

□

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:

**«ЗАХОДИ ПОКРАЩАННЯ НАДІЙНОСТІ РОЗПОДІЛЬЧИХ
МЕРЕЖ 35/10 КВ ПАТ «ВОЛИНЬОБЛЕНЕРГО»»**

Виконав: студент VI курсу

групи Ен – 61 спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Дяковський В. М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник: Левонюк В. Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент: Бабич М. І.

(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)

д.т.н., професор Калахан О. С.

(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ _____ ” _____ 202__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

_____ Дяковському Володимиру Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Заходи покращання надійності розподільчих мереж 35/10 кВ ПАТ «Волиньобленерго»»

керівник роботи к.т.н., доцент Левонюк В. Р.

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

затверджені наказом Львівського НУП № 133 / к - с від 28.04.2023 р.

2. Строк подання студентом роботи 18.01.2024 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 надійності в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці

2. Дослідження показників надійності

3. Покращання надійності розподільчих мереж 35/10 кВ

4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Економічна частина

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 28.04.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Виконання короткої характеристики ПрАТ «Волиньобленерго». Аналіз показників надійності.</i>	28.04.2023 – 19.05.2023	
2	<i>Аналіз недовідпуску електроенергії розподільчими мережами 35/10 кВ. Детермінування показників надійності.</i>	22.05.2023 – 8.09.2023	
3	<i>Впровадження заходів для покращання надійності розподільчих мереж</i>	11.09.2023 – 24.11.2023	
4	<i>Розробка логіко імітаційної моделі процесу виникнення травми при обслуговуванні трансформатора</i>	27.11.2023 – 8.12.2023	
5	<i>Здійснення техніко-економічної оцінки прийнятих рішень</i>	11.12.2023 – 22.12.2023	
6	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	25.12.2023 – 5.01.2024	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	8.01.2023 – 18.01.2023	

Студент

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

Керівник роботи

Левонюк В. Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 621.15.385:2

Дяковський В. Б. «Заходи покращання надійності розподільчих мереж 35/10 кВ ПАТ «Волиньобленерго»». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024 р. 58 с. текстової частини, 24 таблиць, 33 рисунки, 36 джерела.

У кваліфікаційній роботі репрезентовано можливі варіанти покращання надійності розподільчих мереж 10/35 кВ ПрАТ «Волиньобленерго». Розкрито теоретичні положення надійності елементів систем електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. Здійснено аналіз недовідпуску електричної енергії за підстанціями Ковельського та Володимир-Волинського РЕМів. Проведено обчислення середнього часу відновлення елементів мережі та представлено детальний аналіз отриманих результатів за усіма підстанціями 35/10 кВ Ковельського та Володимир-Волинського РЕМів і запропоновано заходи покращання надійності електричних мереж 35 кВ та 10 кВ. Розглянуто вимоги безпеки до повітряних ліній електропередач та ключові аспекти проведення робіт електромонтерами та обслуговуючим персоналом на діючих лініях електропередач. Зроблено економічні обґрунтування заміни голих сталевалюмінієвих проводів на ізольовані проводи марки СП-3. Укладено кошторис на проведення зазначених робіт. Здійснено оцінку ефективності застосування заходів із покращання надійності електропостачання по Ковельському та Володимир-Волинському РЕМах ПрАТ «Волиньобленерго».

НАДІЙНІСТЬ, ЛІНІЯ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ, АНАЛІЗ, РОЗПОДІЛЬЧІ МЕРЕЖІ, ВІДМОВА, ВІДНОВЛЕННЯ.



ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ, ЕЛЕКТРОТЕХНІЦІ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЦІ.....	8
1.1 Основні поняття надійності.....	8
1.2 Поняття відмови.....	9
1.3 Коротка характеристика ПрАТ «Волиньобленерго».....	11
1.4 Зниження показників надійності в електричних мережах.....	15
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ.....	18
2.1 Аналіз недовідпуску електроенергії розподільчими мережами 35/10 кВ	18
2.2 Детермінування показників надійності електропостачання споживачів	21
3 ПОКРАЩАННЯ НАДІЙНОСТІ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ 35/10 КВ...	30
3.1 Обчислення середнього часу відновлення елементів мережі.....	30
3.2 Заходи з покращання надійності електричних мереж 35 кВ та 10 кВ	37
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	41
4.1 Вимоги безпеки до повітряних ліній електропередач.....	41
4.2 Категорії робіт на повітряних лініях електропередач.....	41
4.3 Роботи на вимкненій лінії вдалі від інших діючих ліній.....	43
4.4 Роботи на вимкненій лінії поблизу інших діючих ліній.....	43
4.5 Модель процесу виникнення та формування виробничих небезпек при обслуговуванні трансформатора.....	46
4.6 Розробка заходів з питань безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	49
4.6.1 Основні загоди щодо захисту населення в умовах надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру.....	49
4.6.2 Інформація та оповіщення в надзвичайних ситуаціях.....	50
4.6.3 Організація зв'язку й оповіщення у місті в надзвичайних ситуаціях.....	51
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	51
ВИСНОВКИ.....	55

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	56
-------------------------------	----

ВСТУП

Основним завданням експлуатації електричних мереж є безперебійне забезпечення електричною енергією споживачів. Це завдання можна вирішити організацією експлуатації електричних мереж, своєчасною ліквідацією пошкоджень та впровадженням нових технічних заходів.

Здатність системи електропостачання та її елементів виконувати покладені на них завдання електропостачання підприємств, побутових та сільських споживачів характеризує надійність електропостачання [1].

Розвиток сільського господарства тісно пов'язаний із підвищенням ефективності галузей, які його обслуговують та представляють інфраструктуру агропромислового комплексу. Сільськогосподарські електричні мережі відносять до ліній електропередач та підстанцій, у яких більше половини сумарного навантаження є сільські споживачі. Через значну протяжність та радіальну побудову сільських мереж, невеликі навантаження сільських споживачів, виникають певні проблеми із забезпеченням їх якісною електричною енергією. Відомо, що в агропромисловому комплексі зазвичай гірші показники надійності електропостачання та якості електричної енергії, ніж у міських мережах, оскільки присутня значна технологічна витрата енергії на її розподіл та передачу [2].

Згадані електричні мережі потрібно розглядати як складну систему та задіювати теорію надійності для обґрунтування технічних заходів під час проектування та експлуатації об'єктів [3]. Оскільки відмови це випадкові події, то головними робочими інструментами при цьому будуть математична статистика та теорія імовірності. Основні положення теорії надійності ґрунтуються на статистичній обробці результатів спостереження та експериментів. Вони набувають практичного змісту під час оцінки надійності структур та детермінуванні алгоритмів обчислення показників надійності складних структур. Досвід експлуатації електричних мереж показує, що технічні заходи із покращання надійності електричних мереж мають значну

вартість. Це першочергово стосується резервування, оскільки потрібно будувати додаткові лінії електропередач або встановлювати додаткові трансформатори. У таких випадках виникає питання детермінування співвідношення вартості еventуальних збитків та капіталовкладень необхідних для запобігання цих збитків.

Актуальність теми «Заходи покращання надійності розподільчих мереж 35/10 кВ ПАТ «Волиньобленерго»» полягає у тому, що нині є затребуваними обчислення показників надійності районних електричних мереж, які живлять сільських споживачів.

Об'єктом дослідження є районні розподільчі електричні мережі 35 кВ та 10 кВ.

Предметом дослідження є методи та засоби аналізу і детермінування показників надійності електричних мереж.

Метою роботи є оцінка надійності розподільчих мереж 35 кВ та 10 кВ 35/10 кВ ПрАТ «Волиньобленерго».

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі **завдання**:

1. Здійснити моніторинг працездатного стану елементів електричних мереж;
2. Виявити причини виникнення відмов елементів мережі;
3. Виділити найненадійніші елементи сільських електричних мереж;
4. Детермінувати параметри показників надійності мережі;
5. Розробити рекомендації щодо покращання надійності у розподільчих мережах 10 та 35 кВ.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ, ЕЛЕКТРОТЕХНІЦІ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЦІ

1.1 Основні поняття надійності

Ключовою метою функціонування електроенергетики як галузі є надійне та економічне постачання споживачів електроенергією необхідної якості. Надійність електропостачання споживачів є однією із показників ефективності електроенергетичних систем (ЕЕС) [4]. Під надійністю розуміють властивість виробу виконувати задані йому функції, зберігаючи при цьому свої експлуатаційні характеристики у відповідних заданих межах на протязі потрібного терміну часу або потрібного напрацювання за дотримання відповідних режимів експлуатації, правил технічного обслуговування, зберігання та транспортування [5].

Надійність це складна властивість, яка залежно від функцій об'єкта та умов його застосування, тісно пов'язана із такими термінами як працездатність, безвідмовність, відмова, довговічність, ремонтпридатність, живучість, керованість, відновлюваність [6].

Працездатність – це стан пристрою, у якому він здатний виконувати задані йому функції із параметрами, які встановлені вимогами технічної документації.

Відмова – це подія, яка полягає у частковій або повній втраті працездатності системи. Оскільки не кожна несправність призводить до відмови, то розрізняють несправності основні та другорядні.

Безвідмовність – це властивість об'єкта зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого напрацювання.

Ремонтпридатність – властивість об'єкта, яка полягає у пристосованості до попередження та виявлення причин виникнення відмов (пошкоджень), до підтримки та відновлення працездатного стану шляхом проведення технічного обслуговування та ремонтів.

Довговічність – це здатність об’єкта зберігати працездатність до настання заданого граничного терміну за встановленої системи технічного обслуговування та ремонтів.

Живучість – це здатність об’єкта обмежувати глибину (тяжкість, наслідки), відмови функціонування та працездатності.

Стійкість – здатність об’єкта протистояти збуренням.

Відновлюваність – здатність об’єкта до відновлення після відмови.

Керованість – здатність об’єкта забезпечувати досягнення цілей управління (пов’язана із наявністю достатніх ресурсів керування та технічних засобів для його здійснення).

1.2 Поняття відмови

Порушення працездатності пристрою називається відмовою. У випадку відмови визначених елементів мережі може відбутися (у залежності від схеми з’єднань) відмова цілої ділянки мережі, що призводить до порушення електропостачання споживачів. Це зумовить повне припинення живлення або частково його обмежить навантаження чи спричинить відхилення напруги від допустимих норм [7].

Раптова відмова – це різка, стрибкоподібна зміна основних параметрів системи. Поступова відмова – це відмова, яка настає у результаті плавної зміни параметрів системи при її зносі чи старінні [8].

Стійка відмова – це відмова, за якої для її усунення потрібен ремонт елемента або його заміна, якщо елемент не підлягає відновленню. Нестійкі відмови можуть самоліквідуватися [9].

Причини виникнення відмов [10]:

- виробничі відмови;
- конструктивні відмови;
- деградаційні відмови;
- експлуатаційні відмови.

Виробнича відмова – це відмова, яка виникла, у зв'язку із порушенням установленого процесу виготовлення та ремонту.

Конструктивна відмова – відмова, яка виникла при недосконалої або порушенні установлених правил проєктування.

Деградаційна відмова – це відмова, за якої природний процес зношування, корозії, старіння дотримується всіх установлених правил проєктування, експлуатації та виготовлення.

Експлуатаційна відмова – це відмова, яка пов'язана із порушенням установлених правил та умов експлуатації.

Саме поняття відмови є важливим аспектом для вивчення теорії надійності електричних мереж [11]. В електричних мережах надійність детермінується відносним значенням недовідпуску електричної енергії споживачам [12]. Його причинами можуть бути:

- оперативні відмикання в електроустановках, персоналом для рятування від пошкодження обладнання та попередження порушення технологічного процесу в умовах різкого зниження якості електричної енергії;

- оперативні відмикання та обмеження споживачів диспетчером для ліквідації аварії або її попередження;

- автоматичне відмикання установок та електроприймачів від дії протиаварійної автоматики під час аварійних режимів електричних систем або зменшення частоти чи напруги.

- автоматичні аварійні відмикання елементів живлення або повне від'єднання підстанцій живлення через аварійне порушення схеми електричної мережі;

Усі технічні пошкодження, порушення та відмови підлягають обліку і розгляду, що дає змогу створити базу даних аварійних відмикань елементів розподільчих мереж.

Інтенсивність відмов може бути обчислена як відношення числа об'єктів (апаратури, виробів, пристроїв, вузлів тощо), що відмовили за одиницю часу до середнього числа об'єктів, що справно працювали у даному проміжку часу.

1.3 Коротка характеристика ПрАТ «Волиньобленерго»

ПрАТ «Волиньобленерго» – розподільча мережева компанія, яка є монополістом з розподілу електричної енергії до середнього класу напруг у Волинській області. Загальна протяжність ліній електропередач підприємства перевищує 10000 кілометрів. Площа обслуговування – 62976 тис.кв.км, обсяг електромережевого господарства – 69313 у.о., чисельність персоналу – 1134 особи, з кількістю юридичних та фізичних споживачів – 84 354 [13].

Основним обладнанням є лінії електропередач 0,4 – 110 кВ – 10129 км. На балансі ПрАТ «Волиньобленерго» знаходяться ТП 6 – 35/0,4 кВ у кількості 2710 шт., потужністю 810 МВА, у тому числі сільськогосподарського призначення 2124 шт. ., потужністю 515 МВА.

У філії діють 10 районів електричних мереж (РЕМ):

1. Луцький;
2. Ковельський;
3. Камінь-Каширський;
4. Володимир-Волинський;
5. Нововолинський;
6. Любомильський;
7. Любешівський;
8. Ратнівський;
9. Горохівський;
10. Рожищанський.

Районні електричні мережі є структурними підрозділами ПрАТ «Волиньобленерго» та підпорядковуються безпосередньо начальникам РЕМів.

Основними функціями РЕМів є проведення оперативного та технічного обслуговування повітряних (ПЛ) та кабельних ліній (КЛ) 0,4 – 110 кВ, ТП 6-110 кВ. Також, вони здійснюють оперативне обслуговування та виконання робіт у порядку поточної експлуатації електроустановок, здійснюють допуск та підготовку робочих місць для бригад централізованого ремонту електрообладнання на ПС 35 – 110 кВ та ЛЕП 35 – 110 кВ, здійснюють технологічні приєднання споживачів до мереж РЕМу, здійснюють капітальні будівництва розподільчих мереж 0,4 – 10 кВ. Також виконують функції утримання обладнання, будівель та споруд у стані експлуатаційної готовності відповідно до вимог нормативно-технічної документації. Забезпечують безперебійне електропостачання споживачів електричною енергією потрібної якості.

Одним із поточних завдань ПрАТ «Волиньобленерго» є вивчення та дослідження надійності елементів електричної мережі, які найбільше відмикаються [14]. Дослідження у цій галузі показують, що у розподільчих електричних мережах елементом, який найбільше відмикається є повітряна лінія.

Для виявлення елементів районних розподільчих мереж із найбільшим недовідпуском електроенергії, здійснимо його аналіз для десяти районних служб ПрАТ «Волиньобленерго».

Таблиця 1.1 – Аналіз недовідпуску електричної енергії ПрАТ «Волиньобленерго» з 2019-2022 роки [14]

РЕМ	Елемент	Недовідпуск, тис. кВт год			
		2019	2020	2021	2022
Луцький	Трансформатор	0,031	0,0016	0,004	0,0091
	ЛЕП	1,008	0,024	0,031	0,015
Ковельський	Трансформатор	0,11	0,091	1,013	1,003
	ЛЕП	2,046	1,008	3,781	3,003
Камінь-Каширський	Трансформатор	1,03	0,009	0,002	0,003
	ЛЕП	0,041	0,091	1,002	0,006
Володимир-Волинський	Трансформатор	0,131	0,010	0,161	0,0099
	ЛЕП	2,91	1,904	4,031	2,891
Нововолинський	Трансформатор	1,121	0,099	0,005	0,031
	ЛЕП	0,061	0,012	1,099	0,014

Любомильський	Трансформатор	0,010	0,003	0,002	0,013
	ЛЕП	0,044	0,079	1,022	0,016
Любешівський	Трансформатор	0,012	0,004	0,006	0,002
	ЛЕП	0,171	0,781	0,341	1,004
Ратнівський	Трансформатор	1,032	0,008	0,012	0,013
	ЛЕП	0,022	0,032	1,062	0,106
Горохівський	Трансформатор	0,022	0,088	0,063	0,057
	ЛЕП	0,121	0,232	1,981	1,81
Рожищанський	Трансформатор	1,021	0,0031	0,091	0,006
	ЛЕП	0,038	1,032	1,002	0,003

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 1.1 – Розподіл відмикань ПЛ у відсотковому співвідношенні

Проаналізувавши діаграму розподілу відмикань ЛЕП, бачимо що найбільше виділяються Володимир-Волинський та Ковельський РЕМ, оскільки на їх частину припадає найбільший відсоток відмикань, який становить – 23 %.

Оскільки режим роботи районних електричних мереж багато в чому залежить від діяльності підрозділів РЕМ, потрібно розглянути організаційну структуру одного із РЕМів.

Типова організаційна структура представлена з прикладу Ковельського РЕМ на рисунку 1.2.

Основні напрями діяльності підрозділів, які входять до складу районних електричних мереж:

1. Ділянка транспорту електроенергії здійснює функцію формування обсягів переданої електричної енергії, взаємодія з енергозбутовими

компаніями, які знаходяться в зоні обслуговування РЕМ, організують заходи щодо зниження рівня втрат електроенергії та організує роботу зі зняття показників із технічних та розрахункових приладів обліку.

2. Оперативно-виїзна бригада здійснює оперативне та технічне обслуговування обладнання, яке знаходиться в зоні обслуговування РЕМ, підтримує його у стані, що забезпечує його безпечне обслуговування. Здійснює перативні перемикання обладнання з метою зміни схеми та режиму роботи електромережі у зв'язку із необхідністю виконання ремонтних та експлуатаційних робіт обладнання підстанцій та ліній електропередач.

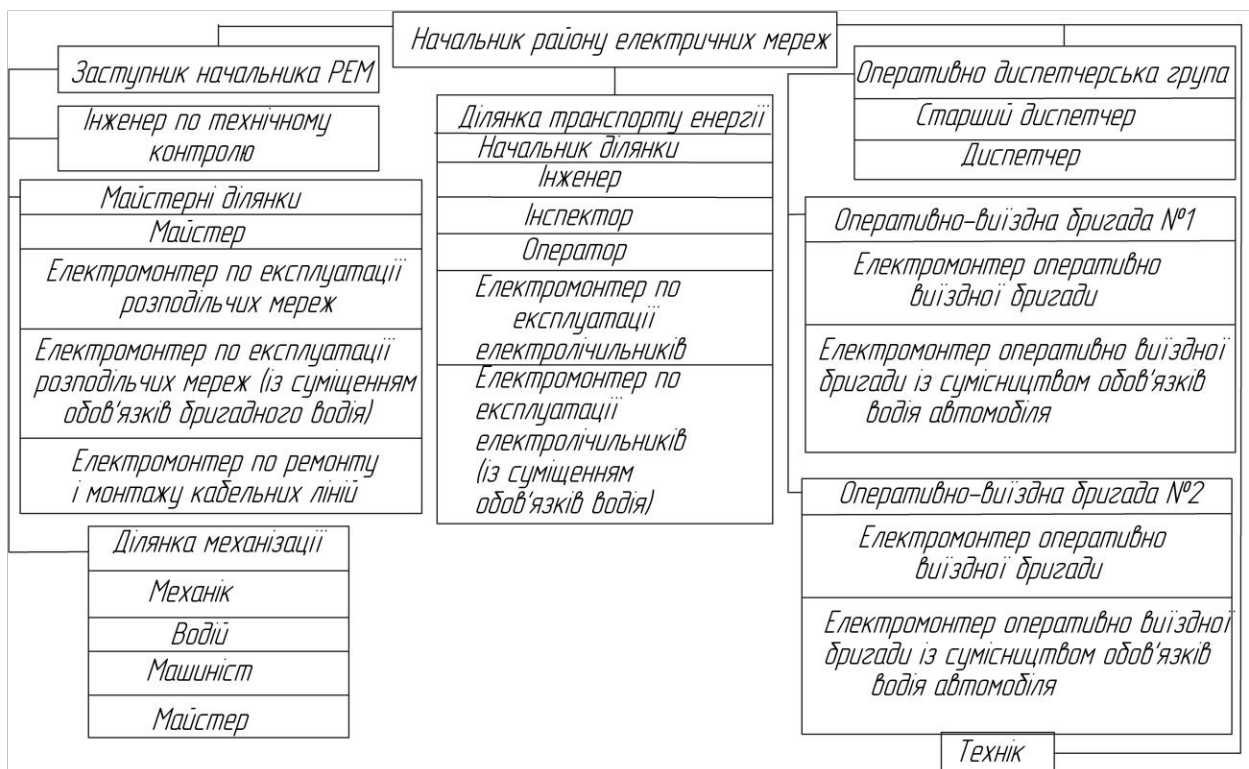


Рисунок 1.2 – Організаційна структура Ковельського РЕМ [15]

3. Ділянка механізації здійснює контроль технічного стану машин і механізмів, будівель та споруд, бере участь у визначенні потреби та організує постачання РЕМ матеріалами, інструментом та пристроями, паливо-мастильними матеріалами, бере участь у здійсненні технічного обслуговування та ремонту машин та механізмів, будівель та споруд відповідно до посадових інструкцій працівників групи.

4. Інженер з технічного контролю здійснює контроль проведення технічного та оперативного обслуговування ПЛ, ТП, ПС та їх ремонту з

метою утримання обладнання, будівель та споруд у стані експлуатаційної готовності у відповідність до вимог нормативно-технічної документації та посадових інструкцій працівника.

5. Технік здійснює ведення технічної документації РЕМ в обсязі, визначеному нормативно-технічною документацією та посадовими інструкціями працівника та своєчасне безперервне господарське забезпечення РЕМ.

1.4 Зниження показників надійності в електричних мережах

Безперебійна (надійна) робота електричних мереж є надзвичайно важливою складовою життєзабезпечення людей та ефективного функціонування виробництва. Різні відмикання електричної енергії (особливо великі перебої) призводять не лише до порушення роботи важливих для життя людей виробництв, а й спричинюють масштабні збитки та завдають удару по економіці держави та благополуччю населення. Тому, оцінка працездатного стану споживачів потребує особливої уваги та впровадження нових заходів щодо підвищення надійності електричних мереж.

Оскільки надійність детермінує сукупність багатьох властивостей, то для кількісної характеристики властивості вводиться один або кілька показників [16]. Надійність електричної мережі є комплексним показником, що визначає її властивості тривалий час зберігати в часі та стійко відтворювати у процесі експлуатації свої параметри та робочі характеристики [17].

У якості основних показники надійності прийнято [18]:

- параметр потоку відмов w , 1/рік;
- середній час відновлення T_B , год;

- тривалість ремонтів (поточного, капітального, планового) T_P , год.

У таблицях 1.2 та 1.3 представлено показники надійності для трансформаторів, повітряних ліній, відокремлювачів, вимикачів, роз'єднувачів та короткозамикачів, які працюють в електричних мережах ПАТ «Волиньобленерго».

Таблиця 1.2 – Параметри потоку відмов елементів електричних мереж ПАТ «Волиньобленерго»

Елемент мережі	w , від./рік при $U = 110$ кВ	w , від./рік при $U = 35$ кВ	w , від./рік при $U = 10$ кВ
Повітряні лінії (на 100 км):			
- одноконтурні;	–	–	2
- двоконтурні.	3,9	3,9	–
Вимикачі	0,01	0,01	0,01
Трансформатори	0,03	0,01	0,01
Роз'єднувачі	0,0075	0,008	0,009
Віддільники	0,03	–	–
Короткозамикачі	0,02	–	–

Таблиця 1.3 – Значення середнього часу відновлення елементів електричних мереж ПАТ «Волиньобленерго»

Елемент мережі	T_B , год при $U = 110$ кВ	T_B , год при $U = 35$ кВ	T_B , год при $U = 10$ кВ
Повітряні лінії (на 100 км):	7	7	–
Лінійні вимикачі	17,5	15,8	10,5
Секційні вимикачі	13,1	11,4	8,7
Трансформатори	70,1	61,3	–
Роз'єднувачі	4,15	3,6	4,15
Віддільники	3,5	–	–
Короткозамикачі	3,5	–	–
Лінійні роз'єднувачі	4,8	3,9	4,8
Секційні роз'єднувачі	3,5	3,3	3,5
Вимикачі	15,3	13,6	9,63

Причинами зниження показників надійності електричних мереж є такі фактори [19]:

- перекриття та забруднення ізоляції;
- старіння (зношування) обладнання;
- несвоєчасна перевірка елементів мережі;
- порушення цілісності електричної мережі;
- дефект деталей та монтажу;

- кліматичні умови (різкі зміни температури навколишнього середовища, грозові перенапруги, пориви вітру, ожеледі);

У таблиці 1.4 представлено кількість відмикань ПЛ 35 кВ та 10 кВ Ковельського РЕМ за 2019-2022 р.

Таблиця 1.4 – Розподіл кількості відмикань ПЛ 35 кВ та 10 кВ Ковельського РЕМ за 2019-2022 р

Причини відмикань	Назва ЛЕП	Період, рік			
		2019	2020	2021	2022
Перекриття ізоляції	ЛЕП 35 кВ	29	28	31	31
	ЛЕП 10 кВ	28	31	28	30
Грозові перенапруги	ЛЕП 35 кВ	22	21	20	22
	ЛЕП 10 кВ	23	22	24	24
Забруднення ізоляції	ЛЕП 35 кВ	17	15	16	16
	ЛЕП 10 кВ	21	20	20	20
Птахи	ЛЕП 35 кВ	23	24	23	24
	ЛЕП 10 кВ	14	16	14	13
Пошкодження в мережі	ЛЕП 35 кВ	4	7	9	10
	ЛЕП 10 кВ	9	7	8	10

Для прикладу, на рисунку 1.3 представлено графік розподілу відмов повітряних ліній 35 кВ та 10 кВ Ковельського РЕМ за 2019-2022 р.

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 1.3 – Розподіл загальної кількості відмикань ПЛ 35 кВ та 10 кВ Ковельського РЕМ за період 2019-2022 р

З гістограми (рис 1.3) бачимо, що основними причинами відмикань ПЛ мережі є фізичне зношування за надто тривалий термін експлуатації електричних мереж, наявність застарілих пристроїв захисту від перенапруг та несприятливі погодні умови, а також вплив птахів [20].

Від оцінки надійності елементів мережі залежать умови функціонування розподільчих електричних мереж. Аналіз літератури показав, що за останні десятиліття в Україні відбувається зниження темпів технічної реконструкції та нового будівництва мереж, що чергово, призводить до підвищення темпів відмикань у розподільчих мережах напругою 10 кВ [21]. Це призводить до неякісного електропостачання електричною енергією споживачів промислових та побутових об'єктів.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ

2.1 Аналіз недовідпуску електроенергії розподільчими мережами 35/10 кВ

У Ковельському РЕМ обслуговуються такі підстанції 35/10 кВ: ПС № 1 «Сільмаш машзавод 35/10 кВ», ПС № 2 «Воля-Ковельська 35/10 кВ», ПС № 3 «Люблінець 35/10 кВ», ПС № 4 «Колодяжне 35/10 кВ», ПС № 5 «Скулин 35/10 кВ», ПС № 6 «Рокитниця 35/10 кВ».

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки Українги

Рисунок 2.1 – Недовідпуск електричної енергії за деякими підстанціями Ковельського РЕМу

Для прикладу розглянемо ПС № 2 «Воля-Ковельська 35/10 кВ». На підстанції присутні два класи напруг: 35 та 10 кВ. Секційний вимикач СВ – 35 слугує для поділу повітряних ліній (ПЛ – 35 кВ) № Л15 та № Л8. По лінії Л8 приходять живлення на 1 секцію шин 35 кВ ПС №2 «Воля-Ковельська 35/10 кВ» з Турійського району електричних мереж з ПС «Турійськ 110/35/10 кВ», по лінії 35 кВ Л15 приходять живлення на 2 секцію шин 35 кВ з ПС №1 «Сільмаш машзавод 35 /10 кВ» цим утворюючи зв'язок між двома районами електричних мереж Турійським РЕМ та Ковельським РЕМ.

На ПС «Воля-Ковельська 35/10 кВ», встановлено два силові трансформатори типу ТМ-4000/35/10 кВ так як є споживачі 2 категорії надійності, основна принципова схема електричних з'єднань виконана за схемою з двома блоками вимикачів та автоматичною ремонтною перемичкою зі сторони ліній 35 кВ. Зі сторони шин 10 кВ є секційний вимикач СВ-10, що розділяє систему

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

шин 10 кВ на 2 секції шин 10 кВ, СШ1 та СШ2, у випадку зникнення напруги зі сторони одного із 2 трансформаторів ТМ-4000/35/10 кВ споживачі будуть заживлені через СВ-10 від сусідньої секції шин 10 кВ, яка залишилася під напругою, чим забезпечується надійне безперебійне живлення споживачів.

Від секцій шин 10 кВ, СШ1 та СШ2, відходять фідери 10 кВ якими здійснюється живлення трансформаторних підстанцій (ТП 10/0,4 кВ) сільських споживачів Ковельського РЕМ.

Трансформатори напруги 10 кВ (ТН1 – 10 кВ та ТН2 – 10 кВ) заживлені від різних секцій шин 10 кВ, призначені для живлення вторинних контурів напруги захистів, автоматики, засобів обліку та вимірювань. Також, на підстанції встановлено 2 трансформатори власних потреб (1ТСН та 2ТСН). Ці трансформатори заживлені від різних секцій шин 10 кВ та призначених для живлення власних потреб ПС «Воля-Ковельська 35/10 кВ». Обслуговуванням електрообладнання підстанції займаються електрики оперативно-виїзних бригад Ковельського РЕМ, а капітальними ремонтами підстанції займаються електрики централізованого ремонту «ПрАТ «Волиньобленерго».

У Володимир-Волинському РЕМі обслуговуються такі підстанції: 35/10 кВ: ПС № 7 «Верба 35/10 кВ», ПС № 8 «Крсностав 35/10 кВ», ПС № 9 «Устилуг 35/10 кВ», ПС № 10 «Блаженик 35/10 кВ», ПС № 11 «Грубешів 35/10 кВ».

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.3 – Недовідпуск електричної енергії за деякими підстанціями Володимир-Волинського РЕМу

На рисунку 2.3 представлено результати аналізу недовідпуску електричної енергії підстанціями 35 кВ Володимир-Волинського РЕМу.

2.2 Детермінування показників надійності електропостачання споживачів

Вихідними для обчислення показників надійності наступна інформація.

1. Відомості про підстанції (ПС) 35/10 кВ:

- вища напруга ПС, кВ;
- кількість трансформаторів на ПС 35 /10 кВ, шт;
- кількість ліній електропередач (ЛЕП) 35/10 кВ, приєднаних до шин ПС 10 кВ;
- наявність секційного вимикача на стороні 35/10 кВ;
- кількість вимикачів 10 кВ на ПС 35/10 кВ, шт;
- наявність оперативно-виїзної бригади (ОВБ) чергового на ПС, відстані між підстанціями, відстань від бази оперативно-виїзної бригади до підстанцій;
- наявність автоматичного ввімкнення резерву (АВР) на стороні 10 кВ.

2. Відомості про повітряні лінії електропередачі 10 кВ:

- схеми мереж ПЛ 10 кВ із зазначенням довжин ділянок, марок та перерізів проводів, трансформатори, з диспетчерськими номерами та встановленою потужністю, комутаційні апарати (роз'єднувачі, вимикачі);
- відомості про кількість елементів різних видів на лінії.

3. Відомості про споживачів РЕМ:

- схеми електричних з'єднань Ковельської районної мережі: ПС № 2 «Воля-Ковельська 35/10 кВ», ПС № 1 «Сільмаш машзавод 35/10 кВ», ПС № 3 «Люблінєць 35/10 кВ», ПС № 4 «Колодяжне 35/10 кВ», ПС № 5 «Скулин 35/10 кВ», ПС № 6 «Рокитниця 35/10 кВ».

- схеми електричних з'єднань Володимир-Волинських мереж: ПС № 9 «Устилуг 35/10», ПС № 8 «Красностав 35/10», ПС № 10 «Блаженик 35/10», ПС № 11 «Грубешів 35/10».

Обчислення кількості раптових відмикань споживачів детермінується розрахунком кількості відмикань контура «джерело – споживач».

Кількість пошкоджень, які виникли у цьому контурі за рік, обчислюються за формулою [22]:

$$M = \sum \omega_i \cdot n_i, \quad (2.1)$$

де ω_i – параметр потоку відмов (ППВ) i -го елемента; n_i – кількість елементів i -го виду у контурі «джерело – споживач».

Ураховуючи елементи контура «джерело – споживач» кількість раптових відмикань споживача за рік можна представити у вигляді:

$$N = N_{ПЛ} + N_P + N_{ОД} + N_{КЗ} + N_T, \quad (2.2)$$

де $N_{ПЛ}, N_P, N_{ОД}, N_{КЗ}, N_T$ – кількість раптових відмикань споживачів через пошкодження відповідно на живильній споживача ПЛ 35 кВ; на вимикачі 35 кВ, роз'єднувачі 35 кВ, вимикачі 10 кВ, трансформаторі 35 кВ.

У таблиці 2.1 представлено результати обчислень відмов для ПС № 2 «Воля-Ковельська 35/10 кВ»

Таблиця 2.1 – Результати обчислень відмов для ПС № 2 «Воля-Ковельська 35/10 кВ»

Елемент мережі	Тип обладнання	Довжина, км; Кількість, шт	ω , відмов/рік	
			моніторинг	статистика
Секційний роз'єднувач	РЛДН1Б–35/600	1	0,021	0,012
Секційний роз'єднувач	РЛНД2–35/600	1	0,021	0,012
Лінійний роз'єднувач	РЛНД1–35/600	1	0,021	0,012
Лінійний роз'єднувач	РЛНД2–35/600	1	0,016	0,012
Секційний вимикач	ВТД35/630	1	0,016	0,012
Роз'єднувач	РЛНД2–35/600	3	0,021	0,009
Роз'єднувач	РЛНД1–35/600	1	0,016	0,012
Вимикач	С35–М630	1	0,016	0,012
Вимикач	ВТ35–630	1	0,015	0,008
Трансформатор	ТМ–4000/35/10	2	0,015	0,008
Лінійний роз'єднувач №15	РВ–10/400	2	0,013	0,011
Лінійний роз'єднувач №13	РВ–10/400	2	0,013	0,011
Лінійний роз'єднувач №7	РВ–10/400	2	0,013	0,011
Лінійний роз'єднувач №3	РВ–10/400	2	0,013	0,011
Роз'єднувач ввід 1Т-10	РВ–10/400	2	0,021	0,011
Роз'єднувач ввід 2Т-10	РВ3–10/400	2	0,021	0,011
Лінійний роз'єднувач №4	РВ3–10/400	2	0,013	0,011
Секційний роз'єднувач ком. №1, №2	РВ3–10/400	2	0,022	0,011
Лінійний роз'єднувач №6	РВ3–10/400	2	0,013	0,011
Лінійний роз'єднувач ком №12	РВ3–10/400	2	0,013	0,011
Лінійний роз'єднувач №16	РВ3–10/400	2	0,013	0,011
Лінійний роз'єднувач ком №15	ВМГ–133	1	0,019	0,008
Лінійний роз'єднувач ком №7	ВМГ–133	1	0,019	0,008
Лінійний роз'єднувач ком №3	ВМГ–133	1	0,019	0,008
Секційний вимикач ком №1	ВМП10–630	1	0,022	0,008
Ввід 1Т-10 ком №9	ВМГ133	1	0,022	0,008
Ввід 2Т-10 ком №10	ВМП10–630	1	0,022	0,008
Лінійний вимикач ком №4	ВМП10–630	1	0,019	0,008

Лінійний вимикач ком №6	ВМП10–630	1	0,019	0,008
Лінійний вимикач ком №12	ВМП10–630	1	0,019	0,008
Лінійний вимикач ком №16	ВМП10–630	1	0,019	0,008
ПЛ Ф№67-15	АС–35	15,4	3,63	1,18
ПЛ Ф№67-13	АС–50	15,2	2,63	1,16
ПЛ Ф№67-07	А–35	23,8	5,88	1,82
ПЛ Ф№67-03	АС–95	14,8	3,76	1,13
ПЛ Ф№67-04	АС–50	1,7	1,126	1,13
ПЛ Ф№67-06	А–70	21,4	6,38	1,63
ПЛ Ф№67-12	АС–50	2,7	0,88	0,21
ПЛ Ф№67-16	А–50	22,3	5,26	1,7
Роз'єднувач Ф№67-15	РЛНД10/400	1	0,022	0,02
Роз'єднувач Ф№67-13	РЛНД10/400	1	0,022	0,02
Роз'єднувач Ф№67-07	РЛНД10/400	1	0,022	0,02
Роз'єднувач Ф№67-03	РЛНД10/400	1	0,022	0,02
Роз'єднувач Ф№67-04	РЛНД10/400	1	0,022	0,02
Роз'єднувач Ф№67-06	РЛНД10/400	1	0,022	0,02
Роз'єднувач Ф№67-12	РЛНД10/400	1	0,022	0,02
Роз'єднувач Ф№67-16	РЛНД10/400	1	0,022	0,02
ТП 10/0,4кВ №67-15-02	ТМ63/10	1	0,022	0,02
ТП 10/0,4кВ №67-13-12	ТМ250/10	1	0,02	0,02
ТП 10/0,4кВ №67-07-02	ТМ63/10	1	0,02	0,02
ТП 10/0,4кВ №67-03-03	ТМ100/10	1	0,02	0,02
ТП 10/0,4кВ №67-04-03	ТМ400/10	1	0,02	0,017
ТП 10/0,4кВ №67-06-08	ТМ63/10	1	0,02	0,017
ТП 10/0,4кВ №67-12-01	ТМ400/10	1	0,02	0,017
ТП 10/0,4кВ №67-16-04	ТМ40/10	1	0,02	0,017

Для уникнення перевантаження записки кваліфікаційної роботи статистичними даними, ми не будемо наводити результати обчислень відмов для решти підстанцій, а лише представимо кінцеві результати розрахунків.

Таблиця 2.2 – Результати обчислень показників надійності системи електропостачання Ковельського РЕМ

Параметр	Вибіркове середнє М		Серд. квадр. відхил, S	Довірчий інтервал $M \pm \beta = 0,95$	
	моніторинг	статистика			
ПС № 2 «Воля-Ковельська»					
Кількість раптових відмикань, відм. /рік, у тому числі, через відмови:	3,9	1,36	2,54	2,14	5,67
Лінійний роз'єднувач 35 кВ	0,01	0,011	0,006	0,008	0,0218
Роз'єднувач 35 кВ	0,0151	0,012	0,006	0,0102	0,0198
Вимикач 35 кВ	0,0141	0,008	0,008	0,004	0,023
Трансформатор ГПП 35/10 кВ	0,0092	0,008	0,003	0,006	0,011
ЛЕП 10 кВ	3,685	1,235	2,449	1,989	5,382
Роз'єднувач 10 кВ	0,022	0,013	0,011	0,014	0,025
Лінійний роз'єднувач 10 кВ	0,0121	0,012	0,003	0,011	0,0128
Роз'єднувачі вводу 10 кВ	0,021	0,012	0,011	0,0102	0,029
Вимикачі вводу 10 кВ	0,028	0,006	0,014	0,003	0,039
Лінійні вимикачі 10 кВ	0,017	0,008	0,012	0,01	0,0258

ТП 10/0,4 кВ	0,01	0,017	0,004	0,018	0,022
ПС №1 «Сільмаш машзавод»					
Кількість раптових відмикань, відм. /рік, у тому числі, через відмови:	0,682	0,324	0,3821	0,47	0,882
Лінійний роз'єднувач 35 кВ	0,0151	0,015	0,0054	0,008	0,021
Роз'єднувач 35 кВ	0,0151	0,016	0,0052	0,008	0,021
Вимикач 35 кВ	0,0142	0,0074	0,0072	0,004	0,023
Трансформатор ГПП 35/10 кВ	0,0093	0,0078	0,0022	0,006	0,011
КЛ 10 кВ	0,0055	0,00427	0,00085	0,004	0,005
ЛЕП 10 кВ	0,4878	0,1778	0,314	0,319	0,655
Роз'єднувач 10 кВ	0,029	0,014	0,015	0,015	0,025
Лінійний роз'єднувач 10 кВ	0,0124	0,012	0,0025	0,011	0,012
Роз'єднувачі вводу 10 кВ	0,028	0,0158	0,012	0,010	0,029
Вимикачі вводу 10 кВ	0,026	0,0078	0,0132	0,002	0,038
Лінійні вимикачі 10 кВ	0,01543	0,0087	0,00734	0,011	0,019
ТП 10/0,4 кВ	0,0195	0,0164	0,0031	0,017	0,025
ПС №3 «Люблінєць»					
Кількість раптових відмикань, відм. /рік, у тому числі, через відмови:	4,575	0,7	3,875	1,474	7,676
Лінійний роз'єднувач 35 кВ	0,015	0,01	0,005	0,0081	0,0219
Роз'єднувач 35 кВ	0,015	0,01	0,005	0,0081	0,0219
Вимикач 35 кВ	0,014	0,007	0,007	0,0043	0,0237
Трансформатор ГПП 35/10 кВ	0,014	0,01	0,004	0,0085	0,02
ЛЕП 10 кВ	4,372	0,553	3,819	1,316	7,428
Роз'єднувач 10 кВ	0,02	0,01	0,01	0,0131	0,027
Лінійний роз'єднувач 10 кВ	0,012	0,01	0,002	0,0108	0,0131
Роз'єднувачі вводу 10 кВ	0,02	0,01	0,01	0,0102	0,0298
Вимикачі вводу 10 кВ	0,02	0,007	0,013	0,002	0,038
Лінійні вимикачі 10 кВ	0,018	0,007	0,011	0,0092	0,027
ТП 10/0,4 кВ	0,019	0,016	0,003	0,0166	0,0214
ПС №4 «Колодяжне»					
Кількість раптових відмикань, відм. /рік, у тому числі, через відмови:	3,502	0,868	2,638	1,194	5,815
Лінійний роз'єднувач 35 кВ	0,0152	0,012	0,004	0,008	0,021
Роз'єднувач 35 кВ	0,0152	0,012	0,006	0,008	0,021
Вимикач 35 кВ	0,0144	0,0076	0,008	0,004	0,023
Трансформатор ГПП 35/10 кВ	0,008	0,0074	0,003	0,006	0,011
ЛЕП 10 кВ	3,31	0,748	2,57	1,058	5,544
Роз'єднувач 10 кВ	0,025	0,014	0,02	0,0131	0,027
Лінійний роз'єднувач 10 кВ	0,0126	0,018	0,003	0,01	0,013
Роз'єднувачі вводу 10 кВ	0,024	0,019	0,015	0,01	0,029
Вимикачі вводу 10 кВ	0,025	0,0074	0,016	0,003	0,038
Лінійні вимикачі 10 кВ	0,019	0,008	0,012	0,009	0,028
ТП 10/0,4 кВ	0,01	0,017	0,004	0,016	0,021
ПС №5 «Скулин»					
Кількість раптових відмикань, відм. /рік, у тому числі, через відмови:	2,792	1,541	1,251	1,565	4,015

Лінійний роз'єднувач 35 кВ	0,016	0,012	0,0054	0,008	0,021
Роз'єднувач 35 кВ	0,018	0,015	0,0055	0,008	0,021
Трансформатор ГПП 35/10 кВ	0,015	0,0108	0,0046	0,008	0,02
ЛЕП 10 кВ	2,624	1,427	1,245	1,444	3,8
Роз'єднувач 10 кВ	0,022	0,015	0,015	0,013	0,026
Лінійний роз'єднувач 10 кВ	0,0123	0,015	0,0021	0,010	0,013
Роз'єднувачі вводу 10 кВ	0,024	0,019	0,014	0,010	0,029
Вимикачі вводу 10 кВ	0,025	0,0074	0,01314	0,002	0,038
Лінійні вимикачі 10 кВ	0,018	0,0074	0,01125	0,007	0,028
ТП 10/0,4 кВ	0,016	0,0168	0,0035	0,016	0,022

На рисунках 2.3 – 2.7 представлено діаграми розподілу кількості раптових відмикань по контуру «джерело – споживач» Ковельського РЕМу.

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.3 – Діаграма розподілу кількості раптових відмикань по контуру «джерело – споживач» ПС № 2 «Воля-Ковельська»

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.4 – Діаграма розподілу кількості раптових відмикань по контуру «джерело – споживач» ПС № 2 «Сільмаш машзавод»

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.5 – Діаграма розподілу кількості раптових відмикань по контуру «джерело – споживач» ПС № 3 «Люблінець»

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.6 – Діаграма розподілу кількості раптових відмикань по контуру «джерело – споживач» ПС № 4 «Колодяжне»

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.7 – Діаграма розподілу кількості раптових відмикань по контуру «джерело – споживач» ПС № 5 «Скулин»

Таблиця 2.3 – Результати обчислень показників надійності системи електропостачання Володимир-Волинського РЕМу

Параметр	Вибіркове середнє M		Серд. квадр. відхил, S	Довірчий інтервал $M \pm \beta = 0,95$	
	моніторинг	статистика			
ПС № 8 «Красностав»					
Кількість раптових відмикань, відм. /рік, у тому числі, через відмови:	0,453	0,343	0,108	0,401	0,782
ЛЕП 35 кВ	0,398	0,299	0,098	0,261	0,535
Роз'єднувач 35 кВ	0,008	0,008	0,0004	0,008	0,008
Вимикач 35 кВ	0,01	0,018	0,0004	0,102	0,103
Трансформатор ГПП 35/10 кВ	0,008	0,0078	0,0025	0,006	0,011
Роз'єднувач 10 кВ	0,015	0,018	0,0058	0,012	0,019
Вимикач 10 кВ	0,012	0,0098	0,0018	0,009	0,104
ПС №9 «Устилуг»					
Кількість раптових відмикань, відм. /рік, у тому числі, через відмови:	0,682	0,324	0,3821	0,47	0,882
ЛЕП 35 кВ	0,0151	0,015	0,0054	0,008	0,021
Роз'єднувач 35 кВ	0,0151	0,016	0,0052	0,008	0,021
Вимикач 35 кВ	0,0142	0,0074	0,0072	0,004	0,023
Трансформатор ГПП 35/10 кВ	0,0093	0,0078	0,0022	0,006	0,011
Роз'єднувач 10 кВ	0,0055	0,004	0,001	0,004	0,005
Вимикач 10 кВ	0,4878	0,17	0,314	0,319	0,655
ПС №10 «Блаженик»					
Кількість раптових відмикань, відм. /рік, у тому числі, через відмови:	0,5263	0,3616	0,1647	0,2767	0,79
ЛЕП 35 кВ	0,4595	0,3276	0,1319	0,2767	0,6423
Роз'єднувач 35 кВ	0,0093	0,008	0,0013	0,0078	0,0108
Трансформатор ГПП 35/10 кВ	0,0075	0,007	0,0005	0,0065	0,0085
Роз'єднувач 10 кВ	0,04	0,01	0,03	0,0188	0,0988
Вимикач 10 кВ	0,01	0,009	0,001	0,0096	0,0296
ПС № 11 «Грубешів»					
Кількість раптових відмикань, відм. /рік, у тому числі, через відмови:	0,669	0,481	0,188	0,409	0,903
ЛЕП 35 кВ	0,598	0,444	0,153	0,358	0,811
Роз'єднувач 35 кВ	0,009	0,008	0,001	0,008	0,009
Трансформатор ГПП 35/10 кВ	0,011	0,012	0,001	0,009	0,012
Вимикач 10 кВ	0,029	0,012	0,019	0,016	0,041
Роз'єднувач 10 кВ	0,022	0,0091	0,013	0,016	0,028

На рисунках 2.8 – 2.11 представлено діаграми розподілу кількості раптових відмикань по контуру «джерело – споживач» Володимир-Волинського району електричних мереж ПрАТ «Волиньобленерго»

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.8 – Діаграма розподілу кількості раптових відмикань по контуру
«джерело – споживач» ПС № 8 «Красностав»

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.9 – Діаграма розподілу кількості раптових відмикань по контуру
«джерело – споживач» ПС № 9 «Устилуг»

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.10 – Діаграма розподілу кількості раптових відмикань по контуру
«джерело – споживач» ПС № 10 «Блаженик»

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 2.11 – Діаграма розподілу кількості раптових відмикань по контуру «джерело – споживач» ПС № 11 «Грубешів»

Проаналізувавши розподіл кількості раптових відмикань по контуру «джерело – споживач» бачимо, що найбільш відмикальним, а значить і ненадійним елементом є повітряні лінії електропередачі 35 та 10 кВ, (як це видно з діаграм на рисунках 2.3 – 2.11) по всіх підстанціях Ковельського та Володимир-Волинського РЕМів.

Зазначимо, що по кожній підстанції найненадійнішими контурами «джерело живлення – споживач» є лінії електропередач 35/10 кВ, а їх кількість раптових відмикань у % становить:

- для Ковельського РУМу:

1. ПС № 2 «Воля-Ковельська 35/10 кВ»: ЛЕП 10 кВ – 83 %;
2. ПС № 1 «Сільмаш машзавод 35/10 кВ»: ЛЕП 10 кВ – 79 %;
3. ПС № 3 «Люблінець 35/10 кВ»: ЛЕП 10 кВ – 87 %;
4. ПС № 4 «Колодяжне 35/10 кВ»: ЛЕП 10 кВ – 83 %;
5. ПС № 5 «Скулин 35/10 кВ»: ЛЕП 10 кВ – 80 %;

- для Володимир-Волинського РЕМу:

1. ПС №8 «Красностав – 35/10»: ЛЕП 35 кВ – 94%;
2. ПС №9 «Устилуг – 35/10»: ЛЕП 35 кВ – 88%;
3. ПС № 10 «Блаженик – 35/10»: ЛЕП 35 кВ – 87%;
4. ПС № 7 «Грубешів – 35/10»: ЛЕП 35 кВ – 89%.

3 ПОКРАЩАННЯ НАДІЙНОСТІ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖ 35/10 КВ

3.1 Обчислення середнього часу відновлення елементів мережі

Значення тривалості одного раптового відмикання споживача детермінується як середнє, виходячи із пошкоджень основних елементів контура «джерело – споживач» [23], то обчислюємо за формулою:

$$\tau = \frac{N_{ПЛ} \cdot \tau_{ПЛ} + N_P \cdot \tau_P + N_{ОД} \cdot \tau_{ОД} + N_{КЗ} \cdot \tau_{КЗ} + N_T \cdot \tau_T}{N_{\Sigma}}, \quad (3.1)$$

де τ – середні тривалості раптових відмикань споживача при пошкодженні відповідно на ЛЕП 10 кВ, вимикачі 35 кВ, роз'єднувачі 35 кВ, трансформатор ПС 35/10 кВ, що живить споживача ПЛ 35 кВ.

Елементи мережі 35 кВ, ПС №67 «Борець – 35/10 кВ» представлені в таблицях 10,11.

У таблиці 3.1 представлено результати обчислень тривалості відновлення для ПС № 2 «Воля-Ковельська 35/10 кВ»

Таблиця 3.1 – Результати обчислень тривалості відновлення для ПС № 2 «Воля-Ковельська 35/10 кВ»

Елемент мережі	Тип обладнання	Довжина, км; Кількість, шт	Середня тривалість відновлення при U кВ, T_B , год	
			моніторинг	статистика
Секційний роз'єднувач	РЛДН1Б–35/600	1	7	5
Секційний роз'єднувач	РЛНД2–35/600	1	7,5	6
Лінійний роз'єднувач	РЛНД1–35/600	1	6	7
Лінійний роз'єднувач	РЛНД2–35/600	1	7	6
Секційний вимикач	ВТД35/630	1	32	30
Роз'єднувач	РЛНД2–35/600	3	7	6
Роз'єднувач	РЛНД1–35/600	1	7	6
Вимикач	С35–М630	1	31	30
Вимикач	ВТ35–630	1	32	30
Трансформатор	ТМ–4000/35/10	2	67	64
Лінійний роз'єднувач №15	РВ–10/400	2	4	7
Лінійний роз'єднувач №13	РВ–10/400	2	4,5	6
Лінійний роз'єднувач №7	РВ–10/400	2	4	7
Лінійний роз'єднувач №3	РВ–10/400	2	2,5	6
Роз'єднувач ввід 1Т-10	РВ–10/400	2	5,5	7
Роз'єднувач ввід 2Т-10	РВ3–10/400	2	5	7
Лінійний роз'єднувач №4	РВ3–10/400	2	4,5	6

Секційний роз'єднувач ком. №1, №2	PB3-10/400	2	5	7
Лінійний роз'єднувач №6	PB3-10/400	2	4,5	6
Лінійний роз'єднувач ком №12	PB3-10/400	2	4	7
Лінійний роз'єднувач №16	PB3-10/400	2	2,5	6
Лінійний роз'єднувач ком №15	ВМГ-133	1	22	20
Лінійний роз'єднувач ком №7	ВМГ-133	1	22,5	21
Лінійний роз'єднувач ком №3	ВМГ-133	1	22	20
Секційний вимикач ком №1	ВМП10-630	1	2,5	21
Ввід 1Т-10 ком №9	ВМГ133	1	22	20
Лінійний вимикач ком №4	ВМП10-630	1	22,5	21
Лінійний вимикач ком №12	ВМП10-630	1	22	20
ПЛ Ф№67-15	АС-35	15,4	25	21
ПЛ Ф№67-07	А-35	23,8	6	5
ПЛ Ф№67-03	АС-95	14,8	6,5	6
ПЛ Ф№67-04	АС-50	1,7	7	5
ПЛ Ф№67-06	А-70	21,4	6	6
ПЛ Ф№67-12	АС-50	2,7	3	5
ПЛ Ф№67-16	А-50	22,3	6,5	6
Роз'єднувач Ф№67-15	РЛНД10/400	1	3	5
Роз'єднувач Ф№67-13	РЛНД10/400	1	6,5	6
Роз'єднувач Ф№67-07	РЛНД10/400	1	4	7
Роз'єднувач Ф№67-03	РЛНД10/400	1	4,5	6
Роз'єднувач Ф№67-04	РЛНД10/400	1	4	7
Роз'єднувач Ф№67-06	РЛНД10/400	1	2,5	6
Роз'єднувач Ф№67-12	РЛНД10/400	1	5	7
Роз'єднувач Ф№67-16	РЛНД10/400	1	5,5	6
ТП 10/0,4кВ №67-15-02	ТМ63/10	1	4	7
ТП 10/0,4кВ №67-13-12	ТМ250/10	1	5,5	6
ТП 10/0,4кВ №67-07-02	ТМ63/10	1	7	7
ТП 10/0,4кВ №67-04-03	ТМ400/10	1	6	6
ТП 10/0,4кВ №67-12-01	ТМ400/10	1	6	6

Для уникнення перевантаження записки кваліфікаційної роботи статистичними даними, ми не будемо наводити результати обчислень тривалості відновлення для решти підстанцій, а лише представимо узагальнені результати обчислень по Ковельському та Володимир-Волинському РЕМах. Результати обчислень представлено у таблицях 3.2 та 3.3.

Таблиця 3.2 – Обчислення середньої тривалості відновлення елементів мережі протягом року для Ковельського РЕМу

Параметр	Середня тривалість одного раптового відмикання споживача, год		Кількість раптових відмикань споживачів відм/рік		Середня тривалість відновлення елемента протягом року, год	
ПС № 2 «Воля-Ковельська»						
Всього, у тому числі через відмови:					23,26	7,25
ЛЕП 10 кВ	5,94	5	3,68	1,23	21,85	6,19
Роз'єднувач 10 кВ	6,63	7	0,021	0,012	0,133	0,08

Лінійний роз'єднувач 10 кВ	4,1	7	0,013	0,011	0,045	0,08
Лінійний вимикач 10 кВ	17,4	20	0,017	0,0078	0,316	0,08
ТП 10/0,4 кВ	49,2	50	0,018	0,015	0,936	0,9
ПС № 1 «Сільмаш машзавод»						
Всього, у тому числі через відмови:					2,56	2,05
КЛ 10 кВ	7	16	0,006	0,004	0,04	0,068
ЛЕП 10 кВ	2,9	6	0,488	0,178	1,364	0,886
Роз'єднувач 10 кВ	4	7	0,03	0,012	0,061	0,075
Лінійний роз'єднувач 10 кВ	2,6	6	0,013	0,012	0,032	0,078
Лінійний вимикач 10 кВ	22	20	0,0154	0,009	0,322	0,166
ТП 10/0,4 кВ	41	52	0,018	0,017	0,762	0,88
ПС № 3 Люблінець						
Всього, у тому числі через відмови:					24,34	4,061
ЛЕП 10 кВ	5,26	5	4,37	0,554	22	2,77
Роз'єднувач 10 кВ	5,67	7	0,022	0,012	0,114	0,071
Лінійний роз'єднувач 10 кВ	3,84	7	0,013	0,011	0,047	0,079
Лінійний вимикач 10 кВ	18,9	20	0,019	0,008	0,339	0,071
ТП 10/0,4 кВ	44,17	50	0,02	0,017	0,85	0,85
ПС № 4 «Колодяжне»						
Всього, у тому числі через відмови:					20,5	4,7
ЛЕП 10 кВ	5,9	5	3,34	0,745	19,15	3,8
Роз'єднувач 10 кВ	6	7	0,023	0,012	0,13	0,08
Лінійний роз'єднувач 10 кВ	3,8	8	0,011	0,012	0,045	0,08
Лінійний вимикач 10 кВ	10	20	0,017	0,008	0,199	0,14
ТП 10/0,4 кВ	46	50	0,018	0,015	0,91	0,81
ПС № 5 «Скулин»						
Всього, у тому числі через відмови:					20,42	4,79
ЛЕП 10 кВ	8,6	5	2,63	1,45	22,4	7,12
Роз'єднувач 10 кВ	8	7	0,03	0,012	0,17	0,071
Лінійний роз'єднувач 10 кВ	6	7	0,02	0,012	0,074	0,071
Лінійний вимикач 10 кВ	23,6	20	0,02	0,008	0,424	0,145
ТП 10/0,4 кВ	48,76	50	0,02	0,017	0,927	0,81

Проаналізувавши таблицю наведену вище та систематизувавши отримані результати з легкістю можемо побудувати діаграми розподілу середнього часу відновлення елементів Ковельського РЕМу протягом одного року. Ці діаграми представлено на рисунках 3.1 – 3.5.

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 3.1 – Діаграма розподілу середнього часу відновлення елементів протягом одного року на ПС № 2 «Воля-Ковельська»

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 3.2 – Діаграма розподілу середнього часу відновлення елементів протягом одного року на ПС № 1 «Сільмаш машзавод»

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 3.3 – Діаграма розподілу середнього часу відновлення елементів протягом одного року на ПС № 3 «Люблінєць»

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 3.4 – Діаграма розподілу середнього часу відновлення елементів протягом одного року на ПС № 3 «Колодяжне»

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 3.5 – Діаграма розподілу середнього часу відновлення елементів протягом одного року на ПС № 5 «Скулин»

Таблиця 3.3 – Обчислення середньої тривалості відновлення елементів мережі протягом року для Володимир-Волинського РЕМу

Параметр	Середня тривалість одного раптового відмикання споживача, год		Кількість раптових відмикань споживачів відм/рік		Середня тривалість відновлення елемента протягом року, год	
ПС № 8 «Красностав»						
Всього, у тому числі через відмови:					9,12	3,38
ЛЕП 35 кВ	8,41	7	0,94	0,33	7,81	2,337
Роз'єднувач 35 кВ	4,24	3,7	0,01	0,009	0,039	0,028
Вимикач 35 кВ	15,2	13,7	0,012	0,011	0,167	0,137
Трансформаторна ГПП 35/10 кВ	63,8	61,4	0,014	0,013	0,832	0,737

Роз'єднувач 10 кВ	4,94	4,16	0,0099	0,01	0,048	0,038
Вимикач 10 кВ	10,94	9,64	0,0188	0,011	0,205	0,097
ПС № 9 «Устилуг»						
Всього, у тому числі через відмови:					4,34	2,82
ЛЕП 35 кВ	8,5	7	0,398	0,299	3,34	2,098
Роз'єднувач 35 кВ	3,88	3,7	0,008	0,009	0,033	0,03
Вимикач 35 кВ	15,8	13,7	0,010	0,012	0,163	0,137
Трансформаторна ГПП 35/10 кВ	63,8	61,4	0,008	0,008	0,576	0,422
Роз'єднувач 10 кВ	11,07	9,65	0,015	0,012	0,177	0,097
Вимикач 10 кВ	4,88	4,16	0,012	0,008	0,045	0,038
ПС № 10 «Блаженик»						
Всього, у тому числі через відмови:					4,58	2,29
ЛЕП 35 кВ	7,76	7	0,459	0,327	3,56	2,29
Роз'єднувач 35 кВ	4,08	3,7	0,009	0,009	0,03	0,02
Вимикач 35 кВ	63,8	61,2	0,007	0,008	0,47	0,42
Трансформаторна ГПП 35/10 кВ	11,5	10,4	0,045	0,012	0,45	0,10
Роз'єднувач 10 кВ	5,26	4,9	0,012	0,008	0,05	0,43
Вимикач 10 кВ	7,76	7	0,459	0,327	3,56	2,29
ПС № 11 «Грубешів»						
Всього, у тому числі через відмови:					5,95	3,88
ЛЕП 35 кВ	8	7	0,598	0,444	4,78	3,11
Роз'єднувач 35 кВ	4,3	3,7	0,008	0,007	0,03	0,02
Трансформаторна ГПП 35/10 кВ	63,8	61,2	0,012	0,012	0,70	0,618
Роз'єднувач 10 кВ	10,8	9,631	0,0294	0,011	0,31	0,097
Вимикач 10 кВ	4,87	4,151	0,0222	0,0081	0,10	0,038

Проаналізувавши таблицю наведену вище та систематизувавши отримані результати з легкістю можемо побудувати діаграми розподілу середнього часу відновлення елементів Володимир-Волинського РЕМу протягом одного року. Ці діаграми представлено на рисунках 3.6 – 3.9.

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 3.6 – Діаграма розподілу середнього часу відновлення елементів протягом одного року на ПС № 8 «Красностав»

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 3.7 – Діаграма розподілу середнього часу відновлення елементів протягом одного року на ПС № 9 «Устилуг»

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 3.8 – Діаграма розподілу середнього часу відновлення елементів протягом одного року на ПС № 10 «Блаженик»

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 3.9 – Діаграма розподілу середнього часу відновлення елементів протягом одного року на ПС № 10 «Шрубешів»

Проаналізувавши рисунки 3.1 – 3.9 можемо зробити висновок, що в цілому, у процесі експлуатації розподільчих мереж найбільший час відновлення відноситься для ліній 35, 10 кВ та трансформаторів напругою 35/10 кВ, а також вимикачів 10 кВ.

Зазначимо по кожній підстанції елементи із найбільшим середнім часом відновлення протягом року у %:

- у Ковельському РЕМі:

1. ПС № 2 «Воля ковельська 35/10 кВ»: ЛЕП 10 кВ – 94 %, В – 4 %;
2. ПС № 1 «Сільмаш машзавод 35/10 кВ»: ЛЕП 10 кВ – 53%, КЛ – 30%, В – 13%;

3. ПС № 3 «люблінєць 35/10 кВ»: ЛЕП 10 кВ – 95 %, В – 3 %;

4. ПС № 4 «Колодяжне 35/10 кВ»: ЛЕП 10 кВ – 94 %, В – 4 %;

5. ПС № 5 «Скулин 35/10 кВ»: ЛЕП 10 кВ – 93 %, В – 4 %;

- у Володимир-Волинському РЕМі:

1. ПС № 8 «Красностав – 35/10»: ЛЕП 35 кВ – 85%, Т 35/10 – 9%;

2. ПС № 9 «Устилуг – 35/10»: ЛЕП 35 кВ – 77%, Т 35/10 – 13%;

3. ПС № 10 «Блаженик – 35/10»: ЛЕП 35 кВ – 78%, Т 35/10 – 8%;

4. ПС № 11 «Грубешів – 35/10»: ЛЕП 35 кВ – 80%, Т 35/10 – 12%.

Підсумовуючи отримані результати варто відзначити, що у цілому аналіз надійності експлуатованих підприємствами електричних мереж показав незадовільну оцінку надійності таких елементів як повітряні лінії 35, 10 кВ, трансформатори 35/10 кВ. Основною причиною є – морально та фізично застаріле електричне обладнання [24].

3.2 Заходи з покращання надійності електричних мереж 35 кВ та 10 кВ

Значна частина розподільчих електричних мереж потребують удосконалення та реконструкції у зв'язку із тим, що обладнання зношене та морально застаріло.

Зі здійсненого аналізу було встановлено, що одним із найненадійніших елементів мережі є повітряна лінія 10 кВ. На її припадає 85 – 90 % відмов у мережі [25].

Відтак, для зниження кількості та тривалості відключень споживачів пропонується реалізація наступних заходів:

- 1) застосування довго-іскрових розрядників (РДІ) петльового типу, призначених для захисту ліній 6 – 10 кВ від грозових перенапруг;
- 2) заміна дерев'яних опор на залізобетонні конструкції;
- 3) заміна голих проводів марки АС на самонесучі ізольовані дроти СП.

На прикладі ПС № 2 «Воля-Ковельська 35/10 кВ» ПЛ-10 кВ Ф.67-07 розглянемо застосування вище зазначених заходів. На рисунку 3.10 представлена попорна схема ПЛ – 10 кВ Ф.67-07 ПС № 67 «Воля-Ковельська 35/10 кВ» Ковельського РЕМ.

Таблиця 3.4 – Характеристика ПЛ 10 кВ ПС № «Воля-Ковельська»

Назва ПЛ	Марка проводу	Кількість опор, шт	Довжина, км
ПЛ № 67 – 07	АС-70	12	0,811
	АС-35	244	19,6

1) За грозовий сезон кожні 30 км лінії електропередачі приймають на себе одне влучання блискавки, що є важливим чинником під час планування їх захисту від грозових розрядів [26].

Розрядний елемент РДІ, вздовж якого розвивається ковзний розряд, має довжину, що у кілька разів перевищує довжину імпульсного перекриття ізолятора лінії, яка захищається. Конструктивні особливості розрядника забезпечують нижчу розрядну напругу при грозовому імпульсі у порівнянні із розрядною напругою ізоляції, яка захищається. Головною особливістю РДІ є те, що внаслідок великої довжини грозового перекриття можливість встановлення дуги короткого замикання практично зводиться до нуля [27].

Довго-іскровий розрядник усуває наслідки грозових перекриттів, не завдаючи шкоди устаткуванню ліній та підстанцій на відміну від дугозахисних роїв, які штучно переводять однофазне замикання у двофазне, створюючи тим самим потужний електродинамічний удар по обладнанню.

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 3.10 – Поопорна схема ПЛ 10 кВ ПС № 8 «Воля-Ковельська»

Переваги застосування петлевих розрядників:

- унеможливають перегорання проводів та запобігають відмиканню ПЛ внаслідок грозових індукованих перенапруг;
- зберігають ресурс спрацювання високовольтних вимикачів;
- захищають електричні мережі від дугових перенапруг, супутніх однофазних замикань на землю, які викликані грозовими перенапругами;
- не схильні до руйнівного впливу струмів блискавки та супроводжуваних струмів дугових замикань.

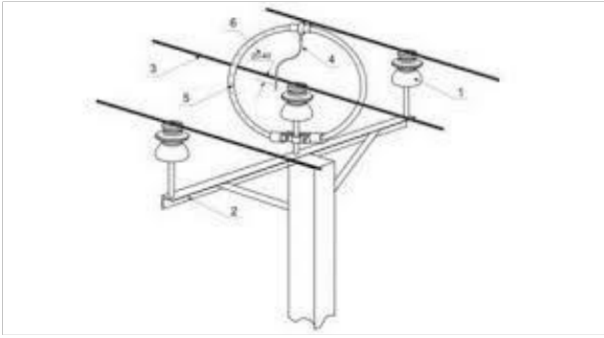


Рисунок 3.11 – Встановлення петлевого розрядника на опорі



Рисунок 3.12 – Кабель СІП-2

Встановлення петлевих розрядників по одному на кожному опорі із послідовним чергуванням фаз дає змогу запобігти не лише перегорянню проводів при індукованих грозових впливах, а й аварійним відмиканням ПЛ.

2) Заміна дерев'яних опор на залізобетонні конструкції

Залізобетонні опори є несучим елементом у конструкціях ліній електропередач. На них припадають великі навантаження переважно від впливів навколишнього середовища, тому використання комбінації бетону та металу цілком виправдане. Існують різні види таких опор, кожен із яких має своє призначення. Технологія монтажу ускладнюється тим, що навіть у найпростішому виконанні залізобетонна опора має велику масу і потребує для встановлення спеціальної техніки [28].

До переваг, якими володіє конструкція залізобетонної опори, відноситься стійкість до процесів корозії та до впливів хімічних речовин і елементів, що містяться у повітрі.

3) Заміна голих проводів марки АС на самонесучі ізолювані проводи СІП. Нині активно ведеться робота із заміни старих повітряних ліній (ПЛ) електропередач, виконаних з неізолюваних проводів (наприклад, марки АС), на самонесучі ізолювані проводи СІП.

Марка СІП-3 складається із однієї жили зі сталевим сердечником, обвитим дротом із алюмінієвого сплаву. Ізоляцією цього дроту є «зшитий поліетилен», який має гарну стійкість до впливу ультрафіолетових випромінювань [29].



4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Вимоги безпеки до повітряних ліній електропередач

Найбільш поширеним способом передачі електроенергії до споживача є повітряні лінії електропередачі. Ключовими для цього є електричні мережі напругою 110 кВ і вище та транзитні лінії 35 кВ. Ці лінії обслуговуються відповідно до «Правил техніки безпеки при експлуатації повітряних ліній електропередачі напругою 35 кВ та вище». Повітряні лінії електропередач, підстанції та повітряні перемикальні пункти напругою до 35 кВ включно, кабельні лінії напругою до 220 кВ включно, підстанції та розподільчі пункти напругою до 35 кВ та мережі вуличного освітлення, вводи в будівлі, щити та збірки напругою до 1000 В вважаються розподільчими мережами й обслуговуються відповідно до «Правил техніки безпеки при експлуатації розподільчих електромереж». Усі електричні мережі та електроустановки споживачів незалежно від їх підпорядкування обслуговуються відповідно до «Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів».

Дотримання згаданих правил гарантує безпеку не тільки працюючих у електроустановках, а й сторонніх осіб, які можуть опинитися поблизу ліній електропередач чи електроустановок [30].

4.2 Категорії робіт на повітряних лініях електропередач

Роботи, які виконуються на повітряних лініях електропередач поділяються на три категорії: на відключеній лінії далеко від інших діючих ліній; на відключеній лінії поблизу діючих ліній; на лінії, що знаходиться під напругою.

Крім того, розрізняють роботи:

- що вимагають підйому на висоту більше ніж на 3 м над рівнем землі та на висоту не менше 2 м від рівня нижнього проводу (рис. 4.1);

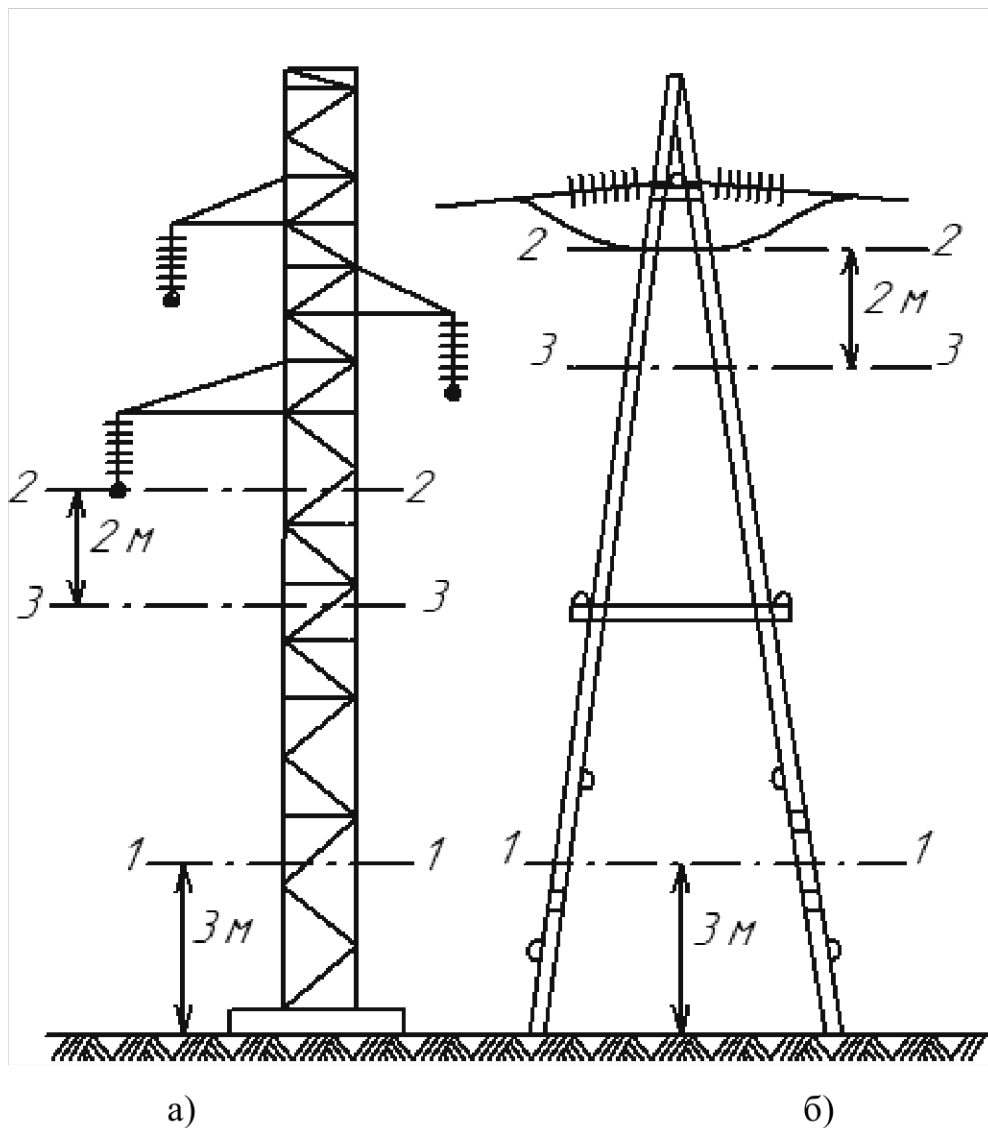


Рисунок 4.1 – Граничні рівні підйому на опори: а – проміжна опора, б – анкерна опора; 1 – 1 – допустимий рівень підйому на опорі на висоту не більше 3 м; 2 – 2 – рівень розташування нижнього проводу; 3 – 3 – допустимий рівень підйому на опорі на висоту не більше 2 м до рівня підвіски нижнього проводу.

- пов'язані з заміною чи реконструкцією елементів опори або відкопуванням стійки опори на глибину більше 0,5 м;
- пов'язані з дотиком до проводів, тросів чи ізоляторів рукою, штангою або будь-яким іншим пристроєм;
- що виконуються з допомогою машин, механізмів та підйомних пристроїв в охоронній зоні ліній (охоронною називається зона поблизу ліній

електропередач шириною 10 м у обидва боки від ліній напругою до 10 кВ включно; 15 м – 35 кВ; 20 м – 110 кВ; 25 м – 220 кВ; 30 м – 500 кВ);

- по вирубці дерев, що можуть впасти на дроти лінії.

Зазначені роботи виконують згідно нарядів. Заходи безпеки залежать від категорій відповідних робіт. При роботах на лініях, що знаходяться під напругою, на перетинах із іншими лініями та поблизу діючих ліній, відповідальний керівник та виконавець робіт призначаються із кількості осіб, стаж роботи яких на лініях 35 кВ та більше не менше трьох років. Якщо вони мають середню або вищу технічну освіту, стаж роботи повинен бути більше одного року.

4.3 Роботи на вимкненій лінії вдалі від інших діючих ліній

Для безпеки робіт лінію вимикають з усіх боків (звідки може бути подана напруга) вимикачами і лінійними роз'єднувачами або віддільниками, що не мають автоматичного приводу на ввімкнення. Приводи роз'єднувачів і відокремлювачів замикають, на них (і на ключах керування ними) вивішують плакат «Не вмикати – робота на лінії». Вимкнення створює оперативний персонал.

На місці роботи перевіряють відсутність напруги і лінію заземляють (тільки поблизу місця роботи). Для цього накладають переносне заземлення на проводи всіх фаз. В інших випадках переносні заземлення встановлюють по обидва боки від місця роботи з відстанню між ними не більше 2 км. Заземлення на місці робіт не вимагається, якщо виключено наближення на небезпечну відстань самого працюючого, пристосувань і інструменту. Небезпечною вважається відстань від проводів лінії менше 1 м при напрузі до 20 кВ, 2 м – 35 – 220 кВ, 2,5 м – 330 кВ і 3,5 м – 500 кВ [31].

4.4 Роботи на вимкненій лінії поблизу інших діючих ліній

Роботи, які здійснюються на перетинах із іншими повітряними лініями. Якщо робоче місце, тягові канати, інструменти, дроти, що ремонтуються виявляються чи можуть бути на небезпечній відстані від діючої лінії, яка знаходиться під напругою, цю лінію потрібно відключити та заземлити в одному місці поблизу проведення робіт. Небезпечними вважаються наступні відстані:

Таблиця 4.1 – Небезпечні відстані, які залежать від напруги лінії

Напруга лінії, кВ	Небезпечна відстань, м
1	До 1,5
1–20	>2,0
35–110	>4,0
150–220	>5,0
300	>6,0
500–800	>9,0

Щоб не відбувалося розгойдування проводів та підсікання діючої лінії, монтовані дроти закріплюють мотузками чи капроновими канатами.

Троси та проводи ремонтваної лінії можна опускати лише у випадку, якщо вони знаходяться нижче проводів лінії, які знаходяться під напругою. Монтовані дроти та троси заземляють по обидва боки від пересічної лінії.

При монтажі та ремонті повітряних ліній на перетинах із залізничними, шосейними та водними шляхами троси, проводи та опори можуть випадково виявитися на дорозі, що є небезпечно для транспорту, який рухається та перехожих. Рухомий поблизу місця роботи транспорт може зачепити провід, трос, відтягнути та підсікти чи викликати падіння опори разом із працюючим.

Проведення робіт на перетинах із залізничними і водними магістралями та у безпосередній близькості від них узгоджують із адміністрацією залізничного чи водного транспорту. Проводи та троси надійно закріплюють на відповідній відстані від транспорту, який проходить. При роботах на перетинах із шосейними та степовими дорогами для попередження про небезпеку ставлять спостерігачів із червоними прапорцями чи червоними ліхтарями.

Зоною впливу діючих повітряних ліній електропередач називається простір, у межах якого, з'являється небезпека ураження працівників електричним струмом як наслідок зближення на небезпечну відстань до струмів, які знаходяться під напругою, так й від значення наведеної напруги на проводах та тросах споруджуваних ліній. Така небезпека виникає, якщо ці лінії проходять у зоні впливу діючої лінії протягом 2 км.

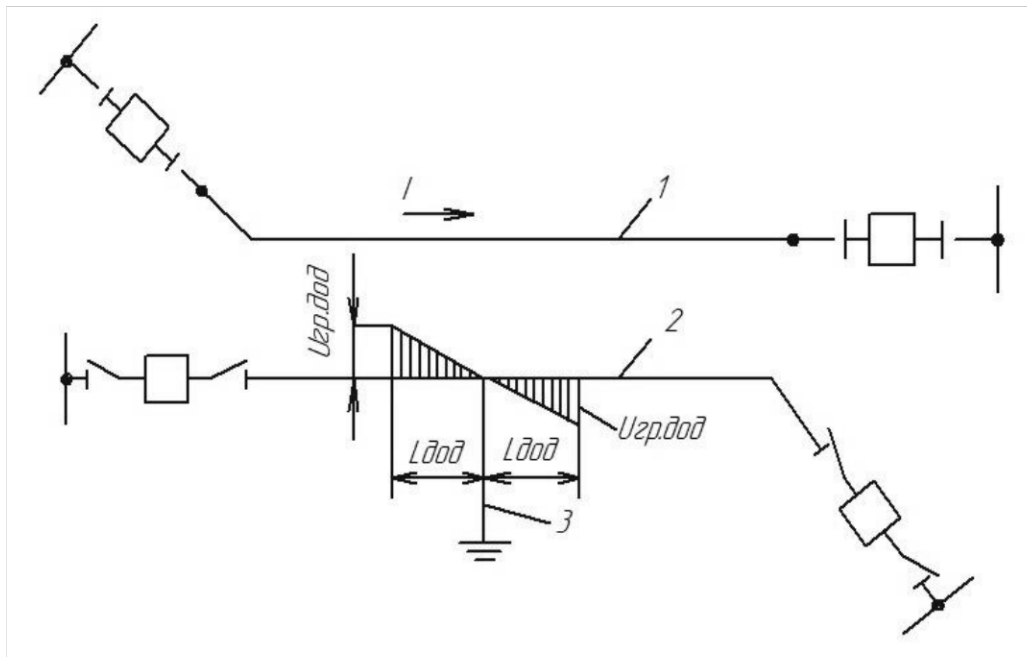


Рисунок 4.2 – Зона безпечної роботи поблизу заземлювача в межах впливу, що знаходиться під напругою лінії: 1 – лінія, яка знаходиться під напругою; 2 – відключена лінія; 3 – заземлення; $U_{кр.доп}$ – гранично допустима наведена напруга.

Таблиця 4.2 – Зони впливу діючих повітряних ліній

Напруга діючої передачі лінії передачі, кВ	Ширина зони впливу, м
35–110	100
150–220	150
330–500	200

ізмівмізмівмізм влімів зім івекрзюотид влігшл 309 6456 461 вслмзашлва зан

Для зменшення наведеної напруги дроти та троси монтують ділянками від однієї анкерної опори до іншої. При цьому наведена на дроті напруга не

досягає небезпечної величини. З'єднання сусідніх ділянок між собою здійснюють після закінчення роботи на них з дозволу відповідного керівника.

4.5 Модель процесу виникнення та формування виробничих небезпек при обслуговуванні трансформатора

Пошук правильного показника рівня безпеки для якогось конкретного об'єкту передбачено стандартом розрахунку рівня небезпеки експлуатаційних місць, виробничих технологічних процесів, машин чи окремих виробництв. Цей показник характеризує ймовірність виникнення травми, аварії або катастрофи в залежності від досліджуваного явища [32].

Для заснування на виробництві оцінки показника небезпеки якого-небудь об'єкта, необхідно мати доступний та простий спосіб знаходження значень ймовірності будь-якого можливого явища. Основні принципи способу полягають в тому, що в основі аналізу окремого об'єкту або робочого місця знаходять виробничі небезпеки, можливі травмонезбезпечні чи аварійні обставини. При аналізі обставини зазначають події, що можуть бути головними при побудові логіко-імітаційної моделі травми чи аварії. Згодом створюють модель («дерево помилок й відмов оператора»). Під час цього основне місце має правдивий вибір головної непередбаченої події.

Основну непередбачувану подію, модель якої нам потрібно створити, обирають із огляду оцінки відповідного об'єкта, окремої одиниці обладнання або виробництва і розуміння його максимально небезпечного явища, що за певних обставин виробництва може статися.

Після визначення з головною непередбачуваною обставиною (подією) починають будувати «дерево». Застосовуючи оператори «І» та «АБО», здійснюють набір обставин, які можуть призвести до тої події, що вибрана як головна.

Інколи чільна обставина може мати й набагато більше однакових небезпечних обставин за змістом, але нажаль різних за причинами та

природою виникнення.

Після того як визначилися із відповідними аварійними, травмонебезпечними або катастрофічними обставинами та їх кількістю, знаходять інші події, які належать до кожної такої обставини, логічним синтезом з використанням операторів «АБО», «І» й інших. Побудова моделі триває до тих пір поки не знайдуть всі основні події, які визначають границю моделі.

Потрібно також мати на увазі наступне: кожна непередбачувана подія, у яку входять основні події, може бути сформована та виникнути під час входженні до неї двох, трьох і навіть більше основних (базових) подій із залучанням відповідних операторів.

Завершена модель, яка пройшла перевірку в подальшому підлягає математичній обробці для знаходження імовірності кожної непередбачуваної події, яка увійшла в модель, розпочинаючи із основних та завершуючи чільною.

Імовірності основних подій знаходять за даними виробництва. Для прикладу основна подія «стан контролю із охорони праці». Для знаходження імовірності ми маємо установити на скільки відсотків (%) від ідеального показника здійснюється відповідний йому контроль. Якщо встановлено, що цей показник контролю має 50 або 30 % – імовірність відповідно рівна 0,5 або 0,3. За умови відсутності контролю імовірність «не здійснення контролю» дорівнюватиме 1, за умови, якщо контроль – ідеальний, то відповідна імовірність дорівнює 0.

Вихідні дані: $P1 := 0.6$ $P2 := 0.7$ $P4 := 0.55$ $P5 := 0.46$
 $P7 := 0.38$ $P8 := 0.32$ $P12 := 0.73$ $P11 := 0.85$ $P14 := 0.13$
 $P15 := 0.5$ $P17 := 0.3$ $P18 := 0.55$

Ймовірність події 3

$$P3 := P1 + P2 - P1 \cdot P2 = 0.88$$

Слід зауважити, що обчислення ймовірностей випадкових подій проводяться відповідно до положень булевої алгебри.

Аналогічно обчислюємо ймовірність інших подій залежно від їх номера:

$$P6 := P4 + P5 - P4 \cdot P5 = 0.757$$

$$P9 := P7 + P8 - P7 \cdot P8 = 0.578$$

$$P10 := P3 + P6 + P9 - P3 \cdot P6 - P3 \cdot P9 - P6 \cdot P9 + P3 \cdot P6 \cdot P9 = 0.988$$

Рисунок 4.3 – Розрахунок імовірності в MathCad 12

$$P13 := P11 + P12 - P11 \cdot P12 = 0.96$$

$$P16 := P14 + P15 - P14 \cdot P15 = 0.565$$

$$P19 := P17 + P18 - P17 \cdot P16 = 0.681$$

$$P13 + P16 + P19 - P13 \cdot P16 - P13 \cdot P19 - P16 \cdot P19 + P13 \cdot P16 \cdot P19$$

$$P20 = 0.994$$

$$P21 := 0.15$$

$$P22 := P10 + P20 - P10 \cdot P20 = 1$$

$$P23 := P22 \cdot P21 = 0.15$$

Рисунок 4.4 – Розрахунок імовірностей в MathCad 12 (продовження)

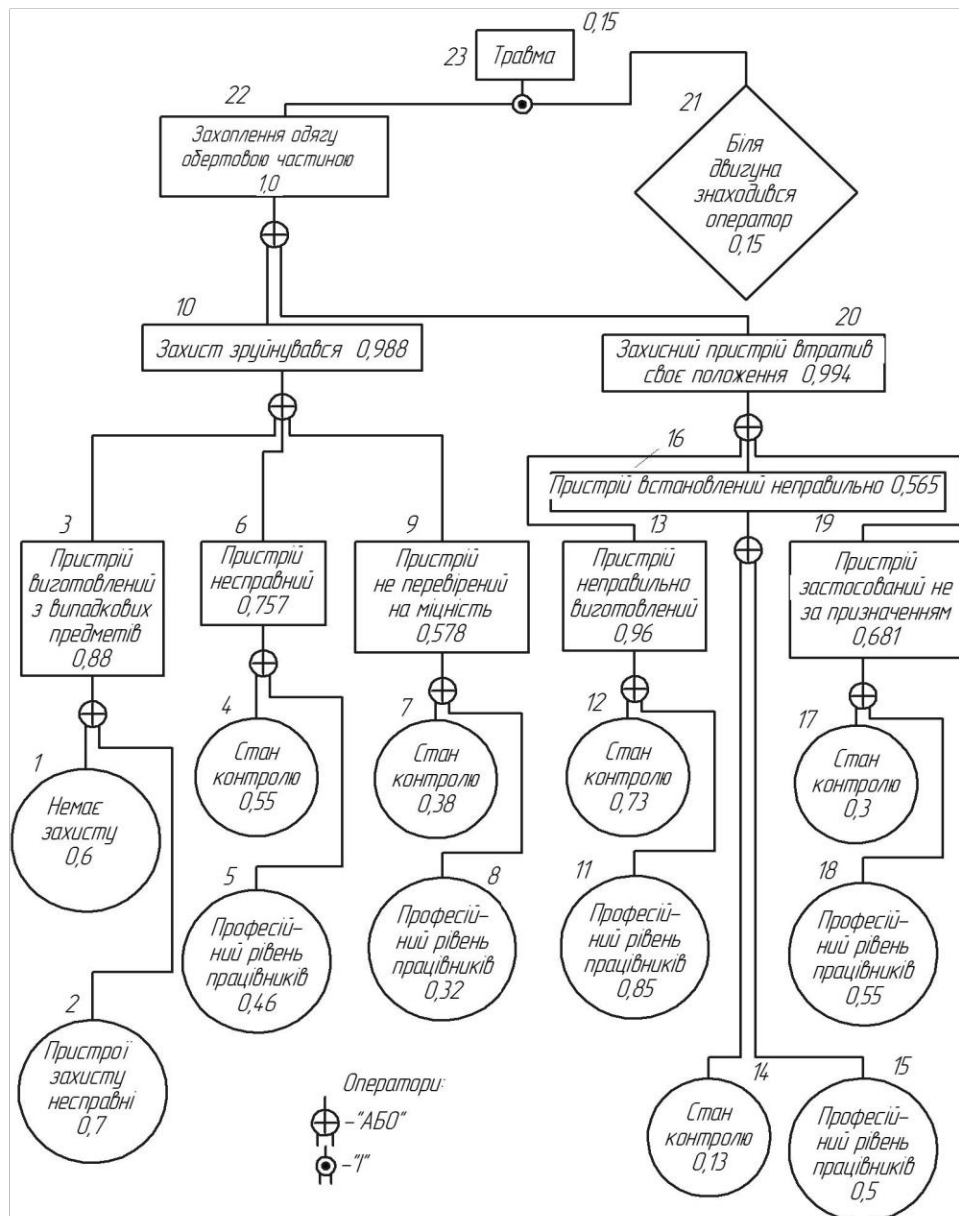


Рисунок 4.5 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травми при обслуговуванні трансформатора

Після обрахування імовірності всіх подій, розміщених у ромбах, та основних подій, розпочинаючи з нижньої лівої гілки «дерева», їх позначають номерами усіх непередбачуваних подій, що увійшли у модель.

Рівень імовірності основних подій, що аналізуються не можна порівнювати з нормативними значеннями деякого ступеня ризику для деякої людино-машинної системи, тому що, таких даних не існує. Показник імовірності тої або іншої події, обчислений під час аналізу конкретної моделі, дозволяє бачити інформацію про високу, середню та незначну небезпеки.

Для здійснення розрахунку ймовірності травми використаємо логіко-

імітаційну модель процесу її формування (рис. 4.3) та програмний комплекс MathCad 12 у якому будемо здійснювати усі розрахунки.

На робочому місці оператора при обслуговуванні трансформатора за наявності недоліків із охорони праці, які представлені в основних подіях на 100 таких місць, можна очікувати 15 травм. Терміново знешкодивши зазначені недоліки, побачимо, шляхом ще одного розрахунку, що показник небезпеки почне наближатися до 0, а рівень безпеки – до 1.

Потрібно пам'ятати, що на робочому місці можуть виникати інші несправності та недоліки, що призведуть до травми через інші обставини. Складовими обставинами іншої травми можуть бути наступні недоліки: малоефективний контроль або надзвичайно низький професійний рівень умінь та навичок працюючих з охорони праці. Відтак необхідно розробити відповідну модель і зробити потрібні розрахунки.

4.6 Розробка заходів з питань безпеки у надзвичайних ситуаціях

4.6.1 Основні заходи щодо захисту населення в умовах надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру. До базисних заходів відносно захисту населення та території в умовах ситуацій техногенного та природного характеру відносяться [33]: біологічний захист; інженерний захист; інформація та оповіщення; медичний захист; радіаційний і хімічний захист; укриття в захисних спорудженнях; використання засобів індивідуального і медичного захисту; проведення евакуаційних заходів.

4.6.2 Інформація та оповіщення в надзвичайних ситуаціях. Центральні та місцеві органи виконавчої влади зобов'язані сповіщати населення засобами масової інформації, подавати інформацію про стан справ відносно захисту населення у надзвичайних ситуаціях техногенного та природного характеру, про виникнення надзвичайних ситуацій, способи та

методи захисту населення від них, заходи відносно забезпечення безпеки [33].

4.6.3 Організація зв'язку й оповіщення у місті в надзвичайних ситуаціях. Для сповіщення населення у надзвичайних ситуаціях природного та техногенного характеру застосовується наступна сукупність засобів сповіщення: технічні засоби; рухомі засоби; сигнальні засоби.

Технічні засоби оповіщення: стійка циркулярного виклику СЦВ(30/50); сирени електричні З(40 (зовнішні), З(28 (цехові); радіотрансляційна мережа (РТМ) та телебачення (ТБ); централізований диспетчерський зв'язок.

Рухомі засоби оповіщення: автомобільний транспорт; мотоцикли і велосипеди; інші транспортні засоби.

Сигнальні засоби оповіщення: світлові (ліхтарі, багаття, сигнальні ракети, димові шашки); звукові: удари у металеві предмети (гільзи, дзвони), свистки, гудки.

Система сповіщення ґрунтується на державній системі зв'язку, а також на вузлах зв'язку пересувних та стаціонарних пунктів керування (ПК) цивільної оборони [33].

Для створення безперервного керування із місцевого пункту керування створюється система зв'язку і оповіщення міста. Для забезпечення безперебійного зв'язку й оповіщення із заміських пунктів керування використовується радіо та телефонний зв'язок сільських районів.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Розглянемо, на прикладі ПС № 2 «Воля-Ковельська» 35/10 кВ» лінії 67-07 заміну неізолюваного дроту на самонесучий провід марки СІП-3.

Лінії електропередач, які виконані неізолюваним дротом мають безліч недоліків. Ось деякі із них:

- небезпека при обриві проводів у плані ураження електричним струмом людей;
- можливі випадкові доторкання людьми, тваринами та механізмами;
- ожеледиця та налипання снігу;
- необхідність періодичного обрізання гілок дерев для унеможливлення перекриття ними ліній;
- часте розкрадання електроенергії шляхом накидання на дроти ПЛ;
- високий реактивний опір внаслідок чого високі втрати електроенергії.

Проводи СІП є набагато довговічнішими, вони здатні до безперебійної роботи навіть в агресивних кліматичних та хімічних умовах, передбачають можливість монтажу без відмикання лінії, високої міцності до механічних пошкоджень, що є їх суттєвою технічною перевагою.

Для розрахунку матеріальних вкладень потрібно скласти кошторис. Укледений кошторис представлено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Кошторис на виконання робіт із заміни проводів на СІП

Назва	Один вимірювання	Кількість шт./м	Вартість, грн	Загальна вартість, грн
Загальнобудівельні роботи				
Розвезення одностійкових залізобетонних опор ПЛ-10 кВ по трасі	1 опора	256	590	151152
Розвезення матеріалів оснащення одностійкових опор ПЛ-10 кВ по трасі	1 опора	256	165	42368
Установка одностійкових з одним підкосом залізобетонних опор ПЛ-10 кВ з траверсами без приставок	1 опора	256	5499	1407866
Всього				1601386
Демонтажні роботи				
Демонтаж: 3-х дротів ПЛ 10 кВ	1 опора	256	785	201190
Демонтаж опор без приставок	1 опора	256	995	254789

одностійкових ПЛ 10 кВ				
Всього				455977
Матеріали				
Провід самонесучий ізольований для повітряних ліній електропередач з алюмінієвими жилами марки СІП-3	1 км	21	39	853
Роз'єднувач РЛНД	комплект	1	3768	3768
Пристрій захисту від перенапруги ПЗПН-10	комплект	12	1807	21688
Ізолятор підвісний полімерний <i>SML 70/20</i>	шт	256	467	119777
Ізолятор штирьовий фарфоровий <i>IF 27</i>	шт	260	343	89349
Ковпачок К9	шт	266	20	288
Спіральне в'язання СВ-70	шт	350	160	57073
З'єднувач <i>UU 7-16</i>	шт	250	120	30055
Плашковий затискач <i>CD35</i>	шт	257	23	6026
Затискач відгалужувальний <i>CD15</i>	шт	158	340	53855
Затискач апаратний <i>A2A-95</i>	шт	2	140	280
Затискач відгалужувальний герметичний <i>RP 150</i>	шт	4	402	1608
Траверса ТМ65	шт	256	2250	576000
Всього				2545273
Машини і механізми				78960
Фонд оплати праці				242309
Накладні витрати				108955
Всього				5032870
ПДВ 20 %				905915
ВСЬОГО				4 354 099

Укладання кошторису на реалізацію заходу заміни неізолюваних дротів на самонесучий ізольований провід СІП показало, що вартість виконаних робіт буде становити 4 354 099 грн.

Цей захід є дуже капіталовитратним, проте він дасть змогу підвищити пропускну здатність ЛЕП та забезпечити надійність електричних мереж. Здійснимо обчислення витрат.

Експлуатаційні витрати визначаються [34]:

$$B = B_A - B_E, \quad (5.1)$$

де B_A – амортизаційні відрахування; B_E – вартість втрат електроенергії.

Амортизаційні відрахування детермінуються за формулою:

$$B_A = p_A \cdot K, \quad (5.2)$$

де p_A – норма амортизації, яка детермінується врахуванням тривалості корисної роботи. $K = 576\,000$ грн [35].

Вартість втрат електроенергії обчислюються так:

$$B_E = \beta \cdot \Delta A, \quad (5.3)$$

де ΔA – річні втрати активної енергії; β – тариф на електричну енергію.

$$\Delta A = \Delta P \cdot \tau_{\max}, \quad (5.4)$$

де ΔP – сумарні втрати активної енергії у лініях; τ_{\max} – час використання максимуму втрат.

$$\Delta P = \frac{S^2}{U^2} \cdot \frac{r_{\text{num}} \cdot l}{n} \cdot 10^{-3}, \quad (5.5)$$

де r_{num} – активний опір (0,42 Ом/км для АС-70; 0,77 Ом/км для АС-35; 0,363 Ом/км для СП-3); l – довжина лінії; S – потужність трансформатора; U_H – нормальна напруга трансформатора; n – кількість лінії [36].

$$\tau_{\max} = \left(0,124 + \frac{T_{\max}}{10000} \right)^2 \cdot T_{PIЧ}, \quad (5.6)$$

де T_{\max} – кількість годин використання максимуму активного навантаження.

Середня кількість годин використання максимуму навантаження $T_{\max} = 3500$ год. Відповідно тривалість максимальних втрат:

$$\tau_{\max} = \left(0,124 + \frac{3500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 1968 \text{ год/рік.}$$

Річні втрати активної енергії при використанні проводів марки АС-70 становлять $\Delta P = 8,09$ кВт.

Річні втрати активної енергії при використанні проводів марки АС-70 становлять $\Delta P = 108,6$ кВт.

Сумарні втрати активної енергії у лініях $\Sigma \Delta P = 116,15$ кВт.

Річні втрати енергії становлять $\Delta A = 116,15 \cdot 1968 = 228583,2$ кВтгод/рік.

Амортизаційні відрахування становлять $B_A = 20215,4$ грн/рік.

Вартість втрат становить $B_E = 228583,2 \cdot 1,99 = 454880,5$ грн/рік.

Експлуатаційні відрахування становлять:

$$B = 30215,4 + 454880,5 = 485015,9 \text{ грн/рік.}$$

Річні втрати активної енергії при використанні проводів марки СИП-3 становлять $\Delta P = 99,5$ кВт.

Річні втрати енергії становлять $\Delta A = 99,5 \cdot 1968 = 195816$ кВтгод/рік.

Вартість втрат становить $B_E = 195816 \cdot 1,99 = 389673,9$ грн/рік.

Амортизаційні відрахування становлять $B_A = 13824$ грн/рік.

Експлуатаційні відрахування становлять:

$$B = 389673,9 + 13824 = 403497,9 \text{ грн/рік.}$$

Обчислення експлуатаційних витрат показали, що для проводу марки СИП-3 втрати енергії є менші, ніж у проводу марки АС на 15 %, і витрати 17 %.

На прикладі Ковельського РЕМу було здійснено оцінку прогнозованих результатів внаслідок використання запропонованих заходів. Для цього, користуючись результатами виконаної роботи, а саме обчисленими показниками кількості та тривалості відмикань, здійснимо порівняльний аналіз показників надійності до та після застосування запропонованих заходів представлено у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Оцінка ефективності застосування заходів із покращання надійності електропостачання

Назва	Неповідпуск ел.енергії	Вихідні значення		Отримані значення	
		ω , відм/рік	t , год	ω , відм/рік	t , год
ПС № 2 «Воля-Ковельська»	1,89	3,685	21,85	1,843	11

На рис. 5.1 представлено наочне відображення отриманих результатів.

Рисунок забрано з ціллю енергетичної безпеки України

Рисунок 5.1 – Ефективність запропонованих заходів

Із гістограми бачимо, що застосування запропонованих заходів знизить кількість та тривалість відключень у кілька разів.

Також, варто відзначити, що жоден із запропонованих заходів не зможе повною мірою усунути проблему надійності. У межах ПрАТ «Волиньобленгерго» варто застосувати комплекс заходів щодо підвищення надійності ліній.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі репрезентовано можливі варіанти покращання надійності розподільчих мереж 10/35 кВ ПрАТ «Волиньобленерго». На підґрунті проведених досліджень можемо зробити такі висновки:

1. Розкрито теоретичні положення надійності елементів систем електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. Представлено коротку характеристику ПрАТ «Волиньобленерго» з аналізом недовідпуску електричної енергії за 2019-2022 роки. Встановлено, що найбільша кількість відмикань відбувається у Ковельському та Володимир-Волинському РЕМах.

2. Здійснено аналіз недовідпуску електричної енергії за підстанціями Ковельського та Володимир-Волинського РЕМів. Проведено визначення показників надійності електропостачання споживачів та встановлено, що по кожній підстанції найненадійнішими контурами «джерело живлення – споживач» є лінії електропередач 35/10 кВ.

3. Проведено обчислення середнього часу відновлення елементів мережі та представлено детальний аналіз отриманих результатів за усіма підстанціями 35/10 кВ Ковельського та Володимир-Волинського РЕМів і запропоновано заходи покращання надійності електричних мереж 35 кВ та 10 кВ.

4. Розглянуто вимоги безпеки до повітряних ліній електропередач та ключові аспекти проведення робіт електромонтерами та обслуговуючим персоналом на діючих лініях електропередач.

5. Зроблено економічні обґрунтування заміни голих сталевалюмінієвих проводів на ізольовані проводи марки СІП-3. Укладено кошторис на проведення зазначених робіт. Здійснено оцінку ефективності застосування заходів із покращання надійності електропостачання по Ковельському та Володимир-Волинському РЕМах ПрАТ «Волиньобленерго».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця: Нова книга, 2004. 656 с.
2. Бардик Є. І., Лукаш М. П. Електрична частина станцій та підстанцій. Синхронні генератори: навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2008. 100 с.
3. Черкашина В. В. Структурування повітряних ліній електропередачі в умовах неповноти інформації. Харків: Факт, 2016. 160 с.
4. Казанський С. В. Надійність електроенергетичних систем. Київ: КП, 2020. 67 с.
5. Журахівський А. В., Кінаш Б. М., Пастух О. Р. Надійність електричних систем і мереж: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 280 с.
6. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення: Видання офіційне. Київ: Держстандарт України, 1995. 92 с.
7. СОУ-Н МЕВ-40.1-00100227-68:2012 Стійкість енергосистем. Керівні вказівки. Затв. Наказом Міністерства енергетики України від 23.07.2012 р. № 539. Київ: НТЦЕ НЕК «Укренерго», 2012. 38 с.
8. Зорін Є. В., Олефір Д. О. Забезпечення надійної роботи ОЕС України – нагальна потреба сучасності. *Електропанорама*, № 4. 2007. С. 7 – 8.
9. Кириленко О. В., Кінаш Б. М., Гудим В. І. Аналіз надійності функціонування електроенергетичних об'єктів: монографія. Київ, 2008. 224 с.
10. Лозинський О. Ю., Марущак Я. Ю., Костробій П. П. Розрахунок надійності електроприводів: підручник. Львів: Вид-во ДУ «Львівська політехніка», 2002. 234 с.
11. Кучерук В. Ю. Елементи теорії побудови систем технічного діагностування електромоторів: монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМВінниця, 2003. 195 с.
12. Глушко О., Степенко С. Параметри, характеристики і фактори, що впливають на ефективність та надійність роботи фотоелектричних

перетворювачів у складі електроенергетичних систем. *Технічні науки та технології*, (1(23), 2021. 249 – 264 с.

13. <https://energy.volyn.ua/#gsc.tab=0>

14. <https://elektro.volyn.ua/about/finzvit.php>

15. <https://clarity-project.info/smida/00131512?year=2020>

16. Лежнюк П. Д., Комар В. О., Кравчук С. В., Котилко І. В. Вплив розосередженого генерування на надійність роботи електричних мереж. *Вісник НТУ "ХПІ", Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. № 45 (1321). С. 25 – 31.

17. Щербовських С. В. Математичні моделі та методи для визначення характеристик надійності відновлюваних багатотермінальних систем із урахуванням перерозподілу навантаження. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 296 с.

18. Holger C. Hesse, M. Schimpe, D. Kucevic, A. Jossen. Holger C. Hesse Lithium-Ion Battery Storage for the Grid – A Review of Stationary Battery Storage System Design Tailored for Applications in Modern Power Grids. *Energies*. 2017. № 10, 2107. p. 1 – 42.

19. Хоменко І. В., Плахтій О. А., Нерубацький В. П., Стасюк І. В. Електроенергетика України. Структура, керування, інновації: монографія. Харків: НТУ «ХПІ», ТОВ «Планета-Прінт», 2020. 132 с.

20. Зорин В. В., Буйний Р. А., Іванько Д. О. Заходи по підвищенню ефективності режимів діючих розподільних електричних мереж. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2011. №2. С. 70 – 77 с.

21. Тісленко В. В. Системи електропостачання загального призначення. Чернігів: ЧНТУ, 2005. 341 с.

22. Федорів М. Й., Михайлів М. І. Надійність електропостачання: навчальний посібник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2020. 183 с.

23. Зайцев Є., Кучанський В., Гунько І. Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроустановка. *ГРААЛЬ НАУКИ*, 2020. (5), С. 144 – 152.

24. <https://elektro.volyn.ua/about/finzvit.php>
25. Бурбело М. Й., Бірюков О. О., Мельничук Л. М. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2011. 204 с.
26. Бардик Є. І. Експлуатація та режими роботи електростанцій. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 73 с.
27. Kowalski Z. Jakosc energii elektrycznej. Lodz, 2007. 620 s.
28. Кирик В.В. Електричні мережі та системи. Київ: Політехніка, 2014. 132 с.
29. Кулик В. В., Тептя В. В., Бурикін О. Б., Сікорська О. В. Типові рішення при проектуванні електричних мереж напругою 110–330 кВ: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2018. 110 с
30. Панченко С. В., Акімов О. І., Бабаєв М. М. Основи безпечної експлуатації електроустановок: підручник. Харків: УкрДУЗТ, 2021. 149 с.
31. Ткачук К. Н., Халімовський М. О., Зацарний В. В., Зеркалов Д. В., Сабарно Р. В. Основи охорони праці: підручник. Київ: Основа, 2006. 448 с.
32. Лехман С. Д. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві: навч. посібник. Київ: Урожай, 1993. 272 с.
33. 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.
34. 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.
35. ГКД 340.000.001-95. Визначення економічної ефективності капіталовкладень в енергетику. Методика. (Загальні методичні положення). Київ: Міненерго України, 1995. 34 с.
36. Бандурка О. М., Ковальов Є. В., Садиков М. А., Маковоз О. С. Економіка підприємства. Харків: ХНУВС. 2017. 192 с.