

□

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня освіти

на тему:

**«АНАЛІЗ ТА ПОКРАЩАННЯ НАДІЙНОСТІ ПОВІТРЯНИХ
ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ»**

Виконав: студент VI курсу

групи Ен – 61 спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Турко М. В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник: _____ Чабан А. В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент: _____ Кригуль Р. Є.

(прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2024

□

□

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) рівень

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Левонюк В. Р.

(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ _____ ” _____ 202__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Турко Максим Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Аналіз та покращання надійності повітряних ліній електропередач»

(назва теми)

керівник роботи д.т.н., професор Чабан А. В.

(наук. ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП № 616 / к - с від 12.09.2024 р.

2. Строк подання студентом роботи 6.12.2024 р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ

1. Теоретичні положення

2. Аналіз надійності роботи ліній електропередач

3. Аналіз показників надійності лінії електропередачі

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Техніко-економічна оцінка

Висновки

Перелік джерел посилання

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

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	Городецький І. М., к.т.н., доцент			

7. Дата видачі завдання 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Опрацювання теоретичних положень надійності роботи повітряних ліній електропередач</i>	<i>12.09.2024 – 30.09.2024</i>	
2	<i>Здійснення аналізу надійності роботи ліній електропередач</i>	<i>1.10.2024 – 11.10.2024</i>	
3	<i>Проведення аналізу показників надійності ліній електропередач</i>	<i>14.10.2024 – 25.10.2024</i>	
4	<i>Розробка логіко імітаційної моделі процесу виникнення травми при обслуговуванні вольтодобудовних трансформаторів</i>	<i>28.10.2024 – 8.11.2024</i>	
5	<i>Здійснення техніко-економічної оцінки прийнятих рішень</i>	<i>11.11.2024 – 22.11.2024</i>	
6	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	<i>25.11.2024 – 29.11.2024</i>	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>2.12.2024 – 6.12.2024</i>	

Студент

Турко М. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

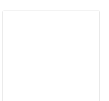
Чабан А. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 621.012:3

Турко М. В. «Аналіз та покращання надійності повітряних ліній електропередач». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024 р. 53 с. текстової частини, 11 таблиць, 15 рисунків, 31 джерело.

Отримано результати аналізу статистичних даних та здійснено дослідження причин відмикання магістральних повітряних ліній електропередач, а також зроблено рекомендації для зниження кількості аварійних відмикань. Розкрито концепцію надійності роботи повітряних ліній електропередач, обґрунтовано методологію проведення досліджень, а також висвітлено основні причини аварійних відмикань магістральних повітряних ліній електропередач високих та надвисоких класів напруг. Здійснено характеристику роботи системного оператора передачі та розподілу електричної енергії в Об'єднаній енергетичній системі України. Проведено аналіз відмикань магістральних ліній електропередач і встановлено зв'язки між відмиканнями із нез'ясованих причин. Проведено аналіз показників надійності ліній електропередач та встановлено їх зв'язок із «пташиними» відмиканнями. Зроблено рекомендації для зниження ризиків виникнення аварій. Проведено аналіз техніко-економічних збитків від перерв в електропостачанні та обчислено вартість встановлення біоакустичних відлякувачів птахів.

НАДІЙНІСТЬ, ПОКРАЩАННЯ, ВІДМИКАННЯ, АНАЛІЗ, ЛІНІЯ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ, ОБ'ЄДНАНА СИСТЕМА.



ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	8
1.1 Лінії електропередач.....	8
1.2 Методологія проведення досліджень.....	11
1.3 Показники надійності повітряних ліній електропередач.....	12
1.4 Причини аварійних відмикань.....	14
2 АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ.....	16
2.1 ПрАТ «Національна енергетична компанія «Укренерго»».....	16
2.2 Аналіз відмикань магістральних ліній електропередач.....	18
2.3 Відмикання із невизначених причин.....	22
2.4 Зв'язок відмикань із нез'ясованих причин з діями птахів.....	23
2.5 Зв'язок відмикань з нез'ясованих причин із забрудненням ізоляції....	24
2.6 Можливі причини відминок із нез'ясованих причин.....	25
3 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ....	27
3.1 Пташині відмикання.....	27
3.2 Оцінка міри невизначеності випадкових подій для ліній електропередач	30
3.3 Рекомендації для зниження ризиків виникнення аварій.....	34
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	36
4.1 Механізм смерті від електричного струму.....	36
4.2 Модель процесу виникнення та формування виробничих небезпек при обслуговуванні вимикачів.....	38
4.3 Розробка заходів із питань безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	42
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА.....	44
5.1 Огляд засобів відлякування птахів.....	44
5.2 Техніко-економічні збитки від перерв в електропостачанні.....	47
5.3 Обчислення вартості встановлення біоакустичних пристроїв.....	49
ВИСНОВКИ.....	50
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	51

ВСТУП

Надійність роботи повітряних ліній (ПЛ) електропередач зумовлена сукупністю багатьох факторів. Виявити справжні причини відмов ПЛ та окреслити шляхи їх удосконалення можна лише на підставі статистичних даних про пошкодження елементів повітряних ліній. Відмови є єдиним критерієм перевірки правильності практичних рішень та теоретичних передумов.

Проблема аварійних відключень повітряних ліній електропередач, які спричинені перекриттями ізоляції із нез'ясованих причин, має давню історію та залишається актуальною на нинішній день. Відповідно до досвіду експлуатації, частка аварійних відключень повітряних ліній електропередач із нез'ясованих причин може сягати понад 50 %. Найчастіше такі відключення відбуваються у ранкові або нічні години, в умовах хорошої погоди та супроводжуються успішним автоматичним повторним ввімкненням (АПВ). При цьому причини перекриття ізоляції однозначно не ідентифікуються та найчастіше залишаються нез'ясованими [1].

До початку 70-х років минулого століття основною причиною відключень із нез'ясованих причин, які відбуваються у ранкові та нічні години, вважалося забруднення ізоляції. З появою низки досліджень ці відключення стали пояснювати вже комбінованим «польовим та пташиним» забрудненням та власне «діями птахів». Однак дотепер переконливих доказів на користь тієї чи іншої версії про причини цих відмикань немає. Дуже часто відмикання через забруднення ізоляції та «пташині відмикання» важко відокремити, оскільки за сезонними, тимчасовими та іншими ознаками вони майже збігаються.

У коло досліджень виконаних у кваліфікаційній роботі входять повітряні лінії електропередач класу напруги 220 кВ. Ці лінії є цікавими тим, що належать до стандартного ряду класу напруг і володіються властивостями ліній надвисоких напруг. Збільшені вимоги до надійності повітряних ліній та економічні втрати при випадкових відмиканнях повітряних ліній створюють необхідність виявлення причин відмикань та розробки заходів щодо скоро-

чення їхньої кількості, проведення робіт з усвідомленого та цілеспрямованого обслуговування та ремонту цих повітряних ліній електропередач. Відтак, тема кваліфікаційної роботи «Аналіз та покращання надійності повітряних ліній електропередач» є актуальною та носить прикладний характер [2].

Метою кваліфікаційної роботи є покращання надійності роботи магістральних ліній електропередач шляхом застосування захистів від «впливу» птахів.

Мету кваліфікаційної роботи можна досягнути вирішенням наступних **завдань**:

- виділити методологічні аспекти дослідження;
- здійснити аналіз причини відмикання повітряних ліній;
- задіяти математичний апарат для визначення стану ліній електропередач за допомогою міри невизначеності інформації;
- розробити заходи щодо покращання надійності магістральних повітряних ліній електропередач, зокрема для зниження ризику виникнення аварій;
- здійснити техніко-економічне обґрунтування прийняти рішень.

Об'єктом кваліфікаційної роботи є магістральні повітряні лінії електропередач високого та надвисокого класів напруг.

Предметом кваліфікаційної роботи є процеси, які впливають на відмикання повітряних ліній електропередач, зокрема орнітологічні фактори – «пташині відмикання».

1 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Лінії електропередач

Повітряна лінія електропередачі (ПЛ) – це пристрій, який призначений для розподілу або передавання електричної енергії проводами, які знаходяться на відкритому повітрі та прикріплені за допомогою траверс (кронштейнів), ізоляторів та арматури до опор або інших споруд (мостів, шляхопроводів). Повітряна лінія електропередачі, яка виконана самонесучим ізольованим провідником (СП) має аббревіатуру ПЛІ.

Лінії поділяються за класом напруги [3]:

- лінії до 1000 В (низький клас напруги);
- лінії 1 – 35 кВ (середній клас напруги);
- лінії 35 – 330 кВ (високий клас напруги);
- лінії 500 – 750 кВ (надвисокий клас напруги);
- лінії понад 750 кВ (ультрависокий клас напруги).

Лінії електропередач у процесі їх експлуатації можуть перебувати у двох станах: працездатному та непрацездатному.

Працездатний стан – це здатність виконувати задані функції, які відповідають вимогам нормативно-технічної або конструкторської проектно-документації, що зберігають значення основних параметрів

Непрацездатний стан – це відмова або відмикання.

Відмикання бувають плановими або аварійними. Планове відмикання електричної енергії – це ремонтні роботи, проведення яких було заплановано, які потрібні для дотримання правил техніки безпеки при роботі на лініях електропередач. Залежно від складності та обсягу робіт, персонал знеструмлює підприємство або цілий населений пункт.

До найважливіших завдань електричних мереж належать надійне та якісне електрозабезпечення споживачів енергією, які приєднані до електрич-

ної мережі. Електрична мережа є складною технічною системою, тому потребує комплексного підходу для оцінки надійності своєї роботи.

Надійність – це властивість об’єкта зберігати свою працездатність, тобто. виконувати свої функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники у заданих умовах.

Причини аварійних відмикань повітряних ліній електропередач умовно можна розділити на встановлені та не встановлені. Не встановленими причинами можна назвати такі причини, які не можна віднести до конкретного поняття причин.

До основних, встановлених причин відносять [4]:

- зношування обладнання;
- несприятливі погодні умови (обледеніння проводів, грозові розряди, сильний вітер, тощо);
- перекриття ізоляції (викликане «дією» птахів, забруднення ізоляції, тощо).

«Дії» птахів пов’язані з гніздуванням та їх присіданням на електричні опори. Під час будівництва гнізд на опорах, птахи використовують різні предмети (гілки дерев, шматки дроту, тощо). За випадкового попадання в ізоляційний проміжок між проводом та опорою сторонніх предметів, вони шунтують ізоляцію, що призводить до її перекриття. Присідання птахів на електричні опори відбувається на краю траверси над проводом. Під час присідання або злету з опори, птахи викидають струмінь посліду у напрямку дроту, що також може призвести до перекриття ізоляції [5].

Чергово, птахи, незалежно від розміру, можуть стати причиною відмикань та виходу із ладу електромережевого обладнання. Наприклад, зграї птахів, збираючись на елементах електромережевого обладнання, можуть перекривати проміжки «фаза-земля», «фаза-фаза», а самі (птахи) наражаються на ризики загибелі.

Усунення вищезгаданих причин аварійних відмикань є необхідним для надійної та безперебійної роботи ліній електропередач.

Високовольтні лінії призначені для передавання електричної енергії населеним пунктам та виробничим підприємствам. За струмовим навантаженням проміжні опори високовольтних ліній електропередач поділяють на одноконтурні та двоконтурні, а за конструкцією: з відтяжками та без них. Для запобігання та захисту від корозії використовується оцинкування, або спеціальне фарбове покриття, яке наноситься після попередньої обробки та підготовки металоконструкції [6].

Повітряні лінії напругою 220 – 500 кВ виконуються сталевалюмінієвими проводами різних перерізів та можуть мати кілька розщеплених проводів у фазі n_{ϕ} . Розрахунки режимів роботи ліній електропередач проводяться для середніх значень параметрів на 1 км довжини лінії: питомого реактивного опору x_{num} , Ом/км, питомої ємнісної провідності b_{num} , См/км та зарядної потужності q_{num} , МВАр/км. Зарядна потужність q_{num} для ліній електропередач 500 кВ розраховується за середньоексплуатаційною напругою $1,05 U_{ном}$.

У таблиці 1.1 представлено наступні розрахункові характеристики для повітряних ліній електропередач зі сталевалюмінієвими проводами.

Таблиця 1.1 – Розрахункові параметри повітряних ліній електропередач

U , кВ	Переріз проводу, мм ²	n_{ϕ} , шт	x_{num} , Ом/км	b_{num} , См/км	q_{num} , МВАр/км	D_{cp} , м
750	240/56	11	0,19	$5,95 \cdot 10^{-6}$	7,86	15
500	300/66	3	0,3	$3,6 \cdot 10^{-6}$	0,9	14
330	240/36	2	0,33	$3,3 \cdot 10^{-6}$	0,4	–
220	240/32	1	0,42	$2,7 \cdot 10^{-6}$	0,14	8
150	150/24	1	0,43	$2,6 \cdot 10^{-6}$	5,9	–
110	150/24	1	0,42	$2,7 \cdot 10^{-4}$	0,434	–
35	120/19	1	0,41	–	–	–
10	16	1	0,102	$72,2 \cdot 10^{-4}$	–	–

1.2 Методологія проведення досліджень

Важливим методичним аспектом щодо надійності роботи електричних мереж є поняття «відмови». Причинами відмов в електричних мережах здебільшого можуть бути пошкодження обладнання, апаратури, конструкцій електромережових об'єктів або виникнення неприпустимих режимних параметрів в елементах мережі, що вимагає негайних дій щодо їх усунення. Усі технологічні порушення потрібно розслідувати та вести їх облік, що дає змогу формувати базу даних із аварійності в електричних мережах протягом усього терміну експлуатації.

Вітчизняний та зарубіжний досвід вирішення задач оцінювання надійності електроенергетичних систем вказує на те, що показники надійності здебільшого утворюють три групи [7]:

- інтенсивність подій, наприклад, кількість відмов на одиницю часу;
- імовірність будь-якої події;
- середня тривалість події (математичне очікування).

Ще одним важливим методичним аспектом функціонування електричних мереж, який визначає підхід до оцінювання їх надійності, полягає у тому, що усі технологічні порушення, які відбуваються у мережі та пов'язані із ними відмови утворюють потік подій у часі. Під потоком подій мається на увазі послідовність однорідних подій, які з'являються одна за одною у випадкові моменти часу. Важливим поняттям для потоку подій є інтенсивність потоку $\lambda(t)$ – середня кількість подій, що припадає на одиницю часу.

Методологічні дослідження пов'язані з відмиканнями із нез'ясованих причин мають таку структуру:

- аналіз статистичних даних з аварійними відмиканнями повітряних ліній електропередач;
- вибіркоче обстеження найбільш проблемних повітряних ліній;
- стендові випробування гірлянд ізоляторів, демонтованих із повітряних ліній електропередач;

- експериментальні дослідження електричної міцності ізоляції сумісно з діями робітника, напруги та різних зовнішніх факторів.

Аналіз статистичних даних щодо аварійних відмикань повітряних ліній електропередач передбачає:

- аналіз кількісних характеристик ВВП;
- аналіз сезонних часових ознак ВВП;
- аналіз погодніх умов на час ВВП;
- локалізацію місць ВВП.

Вибіркове обстеження на проблемніших повітряних ліній електропередач:

- аналіз дефектів повітряних ліній електропередач;
- аналіз присутності птахів;
- локальні підвищення напруги на повітряних лініях;
- наявність джерел природного та техногенного забруднення.

Стендові випробування гірлянд ізоляторів, які були демонтовані з повітряних ліній електропередач [8]:

- характеристика природного шару забруднення ізоляторів;
- розрядні характеристики ізоляції за умов зволоження.

Експериментальні дослідження електричної міцності ізоляції за сумісного впливу робочої напруги та різних зовнішніх факторів:

- дослідження розрядних характеристик ізоляції в аномальних умовах;
- дослідження легких та нерівномірних забруднення;
- дослідження умов перекриття ізоляції при попаданні сторонніх провідних предметів;
- дослідження умови перекриття при «струмені пташиного посліду».

1.3 Показники надійності повітряних ліній електропередач

Надійність це комплексна властивість, яка залежно від призначення та умов її застосування може включати довговічність, безвідмовність, ремонтно-придатність та збереження або певні поєднання цих властивостей.

Щодо систем електропостачання – безперебійне постачання електричної енергії та властивість зберігати значення усіх параметрів у встановлених межах, що характеризують здатність виконувати необхідні функції у заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, транспортування електричної енергії та виключення ситуацій, небезпечних для людей та навколишнього середовища.

Глибина аварії на повітряній лінії електропередач обґрунтовується кількістю відімкнених контурів та зниженням пропускної властивості, в електричних мережах – обсягом покриття споживчих та районних підстанцій, у системах електропостачання – рівнем аварійних обмежень споживачів, в електроенергетичних системах – рівнем нестачі потужності та енергії та рівнем зниження частоти [9].

При аналізі надійності роботи електричної мережі прийнято оцінювати показники надійності однаково для усіх елементів, які входять до її складу. При цьому показники надійності повітряних ліній оцінюються аналогічно як і інші елементи системи. Залежно від номінальної напруги, довжина повітряних ліній може становити кілька сотень кілометрів, траса повітряних ліній може розташовуватися на територіях із різними кліматичними умовами, перетинати різні інженерні споруди та конструкції, географічні об'єкти такі як поля, ліси, озера), що суттєво впливає на умови функціонування повітряної лінії.

Відповідно до класичної теорії, показники надійності електричних мереж розраховують із врахуванням кількості елементів та відмов. Умови функціонування та технічні параметри повітряних ліній відрізняються один від одного, тому розрахунок показників надійності для усієї сукупності ліній електропередач здійснюється за визначенням параметрів потоку відмови за окремими елементами електричних мереж.

Одним із основних показників для оцінки надійності елементів електричних мереж є параметр потоку відмов, це λ є середня кількість відмов на одиницю часу, яку зазвичай приймають на один рік [10].

Параметр потоку відмови визначається на основі обробки статистичних даних про ремонт та роботу обладнання за виразом:

$$\omega = \frac{\omega_0 \cdot l}{100 \text{ км}}, \quad (1.1)$$

де l – довжина повітряної лінії електропередач, яка відмовила за аналізований проміжок часу; ω – параметр потоку відмов на 100 км.

Таблиця 1.2 – Значення параметрів потоку відмов елементів електричних мереж ти систем

Елемент мережі	ω відмов/рік для напруги 110 кВ	ω відмов/рік для напруги 220 кВ	ω відмов/рік для напруги 500 кВ
Повітряні лінії електропередач (на 100 км):			
- одноконтурні	1,1	0,9	0,6
двоконтурні:			
- відмова одного котура	1,0	0,7	–
- відмова двох контурів	0,1	0,2	–
Трансформатори	0,01	0,02	0,2
Вимикачі у контурах повітряних ліній	0,2	0,4	0,5

У таблиці 1.2 представлено значення параметрів потоку відмов елементів електричних мереж ти систем.

1.4 Причини аварійних відмикань

Причини аварійних відмикань можна поділити на встановлені та не встановлені. Не встановленими причинами можна назвати такі причини, які не можна віднести до конкретного поняття причин. До основних встановлених причин відносять:

- зношування обладнання;

- несприятливі погодні умови (льод, грозові розряди, сильний вітер, тощо);
- перекриття ізоляції спричинене «дією» птахів, забруднення ізоляції, тощо.

Оскільки у кваліфікаційній роботі розглядаються саме причини аварії від впливу птахів, то розглянемо причини перекриття ізоляції.

Перекриттям ізоляції називають розряд межі розділу двох середовищ.

«Дії» птахів пов'язані з гніздуванням та присіданням птахів на опори. При будівництві гнізд на опорах птиці використовують різні предмети (шматки дроту, гілки дерев, тощо). При випадковому попаданні до ізоляційного проміжку між проводом та опорою сторонніх предметів, вони шунтують ізоляцію, що може призвести до її порушення, тобто до перекриття. Присідання птахів на опори відбувається на краю траверси над проводом.

До перекриття ізоляції відносять, також, забруднення та зволоження ізоляції. Частинки пилу, що осідають з повітря, утворюють на поверхні ізолятора шар забруднення. Речовини, які містяться у забрудненнях (кислоти, солі, луги), з'єднуючись із атмосферною вологою, яка осіла на ізолятор, утворюють електроліт, який сприяє збільшенню поверхневої провідності ізолятора. Зволоження атмосферною вологою підвищує провідність шару забруднення на поверхні ізоляторів, що в результаті знижує ізолюючу здатність.

При зволоженні забруднень на поверхні ізолятора дощем, туманом чи росою утворюється електроліт. Під дією робочої напруги через провідний шар починає протікати струм, який називається струмом витoku [11].

Усунення вищезгаданих причин аварійних відмикань потребує надійної та безперебійної роботи ліній електропередач.

Запобігання передчасному зношуванню обладнання та руйнуванню елементів повітряної лінії, які відбуваються внаслідок порушення нормального режиму роботи та впливу навколишнього середовища, можна вирішити за допомогою проведення планово-попереджувальних ремонтів. Планово-попереджувальні ремонти дають змогу здійснити ряд робіт, який спрямований на заміну деталей та відновлення обладнання.

2 АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

2.1 ПрАТ «Національна енергетична компанія «Укренерго»»

ПрАТ «Національна енергетична компанія «Укренерго»» – це оператор системи передавання електричної енергії України зі статусом члена спостерігача ENTSO–E, який має функції оперативного-технологічного керування Об'єднаною енергетичною системою України, передавання електричної енергії магістральними електричними мережами від місць генерації до розподільчих мереж, а також адміністраторів комерційних обліків та адміністраторів розрахунків на ринку електричної енергії України.

ПрАТ «Національна енергетична компанія «Укренерго»» була утворено на основі державного підприємства «НЕК «Укренерго»» у якості приватного акціонерного товариства зі ста відсотками акцій у власності держави, які належать до сфери управління Міністерства енергетики України [12].

ПрАТ «НЕК «Укренерго»» виконує функції оператора системи передавання, керування та експлуатації магістральних електричних мереж, адміністратора розрахунків та адміністратора комерційного обліку.

Компанія виконує такі завдання:

- забезпечення функціонування балансуючого ринку та ринку допоміжних послуг для дотримання операційної безпеки;
- централізоване диспетчерське (оперативно-технологічне) керування Об'єднаною енергетичною системою України для забезпечення балансу виробництва та споживання електричної енергії та потужності в енергетичній системі у режимі реального часу із дотриманням вимог операційної безпеки;
- технічне обслуговування, експлуатація та розвиток магістральних та міждержавних електричних мереж;
- передача електричної енергії магістральними та міждержавними мережами із дотриманням критеріїв якості електричної енергії;

- забезпечення паралельної роботи із суміжними енергетичними системами;
- забезпечення можливості приєднання до магістральних електричних мереж об'єктів генерації та споживання;
- забезпечення технічної можливості експорту та імпорту електричної енергії до країн Європейського Союзу та суміжних країн;
- інтеграція Об'єднаної енергетичної системи України до ENTSO – E, тощо.

Очевидно, що Об'єднана енергетична система України має значні масштаби і не може бути об'єктом досліджень для кваліфікаційної роботи, тому ми будемо далі аналізувати лише її частину, зокрема Західну електроенергетичну систему.

До оперативно-технологічної зони Західної електроенергетичної системи входять: Волинська область, Рівненська область, Львівська область, Закарпатська область та Івано-Франківська область. Ця зона охоплює площу у розмірі 88700 км² та має встановлену потужність 6130 МВт.

Найбільші генерувальні потужності належать Рівненській АЕС, Бурштинській ТЕС, Добротвірській ТЕС, Калуській ТЕЦ, Терембле-Ріцькій ГЕС.

Довжина магістральних ліній електропередач становить 3678,91 км та об'єднує між собою понад 20 підстанцій з потужністю 10800,6 МВА (у довоєнний період) [13].

Західна електроенергетична система України належить до енергосистем, які володіють значними профіцитними енергогенерувальними потужностями. До 2022 року у ній функціонував Бурштинський енергоострів, який був призначений для експорту електричної енергії за межі країни. Тепер «Острів» разом з усією електроенергетичною системою України працює в єдиній енергосистемі Європейського Союзу.

Окрім Бурштинської ТЕС, покриття навантаження споживачів здійснюється Терембле-Ріцькою гідроелектростанцією (Закарпатська обл.) та Калу-

ською теплоелектроцентральною (Тернопільська область) із загальною генерацією у 1950 МВт.

Західна електроенергетична система має зв'язки із країнами колишнього УСТЕ, а також із Румунією у класі напруги 220, 400 та 750 кВ, зокрема:

- з румунською електроенергетичною системою однією лінією електропередачі 400 кВ;
- зі словацькою електроенергетичною системою однією лінією електропередачі 400 кВ;
- з угорською електроенергетичною системою однією лінією електропередачі 750 кВ; однією 400 кВ та двома 220 кВ.

Окрім цього у Західній електроенергетичній системі Добротвірська ТЕС задіяна до постачання електричної енергії у Польщу [14].

2.2 Аналіз відмикань магістральних ліній електропередач

Для аналізу були прийняті повітряні магістральні лінії електропередачі Західної електроенергетичної системи. На жаль, використати дані починаючи з 2023 року не можливо, у зв'язку із їх секретністю через ведення війни в Україні. Тому, ми будемо використовувати дані до 2022 року включно. Ці дані не повинні суттєво відрізнятися від 2023 та 2024 року, оскільки магістральні лінії електропередач Західної електроенергетичної системи суттєвих пошкоджень не понесли внаслідок російської агресії [15].

У таблиці 2.1 представлено дані по кількості відмикань магістральних ліній електропередач взяті із журналів диспетчерського персоналу, які класифікуються як відмикання з невідомих причин та відносяться до класифікатора «птахи».

Таблиця 2.1 – Розподіл відмикань магістральних ЛЕП

№ з/п	Назва лінії електропередачі	Кі-сть відмикань за 2018-2022 р.
1	ПЛ 750 кВ ПС «Західноукраїнська» – ПС «Західна»	1
2	ПЛ 750 кВ ПС «Західноукраїнська» – ПС «Південна» П к.	8

3	ПЛ 750 кВ ПС «Західноукраїнська» – Рівненська АЕС	2
4	ПЛ 400 кВ Бурштинська ТЕС – ПС «Мукачево»	2
5	ПЛ 330 кВ ПС «Радивилів» – ПС «Рівне»	6
6	ПЛ 330 кВ ПС «Радивилів» – ПС «Західноукраїнська»	2
7	ПЛ 330 кВ ПС «Рівне» – ПС «Західноукраїнська»	2
8	ПЛ 330 кВ Бурштинська ТЕС – ПС «Івано-Франківськ»	3
9	ПЛ 330 кВ ПС «Нововолинськ» – ПС «Ковель»	2
10	ПЛ 330 кВ ПС «Гребів» – ПС «Рівне»	3
11	ПЛ 330 кВ Рівненська АЕС – ПС «Ковель»	1
12	ПЛ 330 кВ Рівненська АЕС – ПС «Луцьк Північна»	1
13	ПЛ 220 кВ ПС «Ковель» – ПС «Луцьк Південна»	1
14	ПЛ 220 кВ Добротвірська ТЕС – ПС «Нововолинськ»	2
15	ПЛ 220 кВ Бурштинська ТЕС – ПС «Калуш»	2
16	ПЛ 220 кВ ПС «Стрий – ПС «Воловець»	2
17	ПЛ 220 кВ ПС «Стрий» – ПС «Мукачево» II к.	3
18	ПЛ 220 кВ ПС «Хуст» – ПС «Мукачево» II к.	8
19	ПЛ 220 кВ ПС «Калуш» – ГПП1 II к.	1
20	ПЛ 220 кВ ПС «Борислав» – ПС «Розділ» II к.	1
21	ПЛ 220 кВ ПС «Борислав» – ПС «Південна» II к.	2
22	ПЛ 220 кВ ПС «Південна» – ПС «Львів 2» II к.	3
23	ПЛ 220 кВ Добротвірська ТЕС – ПС «Львів 2» II к.	2
ЗАГАЛОМ		60

Аналіз аварійних відмикань повітряних ліній потребує статистичної обробки даних за період часу 2018 – 2022 рр, які відносяться до аварійних відмикань магістральних ліній електропередач 220 – 750 кВ. Результати представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Кількість аварійних відмикань за роками

Рік	Кількість відмикань	Класифікатор
2018	12	Птахи
2019	16	
2020	19	
2021	7	
2022	6	
ЗАГАЛОМ	60	

На основі таблиці 2.2 побудуємо гістограму для наочного відображення кількості аварійних відмикань за роками, яка представлена на рисунку 2.1.

Аналізуючи таблицю 2.2 та рисунок 2.1 бачимо, що частота відключень підвищувалася із кожним роком починаючи з 2018 до 2020 року. Найбільша кількість аварійних відмикань припадає на 2020 р, а найменша на 2021 та

2022 рр. У період 2021 –2022 років спостерігається планомірне зниження кількості аварійних відмикань.

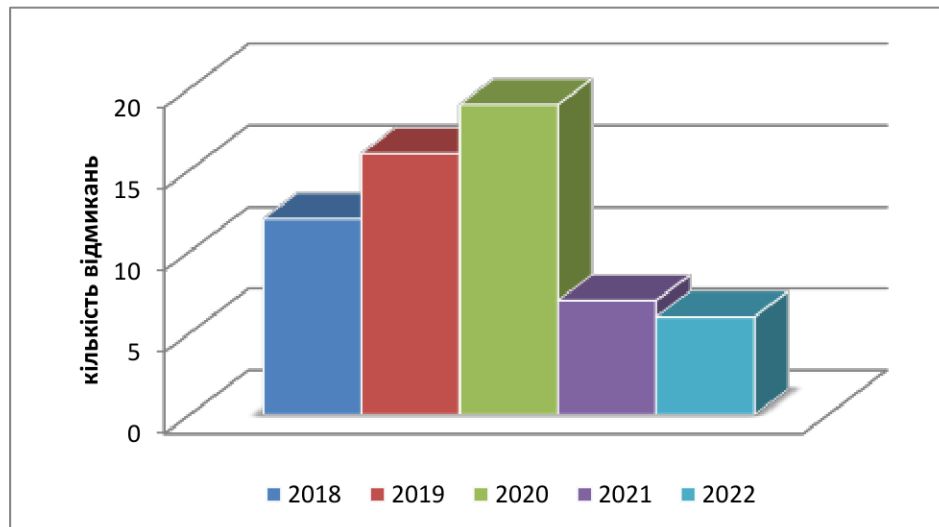


Рисунок 2.1 – Розподіл аварійних відмикань за 2018 – 2022 рр

Проаналізувавши таблиці 2.1 та 2.2 бачимо, що найбільша кількість відмикань за 2018 – 2022 рр припадає на повітряні магістральні лінії електропередач 220 кВ. Тому, нашою увагою будуть користуватися саме лінії електропередач із цим класом напруги.

На основі таблиці 2.1 представимо розподіл кількості відмикань за окремими лініями електропередач.



Рисунок 2.2 – Розподіл кількості відмикань за лініями електропередач

Бачимо, що найбільша кількість відмикань відбувається на повітряній лінії електропередач під номером 10, ПЛ 220 кВ ПС «Хуст» – ПС «Мукачєво» II к., яка має двоконтурну вставку. Відтак, обираємо цю лінію електропередачі для аналізу та дослідження. Також, згідно записів у журналі ця лінія має найбільшу кількість гніздувань, які були виявлені при денному огляді у 2022 році, зокрема 83 гнізда на опорах.

На рисунку 2.3 представлено схему ПЛ 220 кВ ПС «Хуст» – ПС «Мукачєво» II к., яка є двоконтурною, зі вставкою розщеплених проводів в одному контурі.

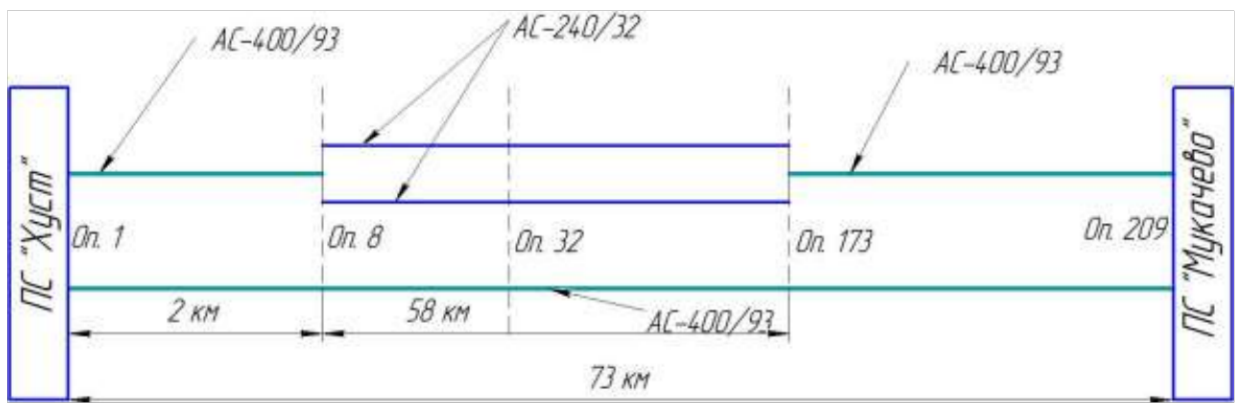


Рисунок 2.3 – Схема ПЛ 220 кВ ПС «Хуст» – ПС «Мукачєво» II к

На рисунку 2.4 представлено схему транспозиції фаз ПЛ 220 кВ ПС «Хуст» – ПС «Мукачєво» II к.

У таблиці 2.3 представлено параметри потоку відмов елементів магістральних електричних мереж.

Таблиця 2.3 – Параметр потоку відмов ω елементів магістральних електричних мереж [16]

Тип опори	Протяжність, км	Параметри потоку відмов за ВВП, 1/100 км/год	
		Середнє значення $\bar{\omega}$	Діапазон
Металева	73	1,6	0,15 – 0,5

За середньостатистичними даними, повітряні лінії електропередач 220 кВ мають норматив параметра потоку відмови 0,7 на рік на 100 км довжини. При обчисленні параметра потоку відмови для нашої лінії отримуємо середнє значення 1,6 відмови на рік. Відтак, лінія електропередачі 220 кВ ПС «Хуст» – ПС «Мукачєво» II к перевищувала норматив у 2 рази.

2.3 Відмикання із невизначених причин

У таблиці 2.4 представлено характерні сезонні та часові ознаки відмикань із нез'ясованих причин.

Таблиця 2.4 – Узагальнені дані сезонних та часових ознак ВВП [17]

Тип відмикань	Характерні часові ознаки	
	Частина року	Частина доби
Тип I: весняно-літні відмикання	березень – червень	5:00 – 7:00
	квітень – червень	5:00 – 8:00
	квітень – травень	5:00 – 8:00
Тип II: осінньо-зимові відмикання	листопад – лютий	21:00 – 24:00, 0:00 – 8:00
	серпень – вересень	3:00 – 9:00
	вересень	6:00 – 8:00

Тепер, у таблиці 2.5 представимо хронологію відмикань із нез'ясованих причин для лінії електропередачі 220 кВ ПС «Хуст» – ПС «Мукачево» II к, згідно із записів у диспетчерських журналах.

Таблиця 2.5 – Хронологія відмикань із нез'ясованих причин для лінії електропередачі 220 кВ ПС «Хуст» – ПС «Мукачево» II к

Місяць	Роки				
	2018	2019	2020	2021	2022
Січень					
Лютий					
Березень					
Квітень			8:51		1:22
Травень	4:45				
Червень					
Липень					
Серпень			4:57		
Вересень		5:57	2:58, 4:21, 7:03		
Жовтень					
Листопад					
Грудень					

Для наочного відображення розподілу потоку відмов протягом року результати відображені у таблиці 5.2 доповнимо конкретними датами та відобразимо у вигляді гістограми на рисунку 2.4.

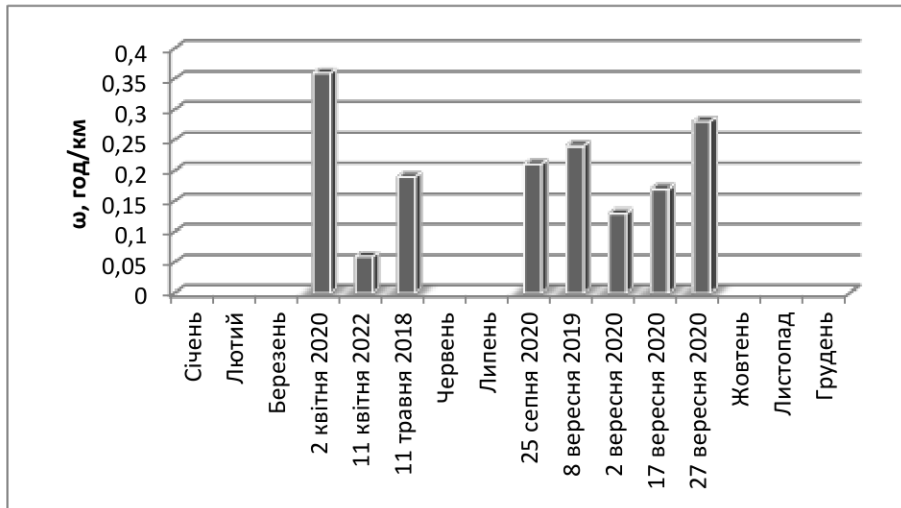


Рисунок 2.4 – Розподіл потоку відмов ВНП протягом року

Проаналізувавши розподіл відмикань із нез'ясованих причин протягом року бачимо, що найбільша кількість відмикань припадає на осінній період року.

2.4 Зв'язок відмикань із нез'ясованих причин з діями птахів

Причинно наслідкові зв'язки відмикань із нез'ясованих причин пов'язаних із діями птахів представлено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Причинно наслідкові зв'язки ВНП із діями птахів [18]

Відмітні ознаки «пташиних відмикань»	Відповідність характеристикам ВНП
Значна кореляція відмикань із сезонними періодами: весною (у період гніздування та висиджування пташенят) або восени (після підростання пташенят та збільшення кількості особин).	Відповідність сезонним ознакам ВНП І типу. Відповідність сезонним ознакам ВНП ІІ типу. Не характерно для осінньо-зимових ВНП.
Значна кореляція відмикань за часом доби: ранкові відмикання (починаються незадовго до сходу сонця та припиняються невдовзі після сходу сонця), нічні відмикання (починаються після заходу сонця та продовжу-	Відповідає тимчасовим ознакам ВНП Не притаманно для осінньо-зимових відмикань у нічний час.

ються протягом ночі). Ранкові відмикання можуть спостерігатися протягом усього року, нічні – лише у літній та осінній періоди до жовтня (відльоту молодих особин).	
Погодні умови на момент відмикання: погода спокійна, безвітряна та без опадів.	Узгоджується із погодними умовами на момент ВВП.
«Носії відмикань» – лелеки, великі хижі птахи із роду яструбиних (типовий представник – канюк), різні представники вранових.	Результати вибіркового обстеження підтверджують численні прояви життєдіяльності птахів. Практично на всіх обстежених лініях 220 кВ.
Найчастіше відмикаються повітряні лінії, які розташовані на обмеженій географічно території, переважно у степовій місцевості, де опори слугують ідеальним та єдиним місцем для присідання птахів у період полювання, гніздування та ночівлі.	Узгоджується із характеристиками ВВП щодо локалізації місць відмикань.
Узгоджується із характеристиками відмикань із нез'ясованих причин щодо локалізації місць відмикань.	Відповідність характеристикам відмикань із нез'ясованих причин.
Зазначається «уразливість» певного типу опор. Найбільше відмикань фіксується на залізобетонних опорах.	Не узгоджується із розподілом числа відмикань із нез'ясованих причин за типами опор.
Зазвичай, відмикання відбуваються з успішним АПВ	Узгоджується із характеристиками ВВП

2.5 Зв'язок відмикань з нез'ясованих причин із забрудненням ізоляції

Причинно наслідкові зв'язки відмикань із нез'ясованих причин пов'язаних із забрудненням ізоляції представлено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Причинно наслідкові зв'язки ВВП із забрудненням ізоляції

Ознаки відмикань через забруднення ізоляції	Відповідність характеристикам ВВП
Максимум відмикань спостерігається при загостренні метеорологічних про-	Відповідає сезонним ознакам відмикань із нез'ясованих причин II типу в

цесів в осінньо-зимовий період, коли реєструється найбільше днів із небезпечними для роботи забрудненої ізоляції метеорологічними явищами.	осінній період. Не характерно для весняно-літніх відмикань із нез'ясованих причин I типу.
Найбільша кількість перекриттів забрудненої ізоляції виникає у нічні та ранкові години (у період між заходом та сходом сонця), що пов'язано із утворенням локальних туманів в умовах загального підвищення відносної вологості та зниження температури повітря у цей час доби.	Відповідає тимчасовим ознакам відмикань із нез'ясованих причин.
Погодні умови на момент відмикання: температура повітря від -5°C до $+10^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря від 90 % до 100 %, швидкість вітру – від 0 до 5 м/с. Найбільшу небезпеку становлять туман та мряка.	Не повністю відповідає погоднім умовам на час ВВП. Значна частина ВВП відбувається за помірної відносної вологості повітря (до 80 %). Частка ОНП із тими чи іншими опадами вбирається у 15 – 30 %.
Відмикання відбуваються поблизу джерел промислового чи природного забруднення. Спостерігається підвищене забруднення ізоляції.	Не підтверджується результатами вибіркового обстеження повітряних ліній. Не підтверджується результатами стендових випробувань гірлянд ізоляторів, демонтованих із повітряних ліній.
Відмиканням через забруднення ізоляції властива серійність. Спостерігаються серії до 8 – 10 відмикань з інтервалами між відмиканнями від 1 до 20 – 30 хв.	Не узгоджується із характеристиками відмикань із нез'ясованих причин.
Зазвичай, відмикання відбуваються із успішним АПВ (від 50 % до 90 % за різними даними).	Узгоджується із характеристиками відмикань із нез'ясованих причин.

2.6 Можливі причини відмикань із нез'ясованих причин

Проаналізувавши викладений вище матеріал цього розділу, можемо підсумувати, що можливою та найвірогіднішою причиною відмикань із

нез'ясованих пичин слід вважати перекриття ізоляції, які спричинені «діями птахів». Цей висновок підтверджується збігом характеристик ВВП із характерними ознаками «пташиних відмикань», а також результатами вибіркового обстеження найбільш проблемних повітряних ліній 220 кВ та результатами експериментальних досліджень, які підтвердили принципову можливість перекриття ізоляції повітряних ліній 220 кВ по струмені пташиного посліду.

Характеристики ВВП, які встановлені у результаті статистичного аналізу аварійних відмикань повітряних ліній 220 кВ, добре узгоджуються із відомими ознаками пташиних відмикань. Насамперед це стосується сезонних та тимчасових ознак ВВП I типу. Відмикання відбуваються вранці незадовго до сходу сонця, що характерно для «пташиних відмикань». Пік відмикань спостерігається у червні, потім у серпні – вересні, весняний пік відмикань виражений слабо [19].

Аналогічні закономірності відзначаються і для інших ліній електропередач де пік відмикань припадає на липень-серпень, а відмикання у весняний період майже були відсутні. Інші характеристики ВВП I типу також відповідають пташиним відмиканням. Зазвичай, відмикання відбуваються у хорошу погоду без опадів, із успішним АПВ. Повітряні лінії, які проходять відкритою місцевістю, слугують для присідання птахів.

3 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

3.1 Пташині відмикання

Впливи птахів, які можуть викликати перекриття ізоляції повітряних ліній, пов'язані з гніздуванням та присаджуванням птахів на опори. При будівництві гнізд на опорах птахи застосовують різноманітні, у тому числі провідникові предмети (шматки дротів, траву, гілки дерев, тощо). При випадковому попаданні до ізоляційного проміжку між проводом та опорою ці предмети зашунтовують ізоляцію, що призводить до її перекриття. Присаджування птахів на опори, здебільшого, відбувається на краю траверси, над проводом (це вільне та найзручніше місце на опорі). Під час присаджування та злеті із опори птахи викидають струмінь посліду у напрямку проводу, що також може призвести до перекриття ізоляції [20].

Аналіз літератури за тематикою кваліфікаційної роботи показав, що вчені, в тому числі і вітчизняні займаються такими дослідженнями. Зокрема, на рисунку 3.1 представлено фото-фрагменти випробувань, на яких імітувалися процес перекриття ізоляції за «струменем пташиного посліду».

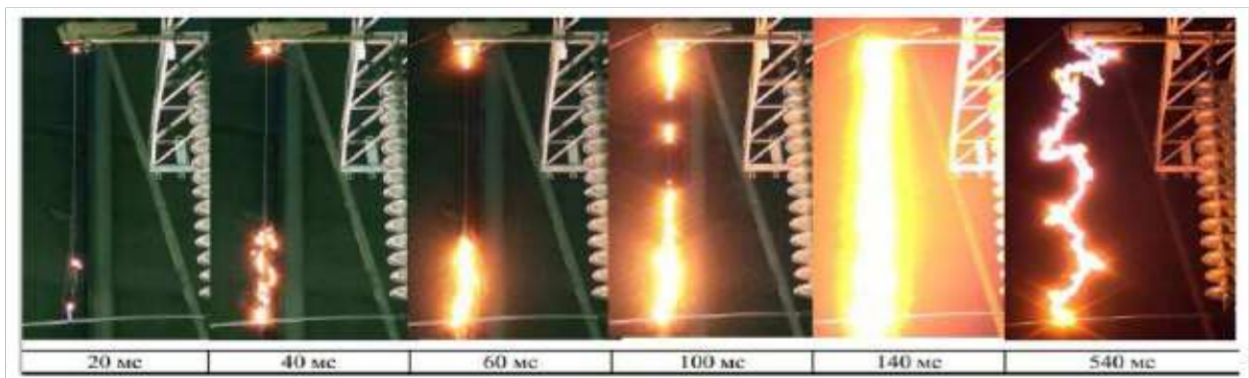


Рисунок 3.1 – Процес перекриття ізоляції за «струменем пташиного посліду»

На рисунку 3.2 представлено процес перекриття ізоляції при падінні дроту або іншого провідного предмету із траверси при напрузі 130 кВ та довжині дроту 2 м.

На рисунку 3.3 представлено процес перекриття ізоляції при падінні стебла трави із траверси при напрузі 65 кВ, довжині стебла 1,4 м та опірї 500 кОм.

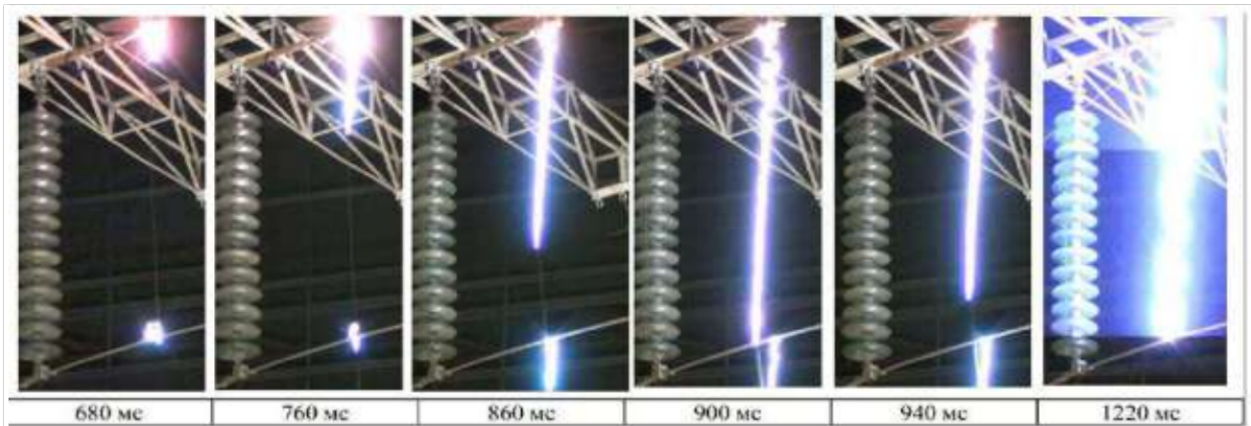


Рисунок 3.2 – Процес перекриття ізоляції при падінні дроту [21]

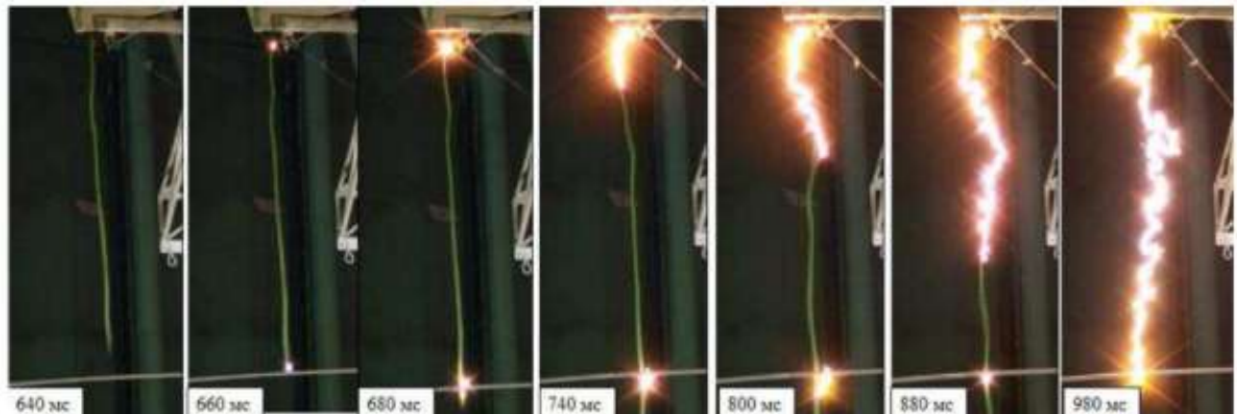


Рисунок 3.3 – Процес перекриття ізоляції при падінні стебла трави

Необхідні умови перекриття ізоляції при попаданні в ізоляційний проміжок сторонніх предметів:

- для перекриття ізоляції повітряної лінії 220 кВ при робочій напрузі 130 кВ довжина дроту або іншого провідного предмета повинна бути співмірною із відстанню між дротом та траверсою та відрізнятися від нього у меншу сторону не більше ніж на 30 см;
- опір сторонніх провідних предметів не повинен перевищувати 1 МОм;
- перекриття ізоляції мають відбуватися переважно при негативній полярності напруги;
- довжина струменя посліду повинна становити не менше 2,3 м, при цьому вона повинна зберігати цілісність та наскрізну провідність на довжині не менше 1,5 – 1,8 м;
- погонний опір струменя має бути не більше 250 кОм/м.
- струмінь має розташовуватися безпосередньо над проводом або

проходити досить близько від нього на відстані не більше 20 см.

Зазначені умови не суперечать відомим даним за характеристиками струменів пташиного посліду для великих хижих птахів. Здебільшого, птахи сідають на кінці траверси (у місці кріплення гірлянди), а їх посадка спрямована вздовж лінії. Струмись посліду, який птах викидає під час зльоту, буде спрямований у цьому випадку від траверси до дроту. Відтак, можливість перекриття ізоляції повітряної лінії 220 кВ струменем пташиного посліду цілком імовірна.



Рисунок 3.4 – Життєдіяльність птахів на трасі повітряної лінії 220 кВ

На рисунку 3.4, для прикладу, представлено приклад життєдіяльності птахів на трасі повітряної лінії 220 кВ. Функціонування повітряної лінії електропередач має випадковий характер, складно визначити правильний вибір на користь можливої появи події. На базі аналізу статистичних даних можна скористатися методом невизначеності інформації, а також побудувати графік інформаційної ентропії, який дасть змогу коригувати та створювати покращений графік планово-попереджувальних робіт. Розробка та рекомендації заходів щодо зниження ризику виникнення аварійних відключень повітряних ліній дасть змогу покращити надійність електропостачання [22].

3.2 Оцінка міри невизначеності випадкових подій для ліній електропередач

Системи електропостачання відносяться до складних систем, оскільки вони залежні від початкових умов. Аналізуючи стан технічного об'єкта у певному інтервалі часу, не можна з абсолютною впевненістю заявити, що простежується визначальність конкретного алгоритму. Маючи на руках цю сукупність та використовуючи математичні інструменти можна отримати інформацію у кількісному варіанті, не виключаючи можливість порівняння цих об'єктів та встановлення зв'язків між ними.

Ентропійна (статистична) міра кількості інформації для подій, які розглядаються, можна визначити за виразом [23]:

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \cdot \log_2 p_i, \quad (3.1)$$

де H – ентропійна міра кількості інформації; p – імовірність появи i -ї події; N – кількість подій, які розглядаються у системі.

Вираз (3.1) виконується при умові:

$$\sum_{i=1}^N p_i = 1. \quad (3.2)$$

Вираз (3.2) збігається з формулою для обчислення математичного очікування кількості інформації, яка міститься у події, що генерується самим джерелом інформації. Міра ентропії дає змогу виміряти (зазвичай, у бітах) невизначеність у реалізації випадкової величини. Відзначимо, що за умови (3.1), імовірність перед логарифмом – кількості інформації в окремих повідомленнях.

Для кожного року обчислено кількість аналізованих причин, представлених у виразі (3.3):

$$N = n_1 + n_2 + \dots + n_8, \quad (3.3)$$

де n_i – кількість відмов i -го виду відмови (n_1 – тварини або птахи).

На їх основі обчислено ймовірність відмови повітряних ліній за виразом:

$$q_i = \frac{n_i}{N}, \quad (3.4)$$

де q_i – ймовірність відмови повітряних ліній (q_1 – ймовірність відмови від впливу птахів). Для усіх q_i виконується умова (2).

Через ймовірність q_i , за виразом (1) обчислено ентропію для кожної із подій [17]:

$$H_i = -q_i \log_2 q_i, \quad (3.5)$$

а також ентропію за весь аналізований k -й рік, як суму ентропій подій:

$$H = \sum_{i=1}^N H_i. \quad (3.6)$$

Згідно із даними диспетчерського журналу, представлених у таблиці 2.1, виконаємо розрахунок ентропії для повітряних ліній із урахуванням впливу птахів, які призводять до відмикання повітряних ліній напругою 750 – 220 кВ. Вихідні дані та результати обчислень ентропії за роками представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати обчислень ентропії за роками

Рік	Показник	Клас птахи
2018	n_i	12
	q_i	0,21
	H_i	0,465
2019	n_i	16
	q_i	0,266
	H_i	0,507
2020	n_i	19
	q_i	0,316
	H_i	0,52
2021	n_i	7
	q_i	0,116
	H_i	0,36
2022	n_i	6
	q_i	0,1
	H_i	0,332

На основі результатів представлених у таблиці 3.1 побудуємо графік інформаційної ентропії за роками, який представлено на рисунку 3.5

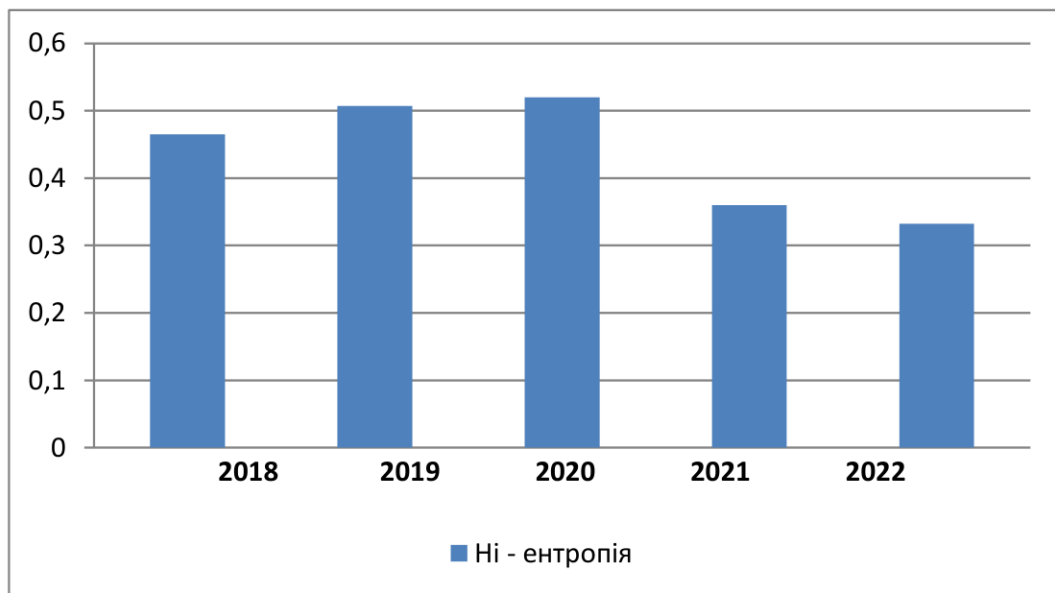


Рисунок 3.5 – Розподіл інформаційної ентропії за роками

Із розподілу інформаційної ентропії на рисунку 3.5 бачимо, що ентропія повітряної лінії підвищувалася з кожним роком з 2018 –2020 р, найбільша кількість ентропії припадає на 2020 р. Це свідчить про те, що найбільша кількість аварійних відключень припадала на 2020 р. Потім ми бачимо планомірне зниження ентропії та чергово підвищенні надійності та стійкості повітряної лінії.

У таблиці 3.2 представлено результати обчислення ентропії за місяцями для повітряної лінії електропередачі.

Таблиця 3.2 – Розподіл інформаційної ентропії за 5 років

Показник	Рік					
	Місяць	2018	2019	2020	2021	2022
n_i	Січень	1				
q_i		0,084				
H_i		0,299				
n_i	Лютий					
q_i						
H_i						
n_i	Березень	1	1		1	
q_i		0,084	0,063		0,143	
H_i		0,299	0,249		0,399	
n_i	Квітень	3		2	1	3
q_i		0,251		0,106	0,143	0,51

H_i		0,51		0,342	0,399	0,51
n_i	Травень	1	1			1
q_i		0,084	0,063			0,167
H_i		0,299	0,249			0,431
n_i	Червень	1		1	1	
q_i		0,084		0,053	0,143	
H_i		0,299		0,222	0,399	
n_i	Липень	2	5	2		
q_i		0,167	0,313	0,106		
H_i		0,431	0,525	0,342		
n_i	Серпень		1	4		1
q_i			0,063	0,211		0,167
H_i			0,249	0,473		0,431
n_i	Вересень	1	8	8	3	1
q_i		0,084	0,51	0,422	0,427	0,167
H_i		0,299	0,51	0,526	0,525	0,431
n_i	Жовтень					
q_i						
H_i						
n_i	Листопад	2				
q_i		0,167				
H_i		0,431				
n_i	Грудень			2	1	
q_i				0,106	0,143	
H_i				0,342	0,399	

На підґрунті результатів відображених у таблиці 3.2 представимо графік розподілу інформаційної ентропії за 5 років.

Із графіка на рисунку 3.6 бачимо, що інформаційна ентропія для повітряної лінії має тенденцію до наявності високого значення у весняно-осінній період протягом усього періоду, який аналізується. Це свідчить про те, що в наявності висока невизначеність у появі відмов через вплив птахів. Очевидно, місця появи відмов важко визначити. Невизначеність пошуку місць відмов можна планомірно знизити за рахунок збільшення статистичних даних про поведінку та розміщення птахів.



Рисунок 3.6 – Розподіл інформаційної ентропії за 5 років по місяцях

Застосування ентропії передбачає потребу виявлення події, яка стосується участі птахів, у конкретний час. Практика експлуатації повітряних ліній електропередач свідчить про вплив сезонності на відмикання із нез'ясованих причин.

Дане дослідження може бути використане при складанні графіків планово-попереджувальних ремонтів, а також із метою забезпечення надійної роботи електроустаткування, попередження та усунення несправностей та зношування основного електротехнічного устаткування.

3.3 Рекомендації для зниження ризиків виникнення аварій

Проведені дослідження показали, що основними причинами, які призводять до аварійних відмикань повітряних ліній 220 кВ є «дія» птахів.

Наочне відображення результатів досліджень факторів свідчить про особливості та боротьби проти гніздування та присідання птахів на опори повітряних ліній електропередач.

Один із варіантів розв'язання проблеми із птахами – це використання сучасних самонесучих ізольованих проводів. Цей провід покритий спеціальною полімерною оболонкою і він дасть змогу уникнути контакту птахів зі

струмоведучими частинами, що виключається самою конструкцією. Перевага таких проводів у тому, що ізоляція струмопровідних жил оберігає повітряні лінії від коротких замикань не лише при «схлестуванні» проводів, а й при падінні дерев, а також зменшує налипання снігу та льоду на проводи лінії.

Проблему із гніздуванням також можна вирішити за допомогою позбавлення птахів «будівельного матеріалу», наприклад, прибирати із землі випадково кинуті дроти у радіусі 5 км від підстанції або ставити поруч опору з майданчиком і заготовкою для гнізда.

До найбільш поширених пристроїв, які обмежують доступ птахів до елементів опор, відносяться всілякі захисні кожухи, захисні сітки, металеві щити ковпачки, що одягаються на ізолятори. Найбільш ефективними пристроями проти гніздування є пристрої, які генерують у нічний час імпульсні світлові спалахи: птахи до них не можуть звикнути.

Нові ж повітряні лінії електропередач потрібно проектувати в обхід території, на яких спостерігається значне скупчення птахів. Такі скупчення можуть утворюватися у місцях гніздування колоніальних птахів, особливо коловодних та деяких наземних горобиних, у місцях ночівлі птахів у передміграційний та зимовий періоди чи зупинок під час міграцій, у місцях живлення протягом зимового періоду. Зважання на сезонний характер скупчень птахів має особливе значення.

Засоби для відлякування птахів мають відповідати таким критеріям [9]:

- тривалий термін служби від 5 до 10 років та більше;
- хімічна стійкість до сечовини, яка міститься у пташиному посліді;
- стійкість до екстремальних погодних умов, таких як літня спека, зимові морози, ультрафіолетове випромінювання, дощ, тощо;
- надійне живлення для звукових відлякувачів, перспективним рішенням тут може бути використання сонячних батарей.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Механізм смерті від електричного струму

Смерть – це повна втрата взаємозв'язку організму з навколишнім середовищем: припинення основних фізіологічних процесів – свідомості, дихання й серцебиття, відсутність реакцій на зовнішні подразники тощо. У більш широкому значенні смерть – необоротне припинення обміну речовин в організмі, що супроводжується розкладанням білкових тіл. Розрізняють два основних етапи смерті: клінічну та біологічну смерть [24].

Клінічна (або «уявна») смерть – короткочасний перехідний стан від життя до смерті, що настає з моменту припинення діяльності серця й легенів. У людини, що перебуває в стані клінічної смерті, відсутні всі ознаки життя: вона не дихає, серце її не працює, болісні подразнення не викликають у неї жодних реакцій, зіниці очей різко розширені й не реагують на світло.

Однак у цей період життя в організмі ще повністю не згасло, тому що тканини його не відразу піддаються розпаду й певною мірою зберігають життєдатність. Функції різних органів також згасають поступово. У перший момент майже в усіх тканинах і клітинах тривають обмінні процеси, хоча й на дуже низькому рівні й різко відрізняються від звичайних, але достатні для підтримки мінімальної життєдіяльності. Ці обставини дають змогу, впливаючи на більш стійкі життєві функції організму, відновити згасаючі або тільки що згаслі функції, тобто оживити вмираючий організм [25].

Біологічна (або дійсна) смерть – необоротне явище, яке характеризується припиненням біологічних процесів у клітинах і тканинах і розпадом білкових структур. Вона настає після закінчення періоду клінічної смерті.

Причинами смерті від електричного струму можуть бути:

- припинення роботи серця;
- зупинка дихання;
- електричний шок.

Припинення серцевої діяльності від електричного струму найбільш небезпечне, оскільки повернення потерпілого до життя в цьому випадку виявляється, як правило, більше складним завданням, ніж при зупинці дихання або шоку. Вплив струму на м'язи серця може бути прямим і рефлекторним. В обох випадках може відбутися зупинка серця, а також виникнути його фібриляція. Фібриляція може бути й результатом рефлекторного спазму артерій, що живлять серце кров'ю. При ураженні струмом фібриляція серця настає значно частіше, ніж повна його зупинка [25].

Фібриляція серця – хаотичні різночасні скорочення волокон серцевого м'яза (фібрил), при яких серце не в змозі гнати кров по судинах. Фібриляція серця може настати в результаті проходження через тіло людини шляхом «рука – рука» або «рука – нога» змінного струму більше 50 мА частотою 50 Гц протягом декількох секунд. Струми менше 50 мА й більше 5 А тієї самої частоти фібриляції серця в людини, як правило, не викликають.

Припинення дихання відбувається звичайно в результаті безпосереднього впливу струму на м'язи грудної клітки, що беруть участь у процесі дихання. Людина починає зазнавати утруднення дихання внаслідок судорожного скорочення зазначених м'язів уже при струмі 20 – 25 мА частотою 50 Гц, що проходить через її тіло. При більшому струмі ця дія підсилюється. У випадку тривалого проходження через людину такого струму настає так звана асфіксія (удушення) – хворобливий стан у результаті нестачі кисню й надлишку вуглекислоти в організмі. При асфіксії послідовно втрачаються свідомість, чутливість, рефлекси, потім припиняється дихання, а через якийсь час зупиняється серце або виникає його фібриляція, тобто настає клінічна смерть.

Електричний шок – своєрідна важка нервово-рефлекторна реакція організму у відповідь на надмірне подразнення електричним струмом, що супроводжується глибокими розладами кровообігу, дихання, обміну речовин тощо. Під час шоку безпосередньо після впливу струму настає короткочасна фаза збудження, коли потерпілий реагує на виниклі болі, у нього підвищується кров'яний тиск тощо. Після цього настає фаза гальмування й висна-

ження нервової системи, коли різко знижується кров'яний тиск, падає й частішає пульс, слабшає дихання, виникає депресія – пригноблений стан і повна байдужість до оточення при збереженій свідомості. Шоковий стан триває від декількох десятків хвилин до доби. Після цього може настати або загибель людини в результаті повного згасання життєво важливих функцій, або видужання як результат своєчасного активного лікувального втручання.

4.2 Модель процесу виникнення та формування виробничих небезпек при обслуговуванні вимикачів

Проаналізувавши кожен із логічних моделей процесів формування та можливого виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій, завжди можна знайти подію з якої починається небезпечний процес ще до виникнення небезпечних наслідків.

Методикою оцінки рівня безпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію рівня безпеки для конкретного об'єкта [26]. Таким показником вибрано імовірність виникнення аварії, травми залежно від явища, яке досліджується.

Для оцінки рівня безпеки певного об'єкта чи явища можна застосувати метод обчислення ймовірності виникнення будь-якого випадкового явища, який широко застосовують в зарубіжній інженерній практиці. Основні його принципи полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця або окремої машини виявляють виробничі небезпеки, можливі аварійні або травматичні ситуації. При оцінці ситуацій визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логічно-імітаційної моделі травми. Після цього будують модель «дерева відмов і помилок оператора». При цьому важливе значення має правильний вибір головної події.

Головну подію (травма), модель якої нам необхідно побудувати, вибирають виходячи з оцінки відповідного об'єкта, виробництва чи окремої оди-

ниці обладнання і змісту його найбільш небезпечного явища, яке за певних умов виробництва може виникнути.

Після вибору головного випадкового явища (події) розпочинаємо побудову моделі («дерева»). Використовуючи оператори «і», «або» та набір ситуацій (відомих до цього), які можуть призвести до вибраної головної події.

Після визначення відповідних травмонебезпечних ситуацій та їх кількості, визначають інші події, які входять до кожної такої ситуації, логічним аналізом із застосуванням операторів «і», «або» чи інших. Процес побудови моделі триває, поки не будуть знайдені усі базові події, які визначають межу моделі.

Варто врахувати, що кожна випадкова подія, до якої входять базові події, може формуватися та виникати при входженні у неї двох, трьох чи більше базових подій за допомогою відповідних операторів.

Повністю побудована та перевірена модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, яка увійшла до моделі, починаючи з базових та закінчуючи головною.

Ймовірність базових подій визначаємо за даними виробництва. Наприклад, базова подія «стан контролю з охорони праці». Для визначення ймовірності ми повинні встановити, наскільки (у відсотках) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об'єкті. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 50 % або 30 %, то ймовірність відповідно дорівнює 0,5 та 0,3. При відсутності контролю ймовірність «не здійснення контролю» становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідно ймовірність дорівнює 0.

Після обчислення ймовірності усіх подій, розміщених у ромбах, і базових подій, починаючи з лівої нижньої гілки «дерева», позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до моделі.

На цьому можна вважати, що певна модель підготовлена до математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логічно-імітаційної моделі

Отже, для побудови логіко-імітаційної моделі процесу, формування і

виникнення аварії та травми під час обслуговування вимикачів складемо список базових подій. Вони лежатимуть в основі цієї моделі. Кожному пункту списку присвоюємо певне значення ймовірності виникнення. Список цих подій представлено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Імовірності виникнення подій

Шифр	Назва події	Імовірність
P_1	Стан контролю з охорони праці	0,2
P_2	Несерйозне відношення до проходження ТО інструменту	0,1
P_3	Відсутність комплектуючих установки	0,2
P_4	Невисока міцність	0,03
P_6	Використання застарілого обладнання	0,02
P_7	Попадання сторонніх предметів	0,4
P_{12}	Досвід роботи виконавця	0,35
P_{13}	Професійний рівень виконавця	0,5
P_{14}	Психофізіологічний стан виконавця	0,083

На основі представлений у таблиці подій будуємо матрицю логічних взаємозв'язків між окремими пунктами, графічна інтерпретація якої представлена на рисунку 4.1.

Розрахуємо ймовірності виникнення подій, які формують логіко-імітаційну модель процесів створення мікрокліматичних умов. Розглянемо травмонебезпечну ситуацію, яка виникає за умови роботи працівників із електронебезпекою.

Визначимо ймовірності виникнення подій:

$$P_5 = 0,2 + 0,1 + 0,2 + 0,003 - 0,2 \cdot 0,1 - 0,2 \cdot 0,03 - 0,1 \cdot 0,2 - 0,1 \cdot 0,03 - \\ - 0,2 \cdot 0,03 + 0,1 \cdot 0,2 \cdot 0,1 + 0,1 \cdot 0,2 \cdot 0,03 + 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,2 + \\ + 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,03 - 0,2 \cdot 0,1 \cdot 0,2 \cdot 0,03 = 0,3$$

$$P_{10} = 0,2 + 0,1 = 0,3;$$

$$P_{11} = 0,02 \cdot 0,314 \cdot 0,4 \cdot 0,3 = 0,00075;$$

$$P_{15} = 0,35 \cdot 0,5 \cdot 0,083 = 0,0145;$$

$$P_{18} = 0,5 \cdot 0,083 = 0,0145;$$

$$P_{19} = 0,0145 \cdot 0,083 = 0,0012;$$

$$P_{20} = 0,00075 + 0,0012 = 0,00195.$$

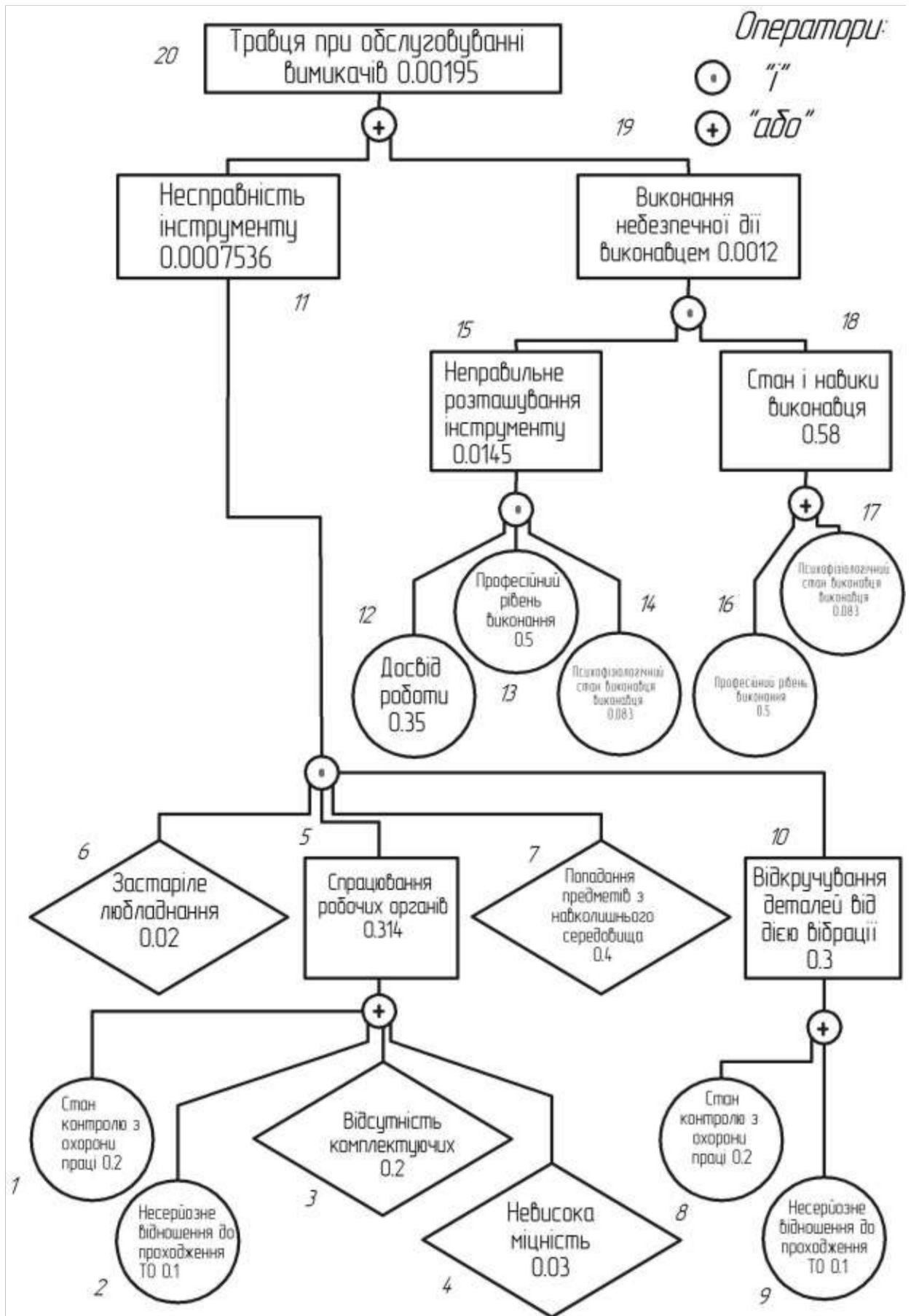


Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травми при обслуговуванні вимикачів

Ймовірність травми рівна ймовірності виникнення аварії, бо остання можлива лише за умови обслуговування вимикачів людиною.

Логіко-імітаційні моделі аварій і травм допомагають зменшити ймовірність виникнення аварійних та травмонебезпечних ситуацій. Якщо необхідно оцінити рівень безпеки будь-якого робочого місця, слід уважно вивчити та побудувати логічні моделі можливих небезпечних ситуацій, які охоплюють як стан обладнання і самого робочого місця, так і поведінку робітника і обчислити ймовірність виникнення травми.

Після аналізу результатів моделювання ймовірність виникнення травми можна звести до дуже малої величини – достатньо зменшити вплив ймовірностей вихідних факторів, які до неї призводять.

4.3 Розробка заходів із питань безпеки в надзвичайних ситуаціях

З метою своєчасного захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, запобігання та реагування на них відповідними центральними та місцевими органами виконавчої влади відповідно до статей 9 та 15 Закону України «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру» (1809-14) і постанови Кабінету Міністрів України від 3 серпня 1998 р. № 1198 (1198-98-п) «Про єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру» наказом МНС за № 186 від 06.08.2002 р. була введена в дію «Методика спостережень щодо оцінки радіаційної та хімічної обстановки» [27].

Ця методика визначає єдиний порядок спостережень щодо оцінки радіаційної обстановки та хімічної обстановки у разі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру.

У межах цієї Методики введені такі терміни:

- зона відповідальності – це визначена територія, на якій здійснюється радіаційне та хімічне спостереження відповідно до встановлених завдань регламенту;
- пост радіаційного та хімічного спостереження (ПРХС) – позаштатне спеціалізоване формування (від 2 до 4 осіб), яке здійснює періодичне або постійне радіаційне та хімічне спостереження відповідно до встановлених завдань та регламенту;
- диспетчерська служба – передбачений штатним розписом підприємства, організації або установи в разі потреби (виробничої, службової тощо) підрозділ, який здійснює цілодобове чергування силами однієї або декількох осіб (далі – черговий об’єкта);
- радіаційне та хімічне спостереження – комплекс заходів щодо збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан радіаційної та хімічної обстановки для прийняття рішень про своєчасне реагування на негативні зміни стану довкілля у разі виникнення надзвичайної ситуації або інших подій з радіоактивними і хімічними речовинами;
- розрахунково-аналітична група (РАГ) – позаштатне спеціалізоване формування, яке здійснює збирання, оброблення, передавання і збереження інформації про стан радіаційного та хімічного становища. Для ПРХС відповідно до конкретних завдань, які уточнюються на період спостережень, завчасно визначаються місця розташування або зони відповідальності.

Для виконання окремих завдань ПРХС за рахунок суб’єкта можуть оснащуватися автомобілями, у тому числі спеціально обладнаними. З метою збирання та обробки великого обсягу інформації, яка надходить від диспетчерських служб і ПРХС у період посилення роботи у режимах підвищеної готовності та діяльності у надзвичайних ситуаціях, за рішеннями Ради міністрів Автономної Республіки Крим, обласних, Київської та Севастопольської міських державних адміністрацій для роботи в Центрах управління в надзвичайних ситуаціях Автономної Республіки Крим, областей, сільських районів, міст і міських районів у порядку [28].

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

5.1 Огляд засобів відлякування птахів

Через неможливість птахів безперервно літати, рано чи пізно їм доводиться приземлятися, чіпляючись лапами за якусь опору. Часто можна бачити, як птахи розгойдуються на проводах повітряних ліній електропередач, через які передаються величезні потужності. Деякі птахи, наприклад, лелеки, можуть будувати на таких лініях гнізда для виведення потомства (рисунок 5.1). Це особливо актуально для степових регіонів, де немає лісів, і опори повітряних ліній електропередач стають найкращим варіантом для птахів [15].



Рисунок 5.1 – Гіздування лелек на опорі повітряної лінії електропередачі

Якщо говорити про дрібні птахи, які не облаштовують гнізда, то вони можуть привертати увагу хижаків з великим розмахом крил. Як наслідок, такі хижаки можуть створювати аварійні ситуації на лініях електропередач. Окрім того, птахів також може приваблювати і тепло, яке виділяється, наприклад, трансформаторними підстанціями.

Для охорони навколишнього середовища та збереження життя птахів відповідні служби встановлюють на лініях електропередач пристрої для відлякування птахів, щоб уберегти їх від ураження електричним струмом. Це складне завдання, враховуючи довжину ліній.

Попри те, що повітряний проміжок між проводами лінії є досить великим, його величини може бути недостатньо для великих птахів і може виникнути ситуація, коли під час широкого розмаху крил утворюється електрична дуга через замикання контура, оскільки опір тіла птаха значно менший, ніж у повітря. Враховуючи високу напруги лінії (сотні тисяч вольт), через тіло птаха починає протікати електричний струм.

Окрім того, ізолятори, якщо на них є тріщини, які не були вчасно виявлені, можуть стати причиною пробою. Ця проблема особливо актуальна з точки зору збереження рідкісних видів птахів, занесених до Червоної книги, таких як: боривітер, степовий орел, беркут, могильник, сокіл-сапсан, тощо.

Подекуди, птахи можуть спричинити дуже серйозні проблеми, які викликані аваріями. Аварія з вини птахів може відбутися у важкодоступній місцевості, що суттєво ускладнює роботу ремонтних бригад, при цьому цілі райони залишаються без електропостачання.



Рисунок 5.2 – Біоакустичний пристрій відлякування птахів

Ще однією причиною виникнення аварій через «дію» птахів, яку ми згадували вище, є рідкий пташиний послід. Внаслідок того, що велика кількість птахів протягом дня присідає на одне і те ж місце, то у цьому місці на-

копичується велика кількість рідкого посліду, який може стати провідником і призвести до аварійної ситуації.

Ми рекомендуємо для відлякування птахів встановлювати біоакустичні пристрої. Ці пристрої призначені для запобігання присідання птахів у певних місцях, заздалегідь їх відлякуючи. Найефективнішим варіант використання таких пристроїв сумісно із датчиками, щоб біоакустичний сигнал активувався лише при наближенні птахів, а не працював постійно [3].

На рисунку 5.2 представлено зовнішній вигляд біоакустичного пристрою відлякування птахів.

Для кожного регіону України потрібно застосовувати конкретні відлякувачі, які підбираються залежно від набору звуків, які лякають птахів. Це важливо, оскільки кожен вид птахів реагує на певні сигнали, такі як крики хижаків, страждання пораненої жертви або звуки пострілів.

Якщо у регіоні є поширені глугі породи птахів, то біоакустичні відлякувачі не допоможуть. Глухих птахів є приблизного 15 % серед усіх птахів. Тому для цих птахів потрібно передбачити механічні засоби. До них відносять різного роду шипи (рисунок 5.1) та діелектричні кожухи (рисунок 5.3).



Рисунок 5.3 – Діелектричні кожухи на над ізоляторами дротів ЛЕП

Ці механічні засоби встановлюються вздовж шляхів міграції, у місцях масового скупчення птахів та їх гніздування. Для раціонального розміщення цих пристроїв необхідна співпраця із статистиками та орнітологами, що дає змогу суттєво зменшити кількість аварійних відмикань.

Ще одним рішенням проблеми «дії» птахів може бути використання ізольованих проводів, які повністю унеможливають контакт тіла птаха з струмоведучими частинами обладнання. Однак це стосується будівництва нових ліній електропередач низьких класів напруг, оскільки заміна існуючих проводів разом із усією арматурою є дорогою вартісною процедурою.

5.2 Техніко-економічні збитки від перерв в електропостачанні

Під час перерв в електропостачанні споживачів присутній техніко-економічний збиток. Величина та характер цього збитку залежать від багатьох факторів і, перш за все, від виду цих споживачів. За перерв в електропостачанні промислових підприємств розрізняють прямий, або безпосередній збиток та збитки від недовиробленої продукції.

Прямий збиток включає: оплату простоїв робітників; загальноцехові та загальнозаводські витрати; збитки від браку та псування сировини, матеріалів, продукції, обладнання; вартістю робіт, які пов'язані з відновленням та налагодженням технологічних процесів; амортизаційні відрахування та відрахування на розширене відтворення від основних фондів. Народногосподарський збиток та його залежність від часу простоювання визначається за даними відповідних обстежень.

Однак зупинка підприємства не завжди пов'язане з усіма зазначеними витратами. Поломка обладнання та брак продукції при перерві в електропостачанні відбуваються не на кожному підприємстві і не в кожному технологічному процесі. Істотно впливає при цьому тривалість перерви електропостачання. Наприклад, у бавовняній промисловості під час прядіння та ткацтві брак продукції та псування сировини у випадку припинення електропоста-

чання майже відсутні, а на фарбувально-оздоблювальних фабриках припинення електропостачання на 30 хв і вище призводить до значного непоправного браку продукції. За наявності автоматичних потокових ліній у металургійних цехах перерва в електропостачанні навіть кілька секунд призводить до істотного розладу технологічного процесу, відновлення якого триває іноді кілька годин.

Для деяких технологічних процесів у випадку перерви в електропостачанні відбувається їх суттєве подовження, наприклад, при виплавці сталі в мартенівських печах та в електропечах, алюмінію в електролітичних ваннах, в електрохімії (азот) та ін. При електролізі та електротермії перериви електропостачання викликають остигання ванн та електропечей, збільшуючи питомі витрати електричної енергії на одиницю продукції. Відтак, визначаючи величини збитків при перерві електропостачання, слід ретельно аналізувати технологічний процес кожного підприємства.

Збитки від недовироблення продукції по промислому підприємству визначають, виходячи із середньогодинної продуктивності підприємства або технологічного процесу та часу простою.

У ряді випадків в оцінці необхідного ступеня забезпечення надійності електропостачання споживачів користуються деякими середніми економічними показниками. Це пов'язано з тим, що до електричних мереж приєднуються різні промислові підприємства, а здійснення точної оцінки техніко-економічного збитку під час перерви їх в електропостачанні становить значні труднощі. При оцінюванні народногосподарського збитку можна використовувати значення збитку y_0 , яке відноситься до 1 кВт год невідпущеної електроенергії. Нині здебільшого наближене значення середніх питомих збитків y_0 приймається рівним 0,6 грн/кВт год. При цьому у випадку припинення електропостачання споживачів, народногосподарські збитки становлять [29]:

$$Y = y_0 A_{нед}, \quad (5.1)$$

де $A_{нед}$ – кількість невідпущеної споживачам електричної енергії за період часу, який розглядається (здебільшого один рік). При повному припиненні

електропостачання підприємства в аварійному режимі кількість недовідпущеної електроенергії буде становити:

$$A_{нед} = pP_{нб}T_{нб}, \quad (5.2)$$

де $P_{нб}$ – споживана потужність у режимі найбільшого навантаження; $T_{нб}$ – кількість годин використання найбільшого навантаження; p – відносна імовірна тривалість аварійного режиму.

Згідно статистичних даних [8] тривалість відновлювальних ремонтів після відмикань із нез'ясованих причин становить 14 год на рік, а середнє значення передавальної потужності лінією електропередачі 220 кВ становить 150 МВт. Відповідно збитки від недовідпуску електричної енергії споживачам протягом 1 року будуть становити:

$$З = 0,6 \frac{грн}{кВт \cdot год} \cdot 150000 кВт \cdot 14 год = 1,26 \text{ млн. грн.}$$

Бачимо, що сума збитку від недовідпуску електричної енергії протягом року через відмикання із нез'ясованих причин становить 1,26 млн. грн.

5.3 Обчислення вартості встановлення біоакустичних пристроїв

Згідно прайсу на біоакустичні відлякувачі птахів [30], вартість одного пристрою КОРШУН-16 становить 6400 грн. Цей пристрій покриває територію площею 15000 м², або радіусом 220 м, що є співмірним з прольотом між опорами ліній електропередач 220 кВ. Довжина аналізованої лінії становить 73 км, з прольотами у 300 м та встановленням пристроїв по одному на три опори, їх буде 80 пристроїв.

Обчислимо вартість закупівлі та встановлення біоакустичних відлякувачів птахів з урахуванням 10 % на їх монтаж [31]:

$$K = 6400 \cdot 81 + (6400 \cdot 81) \cdot 0,1 = 570240 \text{ грн.}$$

Враховуючи збитки 1,26 млн. грн., термін окупності біоакустичних відлякувачів птахів становить **0,45 року**.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи отримано результати аналізу статистичних даних та здійснено дослідження причин відмикання магістральних повітряних ліній електропередач, а також зроблено рекомендації для зниження кількості аварійних відмикань. Отримані результати можна узагальнити так:

1. Розкрито концепцію надійності роботи повітряних ліній електропередач, обґрунтовано методологію проведення досліджень, а також висвітлено основні причини аварійних відмикань магістральних повітряних ліній електропередач високих та надвисоких класів напруг.

2. Здійснено характеристику роботи системного оператора передачі та розподілу електричної енергії в Об'єднаній енергетичній системі України. Проведено аналіз відмикань магістральних ліній електропередач і встановлено зв'язки між відмиканнями із нез'ясованих причин.

3. Проведено аналіз показників надійності ліній електропередач та встановлено їх зв'язок із «пташиними» відмиканнями. Зроблено рекомендації для зниження ризиків виникнення аварій.

4. Розкрито питання з охорони праці та захисту населення у надзвичайних ситуаціях. Здійснено аналіз процесу виникнення травми при обслуговуванні вимикачів.

5. Проведено аналіз техніко-економічних збитків від перерв в електропостачанні та обчислено вартість встановлення біоакустичних відлякувачів птахів. Термін окупності запропонованих рішень становить 0,45 року.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Черкашина В. В. Структурування повітряних ліній електропередачі в умовах неповноти інформації. Харків: Факт, 2016. 160 с.
2. Кузьмичов А. І. Оптимізаційні методи і моделі: практикум в Excel. Київ: ВПЦ АМУ, 2013. 438 с.
3. Волович О. О. Енергетична безпека України: зб. ст. та аналіт. матеріалів. Одеса: Фенікс, 2009. 354 с.
4. Журахівський А. В., Кінаш Б. М., Пастух О. Р. Надійність електричних систем і мереж: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 280 с.
5. Бурбело М. Й., Бірюков О. О., Мельничук Л. М. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2011. 204 с.
6. Півняк Г. Г. Енергетична ефективність систем електропостачання: монографія. Дніпро: НТУ «ДП», 2018. 148 с.
7. Хоменко І. В., Плахтій О. А., Нерубацький В. П., Стасюк І. В. Електроенергетика України. Структура, керування, інновації: монографія. Харків: НТУ «ХП», ТОВ «Планета-Прінт», 2020. 132 с.
8. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця: Нова книга, 2004. 656 с.
9. Притака І. П., Козирський В. В. Електропостачання сільського господарства. Київ: Урожай, 1995. 343 с.
10. Лук'яненко Ю. В., Остапчук Ж. І., Кулик В. В. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні. Вінниця: ВДТУ, 2002. 116 с.
11. Гаряжа В. М., Карюк А. О. Електрична частина станцій та підстанцій: конспект лекцій. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 149 с.
12. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%BE>

13. Mahdi Fathi, University of North Texas, Marzieh Khakifirooz, Tecnológico de Monterrey. Panos Pardalos. Optimization in Large Scale Problems. 2019. 245 p.
14. Бурбело М. Й., Гадай А. В. Динамічна компенсація реактивної потужності в пускових режимах електроприводів: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2010. 104 с.
15. Жежеленко І. В., Півняк Г. Г., Трофімов Г. Г., Папаїка Ю. А. Реактивна потужність в електричних мережах: монографія. Дніпро: НТУ«ДП», 2020. 72 с.
16. Казанський С. В. Надійність електроенергетичних систем. Київ: КПІ, 2020. 67 с.
17. Бардик Є. І., Лукаш М. П. Електрична частина станцій та підстанцій. Синхронні генератори: навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2008. 100 с.
18. Добровольська Л. Н., Лесько В. О., Черкашина В. В. Автоматизація розподільних електричних мереж в умовах балансуєчого ринку електроенергії. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2014. 208 с.
19. Остапчук Ж. І., Кулик В. В., Тептя В. В. Моделювання в задачах розвитку електричних систем. Вінниця: ВНТУ, 2008. 128 с.
20. Тісленко В. В. Системи електропостачання загального призначення. Чернігів: ЧНТУ, 2005. 341 с.
21. Лазарєв Ю. Ф. Моделювання динамічних систем у Matlab: електронний навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. 421 с.
22. Бардик Є. І. Експлуатація та режими роботи електростанцій. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 73 с.
23. Kowalski Z. Jakosc energii elektrycznej. Lodz, 2007. 620 s.
24. Панченко С. В., Акімов О. І., Бабаєв М. М. Електробезпека: підручник. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 295 с.
25. Лехман С. Д. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві: навч. посібник. Київ: Урожай, 1993. 272 с.

26. Пістун І. П., Березовецький А. П., Тимочко В. О., Городецький І. М. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія). Львів: Тріада плюс, 2017. 620 с.
27. Касьянов М. А., Ревенко Ю. П., Тищенко Ю. А. Захист населення в умовах надзвичайних. Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля., 2003. 183 с.
28. <https://dsns.gov.ua/navchannya-naselennya-diyam-u-nadzvichaynih-sitaciyah>
29. Мірошник О. О., Черкашина В. В., Мороз О. М., Черемісін М. М. Економічні розрахунки в інженерній діяльності на прикладах задач електроенергетики. Харків: ФЛП Панов А. Н., 2018. 214 с.
30. <https://glushitel.zp.ua/ua/bioakusticheskie-otpugivateli-ptic.html>
31. ГКД 340.000.001-95. Визначення економічної ефективності капіталовкладень в енергетику. Методика. (Загальні методичні положення). Київ: Міненерго України, 1995. 34 с.