (неособливі квадратні матриці).

Якщо вектори x та y перетворюються до одного координатного базису, то можна записати $P = Q^{-1}$. Тобто переходимо до перетворення подібності $\tilde{A} = Q^{-1}AQ$. Важливою властивістю перетворення подібності є те, що визначник матриці інваріантний відносно цього перетворення:

$$\det \tilde{A} = \det A.$$

Отже таке перетворення не змінює власних значень матриці, тому можна записати

$$\det[zE - \tilde{A}] = \det[zE - A].$$

Результат розв'язку системи рівнянь (2.21) для матриць $\tilde{A}$ і A буде однаковим.

Роль перетворювальної матриці Q грає модальна матриця H , тобто $\tilde{A} = H^{-1}AH$. Вона може бути визначена як сукупність стовпців $h^{(i)}$, які є розв'язком однорідних рівнянь:

$$(z_i E - A)h^{(i)} = 0 \quad i = \overline{1, n}, \quad (2.26)$$

де n – ранг матриці A .

За побудовою матриць α та v можна відшукати таку матрицю H , яка б задовольняла системі однорідних рівнянь (2.26). Отже, $\mu_{\alpha_i} = \frac{a_{i\alpha}}{a_{iv}} = 1$;

$$\mu_{\alpha/v} = \alpha \cdot v^{-1} = 1; \quad \mu_f = \frac{e^{\left| \alpha^t \right|}}{e^{\left| v^t \right|}} = 1, \quad \text{а тому виконуються умови (2.25), які}$$

підтверджують подібність матриць ортогональності критеріального

програмування та переходів системи рівнянь Колмогорова.

Подібність моделювання марковських процесів та критеріального моделювання дозволяє застосувати до системи рівнянь (2.19) принципи критеріального програмування.

Система рівнянь (2.20) в критеріальному програмуванні відповідає прямій задачі

$$\min \left\{ y(x) = \sum_{i=1}^m a_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ji}} \right\}, \quad (2.27)$$

де $y(x)$ – деякий узагальнюючий техніко-економічний показник, який характеризує процес, що досліджується; x_j – змінні параметри системи, значення яких оптимізуються; a_i , α_{ji} – постійні коефіцієнти, значення яких визначаються властивостями системи; m – кількість членів цільової функції; n – кількість змінних.

За аналогією цільова функція критеріальної програми для системи рівнянь (2.19) запишеться

$$\min \left\{ f(x) = \sum_{i=1}^m c_i \prod_{j=1}^n x_j^{v_{ji}} \right\}, \quad (2.28)$$

де $f(x)$ – функція відмов, що відображає вплив елементів системи на здатність виконувати нею поставлену задачу; c_i – постійні коефіцієнти (в задачах розглядуваного типу $c_i=1$); x_j – незалежні параметри, що характеризують стани системи.

Таким чином, отримана залежність (2.28) замість системи рівнянь, яка відображає функціонування системи електропостачання, що досліджується.

Отже, завдяки використаній подібності замість системи рівнянь (2.18) отримано функціональну залежність (2.28), за якою можна оцінювати якість функціонування системи електропостачання.

Функція (2.28) зручна у використанні якщо її перевести до

критеріального виду шляхом ділення на базис. За базис приймається значення функції (2.28) для системи на моменти введення її в експлуатацію. Критеріальна функція якості функціонування має такий вигляд:

$$k_e = \sum_{i=1}^{m-k} P_i \cdot P_i[(A_{min} \leq A \leq A_{max}) | (s_i \geq S)] \prod_{j=1}^n P_j[(A_{min} \leq A \leq A_{max}) | (s_j \geq S)]^{v_{ij}} - \sum_{i=1}^k P_i \cdot P_i[(A_{min} \leq A \leq A_{max}) | (s_i \geq S)] \prod_{j=1}^n P_j[(A_{min} \leq A \leq A_{max}) | (s_j \geq S)]^{v_{ij}}. \quad (2.29)$$

Використовуючи отриману модель можна розв'язувати такі задачі:

1. Оцінити ступінь впливу показників надійності елементів на якість функціонування системи.
2. Визначати стратегію підвищення якості функціонування системи до заданого рівня в умовах природного старіння елементів та обмежень на ресурси.
3. Оцінити необхідність та визначити черговість заходів з модернізації елементів.
4. Оцінити необхідність та визначити склад заходів для реконструкції системи за критерієм якості функціонування.

3 ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ

3.1. Загальні принципи отримання показників функціональної надійності кабельних ліній

Термін служби кабельних ліній в основному визначається властивостями електроізоляційних матеріалів. Тривалість «життя» їх залежить від дуже багатьох випадкових чинників, основними з яких, такими, що більш менш піддаються кількісним оцінкам, є теплові дії. У свою чергу, теплові навантаження на ізоляцію вказаних елементів залежать від випадкових змін струмових навантажень і температур зовнішнього середовища, а також від взаємозв'язку між змінами цих випадкових процесів. Як правило,

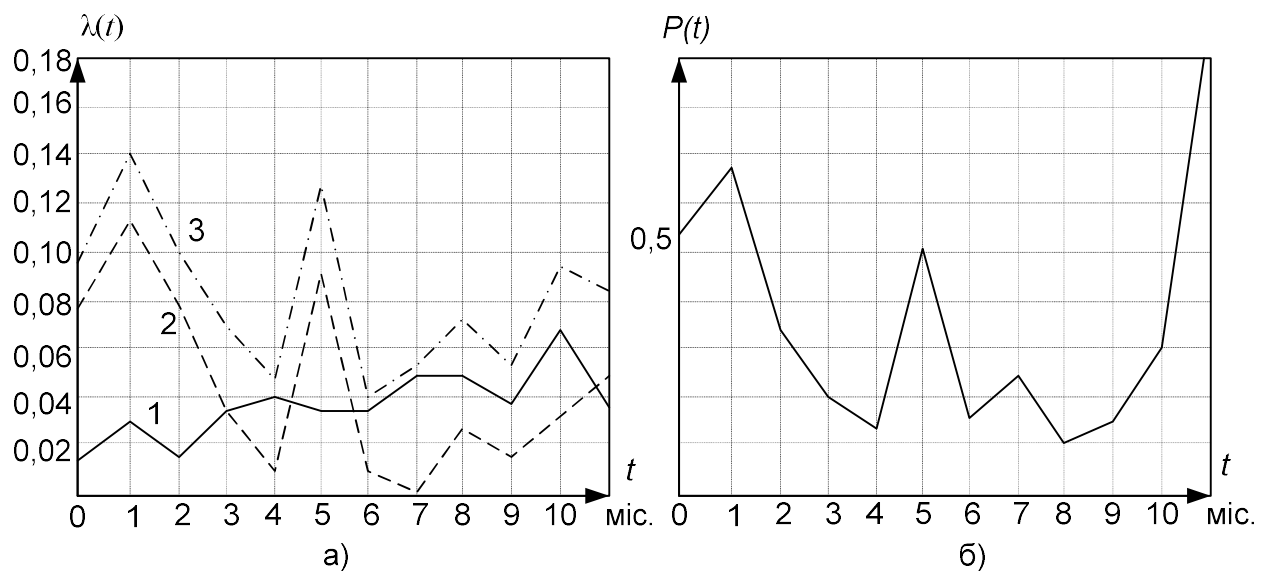


Рисунок 3.1 – Експериментальна крива інтенсивності відмов кабельних ліній протягом року (а) і річний графік максимальних середньомісячних навантажень (б).

- 1 — механічні пошкодження;
- 2 — електричний пробій ізоляції;
- 3 — загальне число пошкоджень.

пошкоджуваність ізоляції вказаних елементів зростає в період найбільших електричних навантажень і знижується із зниженням навантаження. Як приклад на рис. 3.1 Приведені залежності відмов кабельних ліній одного із заводів із-за механічних і електричних пошкоджень і графік середньомісячних навантажень, при розгляді яких легко відмітити досить тісний зв'язок цих величин. Тому на практиці представляє інтерес розробка методів вибору таких розрахункових значень навантажень, які забезпечували б заданий (по тих або інших критеріях) рівень надійності, тобто в певному значенні управління рівнем надійності вже на стадії проектування, вибором параметрів елементів систем електропостачання. Для вирішення такого роду завдань можна запропонувати два підходи:

1) отримання показників надійності ізоляції вказаних елементів на основі математичного опису випадкових процесів зміни струмового навантаження цих елементів і температури зовнішнього середовища і по ним — характеристик випадкових процесів температури ізоляції, а на їх основі з використанням теоретичних законів, що характеризують міцність ізоляції, отримання показників інтенсивностей відмов і функцій надійності, що відповідають тим або іншим значенням навантаження елементів. Аналогічний підхід використовується при виборі параметрів елементів в умовах різкозмінного режиму електроспоживання, коли визначальною умовою є вібраційне старіння ізоляції, наприклад обмоток трансформаторів, оскільки для кабельних ліній через особливості їх конструктивного виконання цей чинник мало впливає на терміни служби ізоляції;

2) менш точний спосіб, який припускає, що вибір параметрів вказаних елементів систем електропостачання проводиться з урахуванням цілком конкретних умов, наприклад температури навколишнього середовища, систем охолодження, кількості накидів і скидань навантаження при різкозмінному характері електроспоживання і т.д. Доцільно серед багатьох впливаючих чинників виділити для кількісних характеристик тільки струмове навантаження як головний чинник — теплове старіння, вважаючи, що решта

чинників може бути врахована введенням поправочних коефіцієнтів. При цьому не розглядаються закономірності зміни процесів в часі і імовірнісні особливості характеристик міцності ізоляції, тобто результати застосовні до деяких середніх умов (для математичних очікувань термінів служби, вважаючи залежності термінів служби від температури функціональними). В цьому випадку струмові навантаження, температура перегріву ізоляції, термін служби моделюються простішими математичними моделями — випадковими величинами, які функціонально взаємозв'язані між собою.

Другий підхід дозволяє, хоч і приблизно, але простіше, набуту значень розрахункових навантажень елементів, що забезпечують заданий рівень надійності.

3.2 Визначення розрахункових навантажень кабельних ліній

Відповідно до принципів, викладених раніше, доцільно детальніше зупинитися на алгоритмах можливої методики визначення розрахункових навантажень, що забезпечують заданий рівень надійності вказаних елементів. Математичний опис даних процесів в значній мірі спрощений.

Для елементів електроустаткування систем електропостачання зазвичай задається номінальний режим навантаження, при якому гарантуються технічні параметри і характеристики, що приводяться в технічних умовах. У стандартах по виготовленню силових кабелів не указується їх термін служби. Зазвичай встановлюється гарантійний термін служби вказаних елементів, але не наголошується, з яким ступенем надійності вони повинні працювати протягом цього терміну.

Критеріями допустимості того або іншого режиму є максимальна температура провідника і знос ізоляції за даний період. По термічній дії на ізоляцію силових кабелів розрізняють розрахункові навантаження, вибрані з урахуванням теплового зносу ізоляції, і розрахункові навантаження по максимально допустимій температурі. При цьому передбачається заміна дійсного змінного навантаження еквівалентною за вказаними умовами

нагріву. За основу вибору розрахункового навантаження по тепловому зносу ізоляції приймається допущення, що при тривало допустимих температурах нагріву, що нормуються для кабелів, відбувається їх нормальний знос, що умовно відповідає деякому економічно доцільному терміну служби.

При імовірнісному моделюванні навантаження для визначення розрахункового навантаження I_p в даний час широко використовується вираз

$$I_p = I_c + \beta \sigma_I, \quad (3.1)$$

де I_c і σ_I — відповідно середнє значення і середньоквадратичне відхилення струму навантаження;

β — коефіцієнт, що залежить від прийнятої вірогідності перевищення навантаженням розрахункового значення.

Від того, яке значення β задати в розрахунках, суттєво залежить значення розрахункового навантаження елемента (особливо при значних варіаціях навантаження), а отже, його номінальні параметри: техніко-економічні характеристики в експлуатації і, зокрема, його функціональна надійність. З урахуванням прийнятого допущення коефіцієнт в слідує ви брати так, щоб відповідна йому вірогідність перевищення розрахункового значення навантаження, від якого залежить термін служби ізоляції, була мала. Проте економічно доцільний термін служби елемента електричної мережі залежить від умов експлуатації: параметрів режиму роботи елемента, місцеположення в мережі, його значущості в схемі електропостачання, тип споживача і т.д.

При визначенні оптимального терміну служби, а отже, і відповідного розрахункового навантаження по зносу ізоляції однієї з складових цільової функції повинна бути складова, обумовлена здатністю навантаження елемента, яка враховувала б надійність елемента.

У нормальних умовах експлуатації основним впливаючим чинником є температура нагріву $\theta = \theta_n - \theta_0$, залежна від струмової навантаження елемента. Тут θ_0 — температура середовища, в якому знаходиться ізоляція. Тому,

знаючи функціональні залежності від навантаження елементу, можна приблизно оцінити складові тих показників надійності елементу, які визначаються зносом ізоляції, залежним від навантаження елементу і тривалості її дії. У цьому підході не враховується вплив різного роду аварійних режимів роботи елементу, Наприклад струмів крізних коротких замикань, на термін служби ізоляції.

Слід зазначити, що такий підхід не виключає оцінки впливу решти чинників на термін служби ізоляції, наприклад, шляхом введення поправочних коефіцієнтів, які враховували б конкретні умови експлуатації елементу.

В результаті рішення відомого диференціального рівняння теплового балансу можна набути значення температури нагріву θ залежно від струму навантаження I :

$$\theta = \theta_{ном} \left(\frac{I}{I_{ном}} \right)^2 (1 - e^{-rt}) + \theta_0 e^{-rt}, \quad (3.2)$$

де r — величина, зворотна постійною часу нагріву;

$\theta_{ном}$ — температура перегріву, відповідна нормальному навантаженню;

θ_0 — початкова температура перегріву.

В результаті численних досліджень навантажень в системах електропостачання з різним складом споживачів встановлено, що закони розподілу навантажень як випадкових величин підкоряються нормальним. Тому далі всі конкретні результати висловлюватимуться стосовно цього закону, проте методика справедлива також при будь-якому іншому законі розподілу навантаження.

На основі рішення рівняння теплового балансу і прийнятого нормального розподілу струму навантаження отриманий закон розподілу температури перегріву як функції струму навантаження

$$f(\theta) = \frac{I_{ном}}{\sqrt{2\pi\theta\sigma_I^2\theta_{ном}}} \exp\left(-\frac{\frac{I_{ном}^2}{\theta_{ном}}\theta + I_c^2}{2\sigma_I^2}\right) \cosh\left(\frac{I_c I_{ном}}{\sigma_I^2} \sqrt{\frac{\theta}{\theta_{ном}}}\right). \quad (3.3)$$

Представляється доцільним як розрахункове навантаження прийняти для кабелів тривало допустимий струм по нагріву. Тоді, зважаючи на те, що цьому струмові відповідає перегрів $\theta_d = \theta_{ном}$, отримуємо:

$$f(\theta) = \frac{1 + \beta\xi}{\sqrt{2\pi\theta\xi^2\theta_d}} \exp\left(-\frac{1}{2\xi^2} - \frac{(1 + \beta\xi)^2 \theta}{2\xi^2\theta_d}\right) \cosh\left(\frac{1 + \beta\xi}{\xi^2} \sqrt{\frac{\theta}{\theta_d}}\right). \quad (3.4)$$

Цей закон відноситься до законів гамма-розподілу. Випадкові значення навантаження викликають випадкові зміни температури перегріву, а отже, термін служби ізоляції t_{cm} залежно від температури нагріву θ

$$t_{cm} = A_T \exp(-\gamma\theta), \quad (3.5)$$

де γ – коефіцієнт, що характеризує ступінь старіння залежно від класу ізоляції;

A_T – термін служби ізоляції при $\theta = 0$ (деяка умовна величина),

як функція випадкової величини буде також випадковою величиною. По ньому можна оцінити час настання відмови елемента унаслідок старіння ізоляції.

На підставі розподілу температури перегріву і залежності терміну служби від температури перегріву отримують наступні показники (рис. 3.2, 3.3):

щільність вірогідності розподілу терміну служб

$$f(t_c) = \frac{1 + \beta\xi}{t_c \sqrt{2\pi\gamma\theta_{\text{Д}}\xi^2 \ln\left(\frac{A_T}{t_c}\right)}} \exp\left[-\frac{1}{2\xi^2} - \frac{(1 + \beta\xi)^2 \ln\left(\frac{A_T}{t_c}\right)}{2\gamma\theta_{\text{Д}}\xi^2}\right] \cosh\left[\frac{1 + \beta\xi}{\xi^2} \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{A_T}{t_c}\right)}{\gamma\theta_{\text{Д}}}}\right];$$

(3.6)

числові характеристики

$$\bar{t}_c = \frac{2A_T(1 + \beta\xi)}{\sqrt{2\gamma\theta_{\text{Д}}\xi^2 + (1 + \beta\xi)^2}} \exp\left[-\frac{\gamma\theta_{\text{Д}}}{2\gamma\theta_{\text{Д}}\xi^2 + (1 + \beta\xi)^2}\right];$$

(3.7)

$$\sigma_{t_c} = A_T \sqrt{1 + \beta\xi} \left\{ \frac{2 \exp\left[-\frac{2\gamma\theta_{\text{Д}}}{4\gamma\theta_{\text{Д}}\xi^2 + (1 + \beta\xi)^2}\right]}{\sqrt{4\gamma\theta_{\text{Д}}\xi^2 + (1 + \beta\xi)^2}} - \frac{4(1 + \beta\xi) \exp\left[-\frac{2\gamma\theta_{\text{Д}}}{2\gamma\theta_{\text{Д}}\xi^2 + (1 + \beta\xi)^2}\right]^{\frac{1}{2}}}{2\gamma\theta_{\text{Д}}\xi^2 + (1 + \beta\xi)^2} \right\}.$$

(3.8)

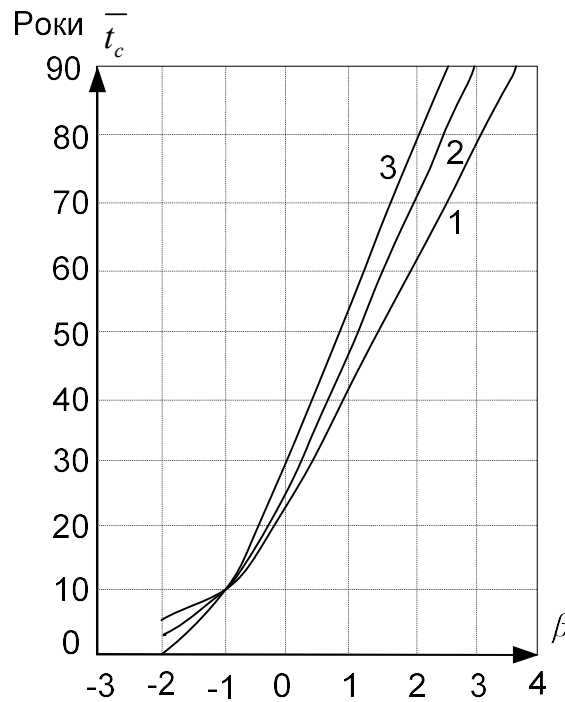


Рисунок 3.2. Залежність середнього строку служби ізоляції КЛ від коефіцієнта β розрахункового навантаження:

- 1 – при $\xi=0,2$;
- 2 – при $\xi=0,25$;
- 3 – при $\xi=0,3$.

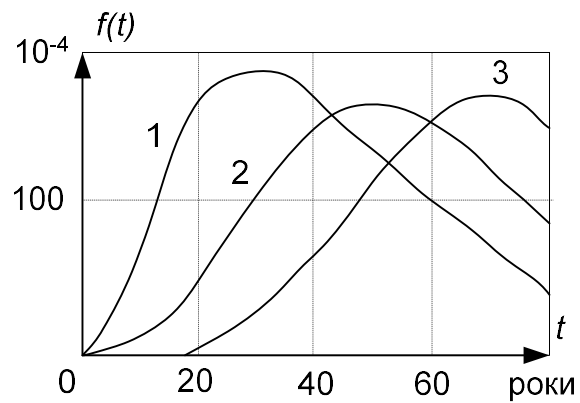


Рисунок 3.3. Диференціальна функція розподілу строку служби ізоляції КЛ при варіації розрахункового значення навантаження (коефіцієнта β):

- 1 – при $\beta=1$;
- 2 – при $\beta=2$;
- 3 – при $\beta=3$.

Для практичних розрахунків залежність середнього терміну служби в першому наближенні можна апроксимувати лінійним рівнянням для кабельних ліній:

$$\bar{t}_c = (45\xi + 8,5)\beta + 60\xi + 13. \quad (3.9)$$

На підставі отриманого закону розподілу терміну служби ізоляції можна отримати вираз для визначення інтенсивності поступових відмов унаслідок теплового зносу ізоляції (рис. 3.4)

$$\lambda_u(t_c) = \frac{(1 + \beta\xi) \exp \left[-\frac{1}{2}\xi^2 - \frac{(1 + \beta\xi)^2 \ln \left(\frac{A_T}{t_c} \right)}{2\gamma\theta_D \xi^2} \right] \times}{t_c \sqrt{2\pi\gamma\theta_D \xi^2 \ln \left(\frac{A_T}{t_c} \right)} \left\{ \Phi \left[\frac{1 + \beta\xi}{\xi} \times \right. \right.} \rightarrow$$

$$\left. \left. \times \cosh \left[\frac{1 + \beta\xi}{\xi^2} \sqrt{\frac{\ln \left(\frac{A_T}{t_c} \right)}{\gamma\theta_D}} \right] \right. \right\} \rightarrow$$

$$\left. \left. \times \sqrt{\frac{\ln \left(\frac{A_T}{t_c} \right)}{\gamma\theta_D}} - \xi^{-1} \right] + \Phi \left[\frac{1 + \beta\xi}{\xi} \sqrt{\frac{\ln \left(\frac{A_T}{t_c} \right)}{\gamma\theta_D}} + \xi^{-1} \right] - \Phi(\xi^{-1}) - \Phi(-\xi^{-1}) \right\} \quad (3.10)$$

Для практичних розрахунків цю складну залежність з достатнім ступенем точності доцільно замінити простішим виразом для кабельних ліній

$$\lambda_u(t_c) = 10^{-4} \left[\frac{1,8}{\xi} t_c + (240 - 100\beta)(1 - e^{-0,08t_c}) \right]. \quad (3.11)$$

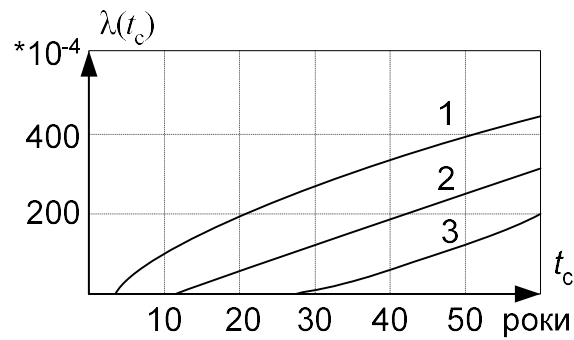


Рисунок 3.4. Інтенсивність відмов КЛ внаслідок теплового старіння ізоляції в залежності від часу експлуатації при варіації розрахункових значень навантаження (коефіцієнта β):

- 1 – при $\beta=1$;
- 2 – при $\beta=2$;
- 3 – при $\beta=3$.

3.3. Приклад розрахунку показників функціональної надійності КЛ

Оцінка якості електропостачання

Проілюструємо процес оцінки якості системи електропостачання на прикладі схеми наведеної на рис. 3.5, яка живить навантаження, що змінюється за наведеним графіком (рис. 3.7). Оцінку якості цієї системи будемо проводити з урахуванням відхилення напруги у вузлі живлення.

ПС 110/10 кВ "Західна" Ф-165

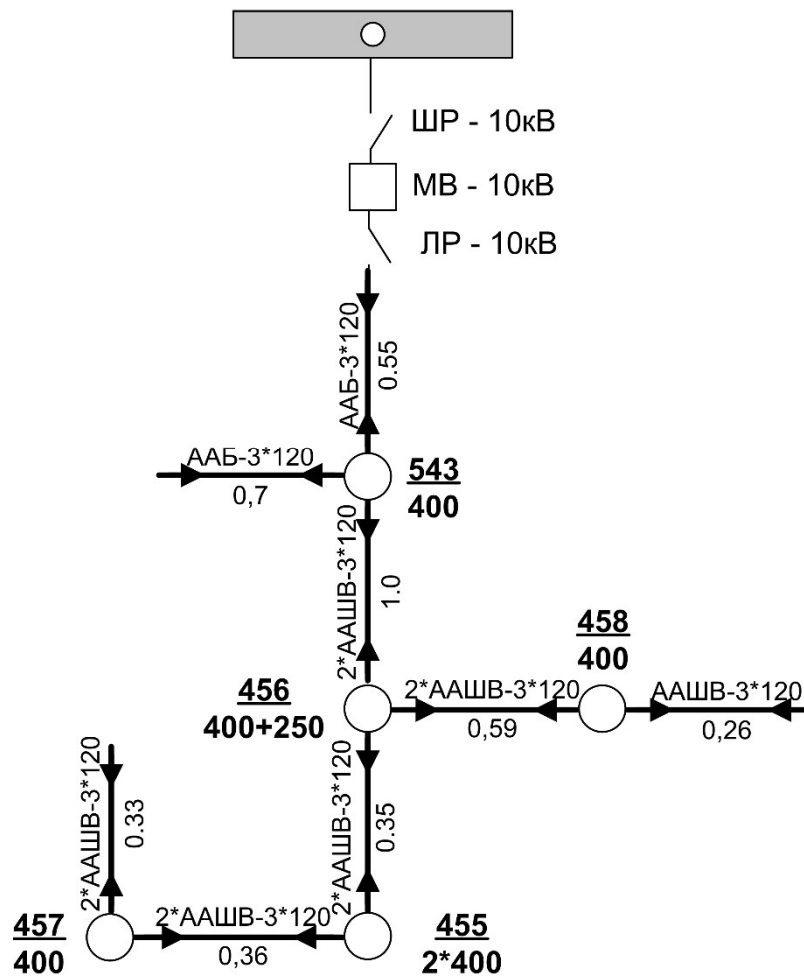


Рисунок 3.5. Схема електропостачання споживачів ПС 110/10 кВ
«Західна» Ф-165

Для ділянки кабельної лінії цієї схеми граф зміни станів буде мати вид наведений на рис. 3.6. Пояснення станів:

- стан 0 – лінія і вимикач працюють;
- стан 1 – лінія відмовила, вимикач працює;
- стан 2 – вимикач відмовив, лінія працює;
- стан 3 – вимикач і лінія відмовили.

Під час побудови графу прийнято допущення щодо ідеальної надійності автоматики та релейного захисту застосованого в цій системі.

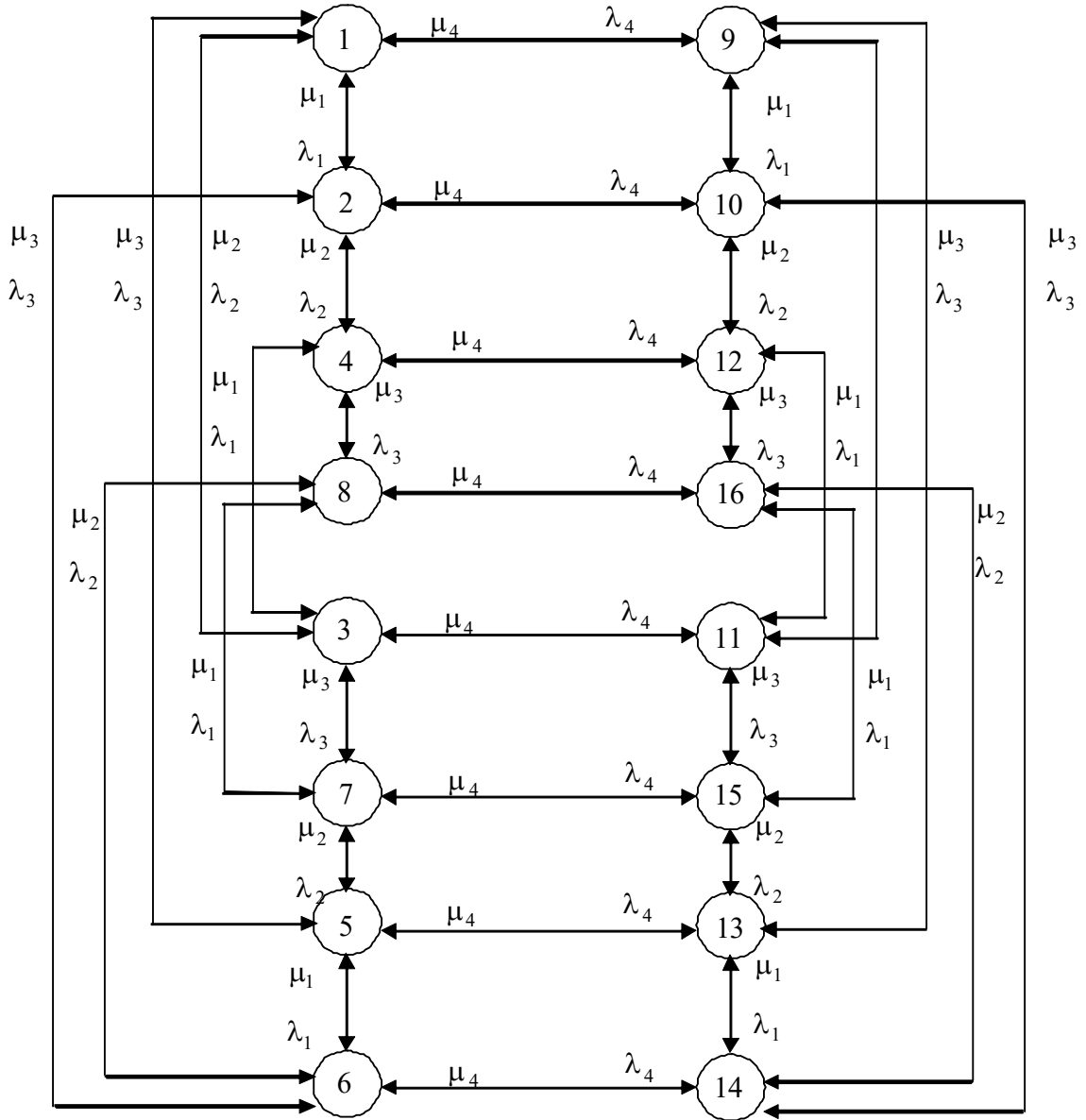


Рисунок 3.6. Фрагмент графу станів кабельних ліній фідера 165

За графом (рис. 3.6) можна скласти систему рівнянь (3.12)

$$\begin{cases}
 -P[s_1] \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) + P[s_2] \cdot \mu_1 + P[s_3] \cdot \mu_2 + P[s_5] \cdot \mu_3 + P[s_9] \cdot \mu_4 = 0 \\
 P[s_1] \cdot \lambda_1 - P[s_2] \cdot (\mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) + P[s_4] \cdot \mu_2 + P[s_6] \cdot \mu_3 + P[s_{10}] \cdot \mu_4 = 0 \\
 P[s_1] \cdot \lambda_2 - P[s_3] \cdot (\mu_2 + \lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_4) + P[s_4] \cdot \mu_1 + P[s_7] \cdot \mu_3 + P[s_{11}] \cdot \mu_4 = 0 \\
 P[s_8] \cdot \lambda_4 + P[s_{12}] \cdot \lambda_3 + P[s_{14}] \cdot \lambda_2 + P[s_{15}] \cdot \lambda_1 - P[s_{16}] \cdot (\mu_4 + \mu_3 + \mu_2 + \mu_1) = 0, \\
 \sum_{i=1}^{16} P[s_i] = 1
 \end{cases} \quad (3.12)$$

Розв'язавши систему рівнянь (3.12) відносно $P[s_i]$ можна визначити

імовірності станів системи.

Показник якості функціонування визначаємо по формулі:

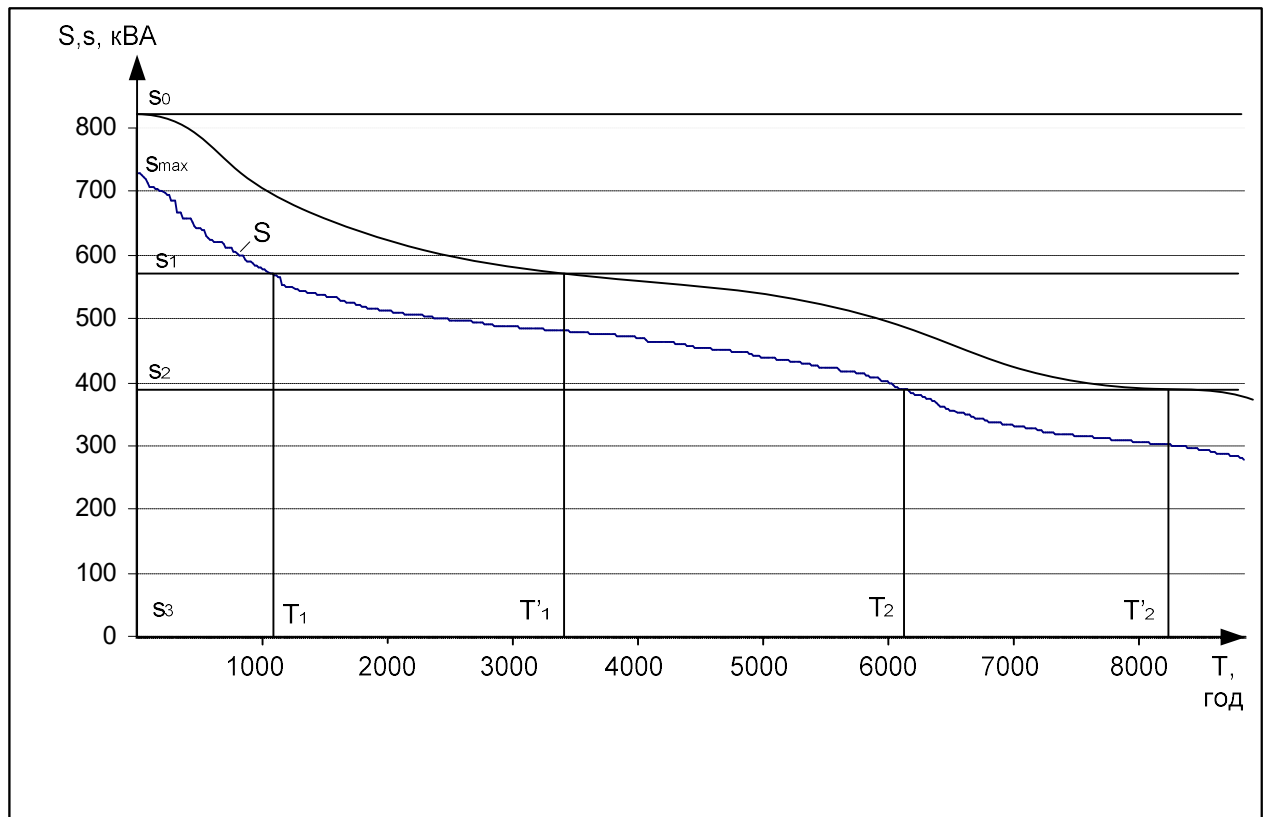


Рисунок 3.7. Графік надходження потужності з ТП 110/10 кВ та рівні пропускної здатності для різних станів системи електропостачання

Таблиця 3.1

Інтенсивність відмов та відновлень відповідно до графу

№	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
1	0,000022831	0,000022831	0,3	0,1	0,25	0,25	0,25	0,25
2	0,000022831	0,000022831	0,0005	0,00003	0,5	0,5	0,5	0,5

Розв'язавши систему рівнянь (3.12) за даними табл. 3.1, варіант 1 та 2, отримуємо такі значення:

Таблиця 3.2

Результати визначення імовірностей станів

№ стану	Варіант №1	Варіант №2
$P[s_1]$	0,396182	0,898631

$P[s_2]$	0,226141	0,00057
$P[s_3]$	0,226141	0,00057
$P[s_4]$	0,129081	3,25E-07
$P[s_5]$	0,004524	0,000114
$P[s_6]$	0,002583	6,51E-08
$P[s_7]$	0,002583	6,51E-08
$P[s_8]$	0,001474	3,72E-11
$P[s_9]$	0,004524	0,000114
$P[s_{10}]$	0,002583	6,51E-08
$P[s_{11}]$	0,002583	6,51E-08
$P[s_{12}]$	0,001474	3,72E-11
$P[s_{13}]$	5,17E-05	1,3E-08
$P[s_{14}]$	2,95E-05	7,43E-12
$P[s_{15}]$	2,95E-05	7,43E-12
$P[s_{16}]$	1,68E-05	4,24E-15

Як видно, коефіцієнт якості функціонування k_e після реконструкції зріс більш ніж у два рази. Це свідчить про те, що процес реконструкції ділянки КЛ підвищує функціональну надійність лінії, підвищує надійність електропостачання споживачів, тобто є виправданим.

Таблиця 3.3

Значення показника якості функціонування для підстанцій споживачів ф 165

№ варіанту	543	456	458	455	457
1	0,68	0,6	0,54	0,53	0,5
2	0,95	0,945	0,939	0,925	0,92

На основі таких розрахунків можна також робити вибір оптимальної стратегії проведення реконструкції КЛ, вибираючи найоптимальнішу стратегію по найбільшому k_e .

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської роботи розробляються заходи з охорони праці в процесі монтажу та реконструкції кабельних ліній. Отже, на оперативно-ремонтний персонал, що здійснює монтаж, реконструкцію, ремонт і обслуговування кабельних ліній, впливають такі шкідливі виробничі фактори [19, 20]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

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

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць на КЛ

Земляні роботи, пов'язані з ремонтом або прокладанням кабелю в зоні розташування підземних споруд та комунікацій, слід проводити з письмового дозволу керівників підприємства або цеху, відповідальних за експлуатацію цих споруд та комунікацій [3]. До дозволу слід додавати план з вказівкою про розміщення та глибину закладання комунікацій.

У разі пошкодження підземної споруди, яке спричиняє небезпеку для тих, хто працює, або у разі виявлення не зазначених на планах кабелів, трубопроводів, підземних споруд, боєприпасів керівник робіт повинен негайно припинити роботи у цьому місці і повідомити про те, що сталося, працівнику, який видав наряд, та організації-власнику виявленої (пошкодженої) споруди. Виконання робіт можна продовжити тільки після отримання дозволу від відповідних організацій. У разі виявлення у траншеях або котлованах запаху газу роботи в них слід негайно припинити, а працівників вивести з небезпечної зони. Роботи можна поновити тільки після усунення причин витікання газу.

Забороняється застосування машин та механізмів ударної дії ближче 5 м від траси кабелів, а землерийних машин - в межах охоронної зони КЛ. Застосування землерийних машин в межах охоронної зони КЛ дозволяється тільки під час проведення розкопок під наглядом працівників, які експлуатують цю лінію. У разі проведення розкопок безпосередньо над кабелем застосування землерийних машин та пневматичних інструментів, а також ломів та кирок допускається тільки на глибину, при якій до кабелю або захисного покриття залишається шар ґрунту не менше як 0,3 м. Подальше виймання ґрунту слід проводити вручну лопатами.

Місце робіт, де проводиться копання котлованів, траншей або ям, слід огородити. На огороженні слід встановити попереджувальні знаки і написи, а в нічний час – сигнальне освітлення. Під час копання траншей у слабкому або вологому ґрунті, коли є загроза обвалу, їхні стіни повинні бути надійно укріплені. У сипких ґрунтах роботи можна проводити без укріплення, але з укусами, що відповідають куту природного укусу ґрунту.

В ґрунтах з природною вологістю, у разі відсутності ґрунтових вод і розташованих поблизу підземних споруд, копання котлованів та траншей з вертикальними стінками без укріплення дозволяється на глибину не більше: 1 м – в насипних, піщаних та великоуламкових ґрунтах; 1,25 м – в супісках; 1,5 м – в суглинках і глинах. У щільних зв'язних ґрунтах траншеї з вертикальними

стінками рити роторними та траншейними екскаваторами без встановлення укріплень допускається на глибину не більше 3 м. Забороняється у цьому разі працівникам спускатись в траншеї. В місцях траншеї, де необхідно перебувати працівникам, слід влаштовувати укріплення або робити укоси. Взимку розроблення ґрунту (крім сухого) на глибину промерзання допускається без укріплень.

Влаштування укріплень котлованів та траншей глибиною до 3 м, як правило, повинно бути інвентарним та виконуватись за типовими проектами.

Проведення робіт в котлованах та траншеях зі зволоженими укосами дозволяється тільки після ретельного огляду керівником робіт (майстром) стану ґрунту, укосів.

Розкриті муфти слід закріплювати на дошці, що підвішена за допомогою дроту або тросів до перекинутих через траншею брусів, та закривати коробами. Одна стінка коробка повинна бути знімною та закріплюватись без використання цвяхів. На коробки, що закривають відкопані кабелі, необхідно вивісити попереджувальні плакати або знаки безпеки.

Забороняється використовувати для підвішування кабелів сусідні кабелі, трубопроводи тощо. Кабелі слід підвішувати, не допускаючи їх зміщення. Перед розкриванням муфт або розрізанням кабелю необхідно впевнитись в тому, що робота буде виконуватись на кабелі, який підлягає ремонту, що цей кабель вимкнено і вжито інших технічних заходів, необхідних для допуску до робіт на ньому. На робочому місці розміщення кабелю, що підлягає ремонту, слід визначити:

- у разі прокладання кабелю в тунелі, колекторі, каналі та інших кабельних спорудах або по стінках будівель – простеженням, звірюванням розкладки з кресленнями та схемами, перевіркою за бирками;

- у разі прокладання кабелю в землі – звірюванням його розміщення з кресленнями прокладання. З цією метою слід попередньо викопати контрольну траншею (шурф) впоперек пучка кабелів, яка дає змогу бачити всі

кабелі. В усіх випадках, коли відсутнє видиме пошкодження кабелю, слід застосовувати кабелепошукові апарати.

Перед розрізуванням кабелю або розкриванням з'єднувальної муфти необхідно упевнитись у відсутності напруги за допомогою спеціального пристосування. Це пристосування повинно забезпечити проколювання або розрізування броні і оболонки кабелю до жил із замиканням їх між собою і заземленням. Спеціальне пристосування, як правило, повинно бути з дистанційним керуванням. У тунелях, колекторах, колодязях та інших кабельних спорудах застосовувати спеціальні пристосування без дистанційного керування не допускається. Для заземлення спеціального дистанційного пристосування слід застосовувати заземлювач, заглиблений у ґрунт на глибину не менше 0,5 м.

Якщо внаслідок пошкоджень кабелю залишились відкритими всі струмовідні жили, відсутність напруги можна перевіряти безпосередньо показчиком напруги без проколювання кабелю. У разі використання пристосування у вигляді ізолювальної штанги з голкою і різальним наконечником необхідно застосовувати спеціальний металевий захисний екран. Для проколювання кабелю слід надягати діелектричні рукавички та захисні окуляри. У цьому разі стояти слід на ізолювальній основі зверху траншеї якомога далі від кабелю, що проколюється. Проколювання кабелю повинні здійснювати два працівники: допускач та керівник робіт; один з них безпосередньо проколює кабель, а другий спостерігає. У разі, якщо керівник робіт суміщає обов'язки допускача, другим працівником може бути працівник з групою IV.

На внутрішніх кабельних лініях електростанцій та підстанцій, де довжина та спосіб прокладання кабелів дозволяють, користуючись кресленнями, бирками, кабелепошуковим апаратом, точно визначати кабель, що підлягає ремонту, допускається за рішенням працівника, який видав наряд, не проколювати кабель перед його розрізуванням або розкриванням муфти.

Розкривати з'єднувальні муфти та розрізувати кабель у тому разі, коли попереднє проколювання не робиться, слід заземленим інструментом, надягнувши діелектричні рукавички і захисні окуляри та стоячи на ізолювальній основі. Після попереднього проколювання ті самі операції на кабелі можна виконувати без зазначених додаткових заходів безпеки.

4.1.2 Електробезпека

Основні технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

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

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

- провести необхідні вимкнення і вжити заходів щодо запобігання помилковому або самочинному вмиканню комутаційної апаратури;
- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційної апаратури. За необхідності струмопровідні частини слід огороджувати;
- приєднати до "землі" переносні заземлення;
- перевірити відсутність напруги на струмопровідних частинах, на які слід встановити заземлення. Якщо переносні заземлення планується ставити поблизу струмопровідних частин, що не входять в зону робочого місця, то їх огороження слід встановити до перевірки відсутності напруги та заземлення;
- встановити заземлення (увімкнути заземлювальні ножі, приєднати до вимкнених струмопровідних частин переносні заземлення) безпосередньо після перевірки відсутності напруги та вивісити плакати "Заземлено" на приводах вимикальних комутаційних апаратів;
- огородити, у разі необхідності, робочі місця або струмопровідні частини, що залишились під напругою, і вивісити на огороженнях плакати

безпеки. Залежно від місцевих умов струмопровідні частини огорожують до або після їх заземлення.

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

Крім наведених вище засобів захисту в електроустановках повинні застосовуватись такі ЗІЗ: захисні каски – для захисту голови; захисні окуляри і щитки – для захисту очей і обличчя; протигази і респіратори – для захисту органів дихання; рукавиці – для захисту рук; запобіжні пояси та страхувальні канати.

Вибір необхідних електрозахисних засобів, засобів захисту від дії ЕП, а також ЗІЗ регламентується [3], а також іншими відповідними нормативними документами (НД) з урахуванням місцевих умов. У разі застосування основних ізолювальних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб, крім випадків, що обумовлені в цих Правилах. У разі необхідності захисту працівника від напруги кроку дозволяється використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів захисту.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат виробничих приміщень

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99. Мікроклімат приміщення характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання. Оперативно-ремонтні роботи з обслуговування кабельних ліній відносяться до категорії Пб по важкості праці [26]. Енерговитрати за цією категорією становлять – до 140-174Вт.

Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Допустимі норми параметрів повітря

Період року	Категорія робіт	Температура, °С Допустима		Відносна вологість	Швидкість руху, X
		Верхня межа	Нижня межа	Допустима	Допустима
Холодний	Пб	20-24	17-25	75	не більше 0,2
Теплий		21-28	19-30	55 при 27 °С	0,1-0,3

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [26]. При здійсненні випробувальних робіт виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні в приміщення може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при оздоблювальних технологічних процесах в будівництві, що знаходяться в повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери, в робочій зоні для обслуговуючого персоналу

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ДСН [27] проектом передбачені наступні рішення [7]: застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановленні безпосередньо на ділянках біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення; необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні; застосовувати природну вентиляцію: організовану та неорганізовану.

4.2.3 Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт в процесі досліджень – середньої точності [8]. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». Допустимі рівні виробничого освітлення наведені в таблиці 4.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

4.2.4 Виробничий шум

Джерелом шуму є обладнання, машини, механізми та верстати – механічний шум.

Під час виконання дослідницьких робіт виникає виробничий шум з такими характеристиками: за характером спектру – широкопasmовий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою постійний; за походженням – механічний і гідродинамічний.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами ДСН 3.3.6.037 [19] і наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звукового тиску, ДБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для зменшення рівня шуму до допустимого двигуни машин і механізмів виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушну раковину.

4.2.5 Виробничі вібрації

Допустимі рівні загальної вібрації на постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях [10] наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація:	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-
На постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях										

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10^{-2} , знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

4.3. Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні [11, 12]. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019 [23], за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою [24].

Приміщення п/ст за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, з зонами П-ІІІ (місця, де зберігаються тверді горючі речовини).

Будівлі, в яких зазвичай розташовані п/ст, характеризується ІІІ ступенем вогнестійкості.

До ІІІ ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)							
	стіни				коло-ни	сходові площадки,	пере-криття між по-	елементи суміщених покриттів
	несучі	само-	зов-	внут-				

кості будинків	та сходових кліток	несучі	нішні не-несучі	рішні не-несучі (перегородки)		костури, сходи, балки, марші сходових кліток	верхові (у т.ч. горищні та над підвалами)	плити, настипли, прогни	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 4.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 4.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 4.8 (знаменник) [34].

Таблиця 4.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IV, V
III	8/9	8/12	10/15

В приміщеннях п/ст встановлено 15 вогнегасників ВП-5 [16].

ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській кваліфікаційній роботі було досліджене питання оптимізації процесу поетапної реконструкції КЛ.

Питання реконструкції КЛ у даний час є надзвичайно актуальним. Це пояснюється кількома причинами. По-перше, основна частина кабельних ліній, що знаходяться в експлуатації енергопостачальних компаній, відпрацювала по 25–30 років, тобто термін експлуатації цих КЛ вже закінчився або закінчиться в найближчому майбутньому. Ці лінії потребують заміни. По-друге, за останнє десятиліття значно збільшилось навантаження споживачів, в тому числі і за рахунок впровадження індивідуального електроопалення. КЛ, прокладені у 70-х–80-х роках минулого століття, нерозраховані на такий рівень потужності, що передається, і тому потребують реконструкції. По-третє, з'явилися нові типи кабелів, які мають кращі експлуатаційні характеристики і забезпечують вищий рівень надійності електропостачання.

Процес реконструкції КЛ пов'язаний із певними економічними затратами та зменшенням рівня надійності електропостачання в зв'язку з виведенням з експлуатації на час реконструкції певної ділянки КЛ. Оптимізація процесу реконструкції КЛ проводилась саме на основі показників надійності електропостачання та економічності процесу реконструкції.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувались такі завдання:

1. Аналіз параметрів, які впливають на рівень надійності КЛ, за якими можна оцінювати якість функціонування КЛ, оцінка їх з точки зору інформативності. Була запропонована методика оцінки цих параметрів з точки зору інформативності. Але в зв'язку з відсутністю статистичних даних по цим параметрам, практична оцінка не проводилась.

2. Дослідження можливості використання положень теорії подібності та теорії марковських процесів в задачах оцінки якості функціонування з метою оптимізації процесу реконструкції розподільних міських мереж.

3. Розробка математичних моделей якості функціонування розподільних мереж на основі подібності моделювання марковських процесів і

критеріального моделювання. За допомогою цих моделей був проведений практичний розрахунок, який підтвердив раціональність та виправданість реконструкції з точки зору підвищення якості функціонування КЛ.

Для аналізу та розв'язання поставлених задач використані узагальнюючі методи теорії подібності і моделювання, метод лінійного та нелінійного програмування. Моделювання якості функціонування кабельних мереж здійснювалося з використанням методів теорії марковських процесів та критеріального моделювання.

У роботі запропонований метод математичного моделювання якості функціонування міських розподільних мереж, використовуючи схожість математичних моделей марковських процесів та критеріального моделювання, що дозволяє оцінити якість функціонування для врахування рівня надійності кабельних ліній під час реконструкції міських мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Відновлювана енергетика XXI століття: X міжнарод. наук.-практ. конф.: матеріали конференції. – Крим, 2011. – 396 с.
2. Відновлювана енергетика XXI століття: XI міжнарод. наук.-практ. конф.: матеріали конференції. – Крим, 2011. – 405 с.
3. R. W. Wies, R. A. Johnson, J. Aspnes. *DESIGN OF AN ENERGY EFFICIENT STANDALONE DISTRIBUTED GENERATION SYSTEM EMPLOYING RENEWABLE ENERGY SOURCES AND SMART GRID TECHNOLOGY // Proceedings of IEEE Power & Energy Society General Meeting.* – 2010. – P. 1-8.
4. Кириленко О. В., Трач І. В. Технічні особливості функціонування енергосистем при інтеграції джерел розподіленої генерації / О. В. Кириленко, І. В. Трач // *Праці Інституту електродинаміки НАН України.* – 2009. – Вип. 24. – С. 3–7. – ISSN 1727-9895.
5. A. Kim, H. Seo, G. Kim, M. Park, I. Yu, Y. Otsuki, J. Tamura, S. Kim, K. Sim, K. Seong. *OPERATING CHARACTERISTIC ANALYSIS OF HTS SMES FOR FREQUENCY STABILIZATION OF DISPERSED POWER GENERATION SYSTEM // IEEE Transmitting On Applied Superconductivity.* – 2010. – Vol. 20. – № 3. – P. 1334-1338.
6. Лежнюк П. Д. Оптимальне керування розосередженими джерелами енергії в локальній електричній системі / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. А. Ковальчук // *Праці Інституту електродинаміки НАН України. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. Ч. 1.* – 2011. – С. 48–55. – ISSN 1727-9895.
7. Ahmed W. Sheta A.F. *OPTIMIZATION OF ELECTRIC POWER DISTRIBUTION USING HYBRID SIMULATED ANNEALING APPROACH // Amerrikan Jornal of Applied Sciences.* – 2008/ – Vol. 5. – P. 559–564.
8. Mithulananthan N., Than O. *DISTRIBUTED GENERATOR PLACEMENT TO MAXIMIZE THE LOADABILITY OF DISTRIBUTION SYSTEM // IJEE.* – 2006. Vol. 43. – P. 107–118.

9. Dolezal J., Sautarius P., Tlustý J. *THE EFFECT OF DISPERSED GENERATION ON POWER QUALITY IN DISTRIBUTION SYSTEM* // *Quality and Security of Electric Power Delivery System. CIGRE/IEEE PES International Symposium.* – 2003. – P. 204–207.

10. Esposito G., Golovaton N., Lazaroiu C., Zaninelli D. *IMPACT OF EMBEDDED GENERATION ON THE VOLTAGE QUALITY OF DISTRIBUTION NETWORKS* // *Electrical Power Quality and Utilisation, EPQU.* – 2007. Vol. 3. – № 1. Режим доступу: http://www.leonardo-energy.org/webfm_send/1079.

11. Мокін Б. І. Математичні моделі робастної стійкості та чутливості нелінійних систем / Б. І. Мокін, С. В. Юхимчук. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 122 с.

12. Комар В. О. Критеріальне моделювання якості функціонування розподільних мереж / В. О. Комар, А. Л. Поліщук // Вісник Львівського національного технічного університету. – №637. – 2009. – с. 35-39.

13. Лежнюк П. Д. Врахування якості функціонування розподільних систем під час їх реконструкції / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, В. О. Лесько, А. Л. Поліщук // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. Михайла Остроградського. – частина 1. – №3(56). – 2009. – с. 172-175.

14. Лежнюк П. Д. Критеріальне моделювання в задачах оцінки якості функціонування систем / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, Ю. В. Томашевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2003. – №3. – С.48–52.

15. Лежнюк П. Д. Оцінка якості оптимального керування критеріальним методом / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 108 с.

16. Cost Related Reliability Measures for Power System Equipment / George J. Anders, Armando M. Leite da Silva // *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 15, №. 2, May 2000. – P. 654 – 660.

17. Комар В. О. Узагальнена техніко-економічна оцінка ефективності реконструкції розподільних електричних мереж / В. О. Комар, А. Л. Поліщук

// Вісник Львівського національного технічного університету. – №666. – 2010. – с. 47-52.

18. Лежнюк П. Д. Додаткові втрати електроенергії як результат взаємовпливу електричних мереж / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. Б. Бурикін, А. Л. Поліщук // Енергетика: проблеми та перспективи. Погляд громадськості. Збірка №4. – Київ: ОЕП “ГРІФРЕ”, 2007. – С. 180-184.

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

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

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

22. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

23. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

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

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

26. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

27. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку

та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

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

29. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

30. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.

31. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.

32. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

33. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

34. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ)
РОБОТИ

Назва роботи: «Оптимізація етапності реконструкції кабельних ліній»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота

(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (вказати))

Підрозділ: Кафедра електричних станцій та систем

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник: д.т.н., зав. кафедри ЕСС Комар В. О.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

StrikePlagiarism	
Оригінальність	64,94
Загальна схожість	35,06

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

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

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор

(підпис)

Ситник С.В.

(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Вишневський С.Я

(прізвище, ініціали)

Експерт

(за потреби)

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

ДОДАТОК Б

ІЛЮСТРАЦІЙНА ЧАСТИНА

**«Вплив відновлюваних джерел енергії на режими електричних мереж
операторів системи розподілу»**

Оптимізація етапності реконструкції кабельних ліній

Ситник Станіслав Валерійович

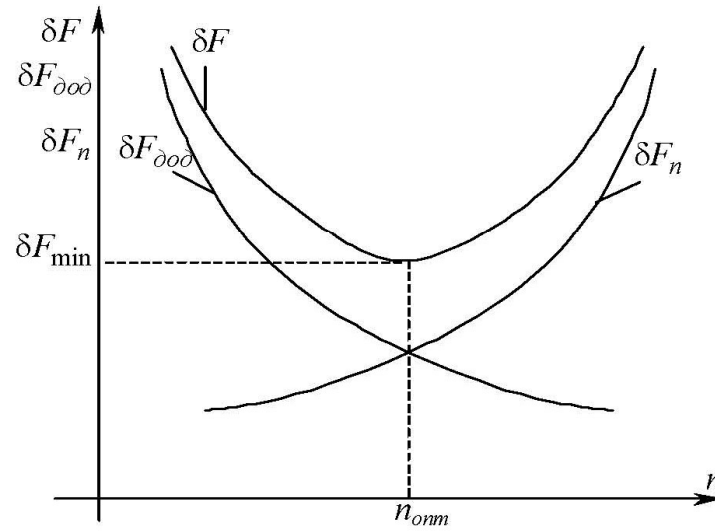
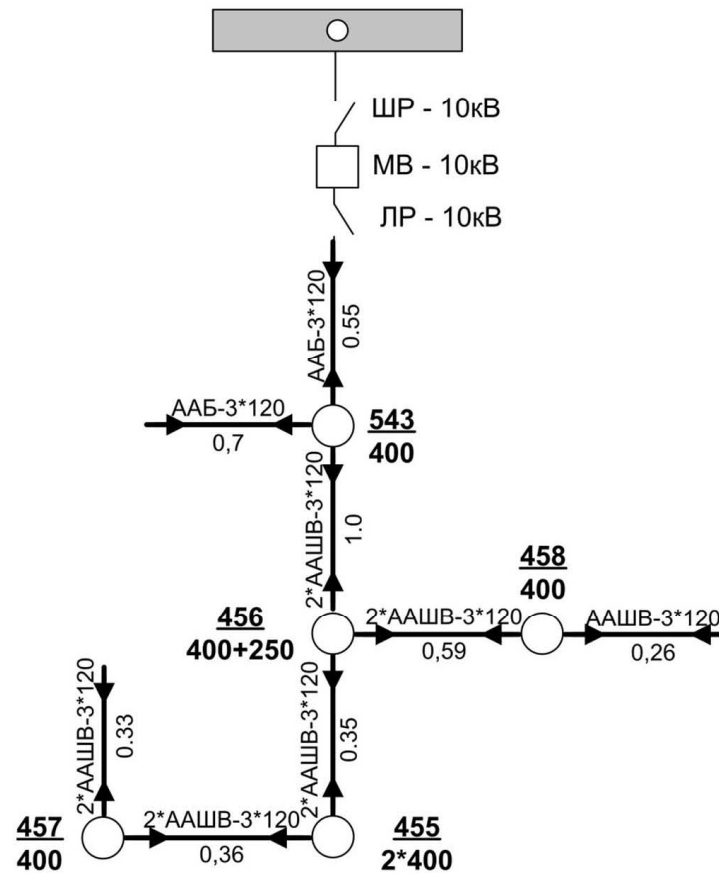


Рисунок - Конкурующий эффект між $\Delta F_{\partial o \partial}$ та ΔF_n

$$k_e = \sum_{i=1}^{m-k} P_i \cdot P_i \left[(A_{min} \leq A \leq A_{max}) | (s_i \geq S) \right] \prod_{j=1}^n P_j \left[(A_{min} \leq A \leq A_{max}) | (s_j \geq S) \right]^{v_{ij}} -$$

$$- \sum_{i=1}^k P_i \cdot P_i \left[(A_{min} \leq A \leq A_{max}) | (s_i \geq S) \right] \prod_{j=1}^n P_j \left[(A_{min} \leq A \leq A_{max}) | (s_j \geq S) \right]^{v_{ij}}$$

ПС 110/10 кВ "Західна" Ф-165



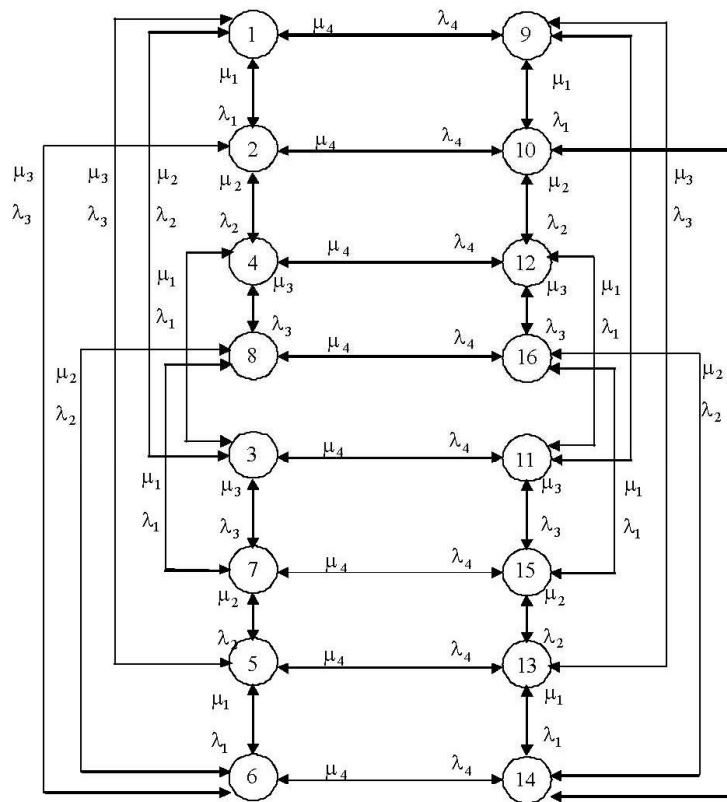


Рисунок - Фрагмент графу станів
кабельних ліній фідера 165

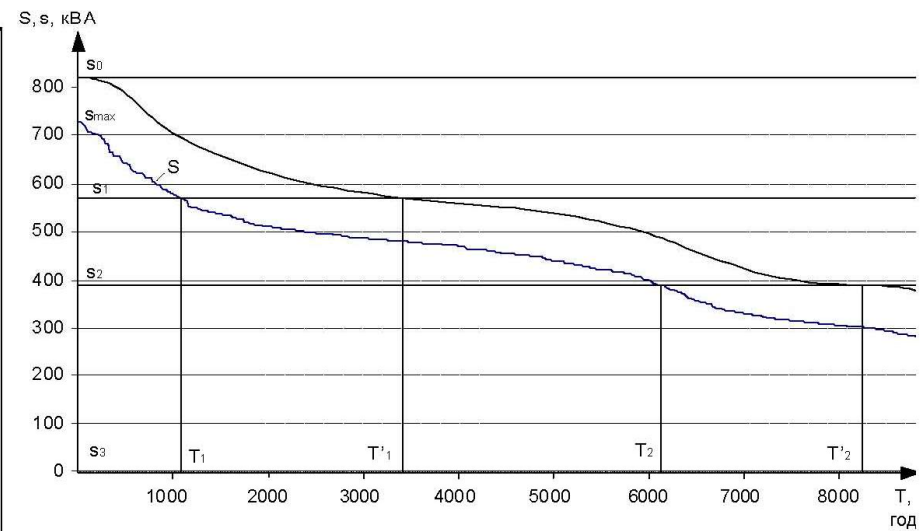


Рисунок - Графік навантаження ТП 110/10 кВ
та рівні пропускної здатності для різних станів
системи електропостачання

$$\begin{cases} -P[s_1] \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) + P[s_2] \cdot \mu_1 + P[s_3] \cdot \mu_2 + P[s_5] \cdot \mu_3 + P[s_9] \cdot \mu_4 = 0 \\ P[s_1] \cdot \lambda_1 - P[s_2] \cdot (\mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) + P[s_4] \cdot \mu_2 + P[s_6] \cdot \mu_3 + P[s_{10}] \cdot \mu_4 = 0 \\ P[s_1] \cdot \lambda_2 - P[s_3] \cdot (\mu_2 + \lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_4) + P[s_4] \cdot \mu_1 + P[s_7] \cdot \mu_3 + P[s_{11}] \cdot \mu_4 = 0 \\ P[s_8] \cdot \lambda_4 + P[s_{12}] \cdot \lambda_3 + P[s_{14}] \cdot \lambda_2 + P[s_{15}] \cdot \lambda_1 - P[s_{16}] \cdot (\mu_4 + \mu_3 + \mu_2 + \mu_1) = 0 \\ \sum_{i=1}^{16} P[s_i] = 1 \end{cases}$$

№ стану	Варіант №1	Варіант №2
$P[s_1]$	0,396182	0,898631
$P[s_2]$	0,226141	0,00057
$P[s_3]$	0,226141	0,00057
$P[s_4]$	0,129081	3,25E-07
$P[s_5]$	0,004524	0,000114
$P[s_6]$	0,002583	6,51E-08
$P[s_7]$	0,002583	6,51E-08
$P[s_8]$	0,001474	3,72E-11
$P[s_9]$	0,004524	0,000114
$P[s_{10}]$	0,002583	6,51E-08
$P[s_{11}]$	0,002583	6,51E-08
$P[s_{12}]$	0,001474	3,72E-11
$P[s_{13}]$	5,17E-05	1,3E-08
$P[s_{14}]$	2,95E-05	7,43E-12
$P[s_{15}]$	2,95E-05	7,43E-12
$P[s_{16}]$	1,68E-05	4,24E-15

Вихідні дані

№	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
1	0,000022831	0,000022831	0,3	0,1	0,25	0,25	0,25	0,25
2	0,000022831	0,000022831	0,0005	0,00003	0,5	0,5	0,5	0,5

Значення показника якості функціонування для підстанцій споживачів

№ варіанту	543	456	458	455	457
1	0,68	0,6	0,54	0,53	0,5
2	0,95	0,945	0,939	0,925	0,92

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі було досліджене питання оптимізації процесу поетапної реконструкції КЛ.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувались такі завдання:

1. Аналіз параметрів, які впливають на рівень надійності КЛ, за якими можна оцінювати якість функціонування КЛ, оцінка їх з точки зору інформативності. Була запропонована методика оцінки цих параметрів з точки зору інформативності. Але в зв'язку з відсутністю статистичних даних по цим параметрам, практична оцінка не проводилась.

2. Дослідження можливості використання положень теорії подібності та теорії марковських процесів в задачах оцінки якості функціонування з метою оптимізації процесу реконструкції розподільних міських мереж.

3. Розробка математичних моделей якості функціонування розподільних мереж на основі подібності моделювання марковських процесів і критеріального моделювання. За допомогою цих моделей був проведений практичний розрахунок, який підтвердив раціональність та виправданість реконструкції з точки зору підвищення якості функціонування КЛ.

Для аналізу та розв'язання поставлених задач використані узагальнюючі методи теорії подібності і моделювання, метод лінійного та нелінійного програмування. Моделювання якості функціонування кабельних мереж здійснювалося з використанням методів теорії марковських процесів та критеріального моделювання.

У роботі запропонований метод математичного моделювання якості функціонування міських розподільних мереж, використовуючи схожість математичних моделей марковських процесів та критеріального моделювання, що дозволяє оцінити якість функціонування для врахування рівня надійності кабельних ліній під час реконструкції міських мереж.