

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувача кафедри
електротехніки, електромеханіки та
електротехнологій**

ДОЦ., К.Т.Н. /ОКУШКО О.В./
вчене звання і ступінь підпис
„_____” _____ 2026 р.
число місяць рік

Бакалаврська кваліфікаційна робота

**на тему: «Підвищення ефективності електротехнічної лабораторії
для післяремонтних випробувань силових кабельних ліній»**

Спеціальність: 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., ДОЦЕНТ Синявський О.Ю.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., ДОЦЕНТ Наливайко В.А.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав

(підпис) _____ (ПІБ) Райський Б.С.

КИЇВ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри
електротехніки,
електромеханіки
та електротехнологій**
ДОЦЕНТ, К.Т.Н. /ОКУШКО О.В./
вчене звання і ступінь підпис
„ ” „ ” 2025р.
число місяць рік

З А В Д А Н Н Я

на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи студенту

Райський Богдан Сергійович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність: 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи: «Підвищення ефективності
електротехнічної лабораторії для післяремонтних випробувань силових
кабельних ліній».

затверджена наказом ректора НУБіП України від «30» жовтня 2025 р. № 2607
„С”.

Термін подання завершеного проєкту на кафедру 2026.06.01
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до кваліфікаційної бакалаврської роботи:

- 1) Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).
- 2) Правила будови електроустановок (електрообладнання спеціальних установок).
- 3) Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.
- 4) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
- 5) Правила користування електричною енергією.

Перелік питань, які потрібно розробити:

- 1) Аналіз стану, перспектив і напрямків реалізації завдань, вирішуваних у проєкті.
- 2) Технологічна частина.
- 3) Електротехнічна частина проєкту
- 4) Спеціальне завдання: «Вдосконалення технологій ремонту та діагностування силових кабельних ліній».
- 5) Заходи з енергозбереження та охорона праці.

6) Обґрунтування прийнятих інженерних рішень та заходи щодо раціонального використання електроенергії

7) Висновки.Список використаних джерел.

8) Додатки.

Перелік графічних документів (за потреби):

1. План станції ТО і діагностування електрообладнання. Силове електрообладнання.

2. План станції ТО і діагностування. Освітлювальна мережа.

3.Функціональна схема пошуку несправностей кабельних ліній.

4.Схема перевірки і діагностування кабельних ліній.

Дата видачі завдання 31.10.2025 р.

Керівник кваліфікаційної бакалаврської роботи

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Наливайко В.А.

(підпис)

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

(ПІБ)

Райський Б.С.

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	№ прим.	Примітка
	A4	02.02-КР.2055"С".2023.11.18.054.ПЗ	Пояснювальна записка			
	A3	02.02-КР.2055"С".2023.11.18.054.ЕМ	ПТО і РЕО. План пункту з нанесенням силового електрообладнання. Розрахунково-монтажна таблиця.	1		
	A3	02.02-КР.2055"С".2023.11.18.054.ЕО	ПТО і РЕО. План пункту з нанесенням освітлювального обладнання. Розрахунково-монтажна таблиця.	1		
	A3	02.02-КР.2055"С".2023.11.18.054.ЕЗ.1	Випробування ізоляції кабелів підвищеною напругою. Схема електрична принципова	1		
	A3	02.02-КР.2055"С".2023.11.18.054.ЕЗ.1	Установка для випробування кабельних ліній наднизькою частотою. Схема електрична принципова.	1		

					02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.019.ПЗ					
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата						
Розробив	Райський Б.С.				Відомість Проекту			Літер	Лист	Листів
Перевірів	Наливайко В.А.							Т		
								НУБІП України ЕЕЕ-220016		
Н.контроль	Коробський В.В.									
Затвердив	Окушко О.В.									

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. АНАЛІЗ СТАНУ, ПЕРСПЕКТИВ І НАПРЯМКІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПІСЛЯРЕМОНТНИХ ВИПРОБУВАНЬ СИЛОВИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ.....	10
1.1. Силові кабельні лінії як об'єкти технічного діагностування	10
1.2. Характерні пошкодження кабельних ліній та вимоги до післяремонтних випробувань	12
1.3 Ефективність технології діагностування та прогнозування технічного стану кабельної лінії.....	13
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	18
3. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	23
3.1. Вибір і перевірка електроприводу технологічного обладнання	23
3.2. Вибір силових електропроводок та розподільчих пристроїв	30
3.3. Вибір освітлення і вибір освітлювальних проводок та щитків	32
3.4. Перевірка захисних апаратів на спрацювання при струмах короткого замикання за гранично-вимикальною здатністю	36
4. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПІСЛЯРЕМОНТНИХ ВИПРОБУВАНЬ СИЛОВИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ.....	42
4.1. Технічні передумови діагностування силових кабельних ліній	42
4.2. Конструктивні особливості кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену	44
4.3. Аналіз типових пошкоджень силових кабельних ліній	45
4.4. Методи визначення місця пошкодження кабельної лінії	47
4.5. Післяремонтні випробування та оцінювання технічного стану кабельної лінії.....	50
4.6. Розрахунок можливості застосування установки АВ-60_01 для післяремонтного випробування.....	53
4.7. Методика виконання післяремонтних випробувань кабельної лінії установкою АВ-60_01.....	55

5	ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТ ЕНЕРГООБЛАДНАННЯ СИЛОВИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ.....	60
5.1	Організація технічного обслуговування і експлуатації кабельних ліній	60
5.2	Розрахунок обсягу робіт з обслуговування силових кабельних ліній.....	62
5.3	Розрахунок річних працездат на виконання ТО і ПР кабельних ліній	64
5.4	Визначення кількості персоналу для обслуговування і ремонту КЛ	65
5.5	Планування профілактичних заходів і післяремонтних випробувань	66
5.6	Визначення втрат електроенергії в кабельній лінії та питомих витрат.....	67
5.7	Організація обліку, паспортизації та журналювання результатів випробувань	68
5.8	Визначення категорії надійності електропостачання і збитків від перерв ...	69
5.9	Заходи з підвищення надійності та економії енергоресурсів.....	70
5.9.1	Зменшення втрат у кабельних лініях	70
5.9.2	Організаційно-технічні заходи з раціонального використання кабельних мереж	70
6	ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПІСЛЯРЕМОНТНИХ ВИПРОБУВАНЬ СИЛОВИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ	72
6.1	Проведення випробувань з подачею підвищеної напруги від стороннього джерела струму.....	72
6.2	Роботи з електровимірювальними приладами, кліщами і вимірювальними штангами	74
6.3	Вимоги безпеки під час пошуку місця пошкодження та роботи з СНЧ-установкою.....	75
6.4	Вимоги безпеки при аварійних ситуаціях	76
6.5	Вимоги безпеки після закінчення роботи.....	77
	ВИСНОВКИ.....	78
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79

ВСТУП

Силові кабельні лінії є одними з основних елементів систем розподілу електричної енергії. Вони забезпечують передавання електроенергії між трансформаторними підстанціями, розподільними пунктами, виробничими об'єктами та споживачами. На відміну від відкритих повітряних ліній, кабельні лінії значною мірою приховані в ґрунті, каналах, трубах або кабельних спорудах, тому виявлення дефектів потребує спеціалізованих методів діагностування та післяремонтних випробувань.

У процесі експлуатації кабельні лінії зазнають дії електричного поля, теплових навантажень, механічних деформацій, вологості, корозійних середовищ і технологічних похибок монтажу. Найбільш критичними ділянками є кабельні муфти, кінцеві заробки, місця вигину, ділянки з пошкодженою оболонкою, а також зони з підвищеною вологістю. Саме в цих місцях найчастіше виникають часткові розряди, зниження опору ізоляції, пробій оболонки, пошкодження екрана або розвиток водних триєнгів.

Особливої уваги потребують кабельні лінії з ізоляцією із зшитого поліетилену. Такі кабелі мають високі електричні та теплові характеристики, проте вони чутливі до неправильного вибору методів випробування. Для них небажаним є застосування тривалих випробувань постійною напругою, оскільки в полімерній ізоляції можливе накопичення об'ємного заряду. Тому під час післяремонтного контролю доцільно використовувати випробування змінною напругою наднизької частоти, контроль часткових розрядів, вимірювання струму витоку, перевірку оболонки та локалізацію пошкоджень сучасними трасопошуковими методами.

Актуальність роботи полягає у необхідності вдосконалення технології діагностування та післяремонтних випробувань силових кабельних ліній. Така технологія повинна забезпечувати не лише виявлення факту пошкодження, а й

оцінювання його характеру, локалізацію місця дефекту, перевірку якості виконаного ремонту та обґрунтований допуск кабельної лінії до подальшої експлуатації.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є удосконалення технології діагностування та післяремонтних випробувань силових кабельних ліній на основі застосування комплексного контролю стану ізоляції, оболонки, екрана, жил і кабельної арматури.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати силові кабельні лінії як об'єкти діагностування; визначити характерні пошкодження кабельної ізоляції та кабельної арматури; обґрунтувати застосування сучасних методів післяремонтних випробувань; розробити технологічну частину пункту діагностування; виконати електротехнічні розрахунки допоміжного обладнання; сформулювати порядок перевірки кабельної лінії після ремонту.

Об'єктом дослідження є процес технічного діагностування та післяремонтного контролю силових кабельних ліній. Предметом дослідження є методи, засоби та технологічні операції оцінювання технічного стану силових кабелів після пошкодження, ремонту, монтажу муфт або заміни окремих ділянок лінії.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розроблених рішень під час організації робіт у пункті діагностування кабельних ліній, планування післяремонтних випробувань, вибору випробувального обладнання та оформлення протоколів контролю технічного стану.

1. АНАЛІЗ СТАНУ, ПЕРСПЕКТИВ І НАПРЯМКІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПІСЛЯРЕМОНТНИХ ВИПРОБУВАНЬ СИЛОВИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ

1.1. Силові кабельні лінії як об'єкти технічного діагностування

Силова кабельна лінія є складним електротехнічним об'єктом, технічний стан якого визначається не тільки параметрами струмопровідних жил, а й станом основної ізоляції, захисної оболонки, металевого екрана, з'єднувальних і кінцевих муфт, заземлювальних провідників та умов прокладання. Тому під час діагностування кабельної лінії необхідно оцінювати її як цілісну систему, у якій дефект одного елемента може призвести до пошкодження всієї лінії.

Для кабельних ліній напругою 0,4-10 кВ характерні різні умови експлуатації. Частина ліній прокладається в ґрунті, частина - у кабельних каналах, лотках, трубах або всередині виробничих приміщень. У кожному випадку на технічний стан кабелю впливають вологість середовища, температура, механічні навантаження, корозійна активність ґрунту, якість монтажу муфт, режим навантаження та кількість післяаварійних ремонтів.

Технологія діагностування силових кабельних ліній повинна враховувати те, що значна частина дефектів розвивається приховано. Пошкодження оболонки, проникнення вологи, локальне порушення екрана, мікродефекти ізоляції або помилки монтажу муфт не завжди проявляються одразу після ремонту. Однак під дією робочої напруги такі дефекти можуть призвести до часткових розрядів, локального нагрівання, утворення каналів провідності та подальшого пробоя.

З цієї причини післяремонтні випробування не можна зводити тільки до перевірки цілісності жил або фазування. Після ремонту необхідно перевіряти опір ізоляції, стан оболонки, відсутність пошкодження екрана, якість монтажу

					02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.019.ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з'єднувальної муфти, правильність заземлення екранів, а для кабелів із зшитого поліетиленовою ізоляцією - відповідність методу випробування фізичним властивостям полімерного діелектрика.

Основними об'єктами контролю під час діагностування кабельної лінії є: струмопровідна жила, основна ізоляція, напівпровідникові шари, металевий екран, зовнішня оболонка, кінцева заробка, з'єднувальна муфта, кабельні наконечники, заземлення екрана та траса прокладання. Кожен з цих елементів має власні контрольовані параметри і потребує відповідного методу перевірки.

Удосконалення технології діагностування полягає у переході від формальної перевірки справності лінії до комплексного аналізу технічного стану. При цьому результати випробувань мають фіксуватися не лише як «придатна» або «непридатна», а як сукупність виміряних параметрів, за якими можна встановити тенденцію зміни стану кабельної лінії та обґрунтувати строк наступного контролю.

Під час організації робіт з післяремонтного випробування необхідно враховувати клас напруги кабелю, тип ізоляції, довжину лінії, схему заземлення екрана, наявність муфт, умови прокладання та вид виконаного ремонту. Для ліній з паперово-просоченою ізоляцією допускаються одні методи контролю, а для кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену доцільно застосовувати інші режими, зокрема випробування змінною напругою наднизької частоти.

Отже, силова кабельна лінія як об'єкт діагностування характеризується розподіленою структурою, прихованим розміщенням значної частини елементів, залежністю від умов прокладання та високими вимогами до достовірності післяремонтного контролю.

1.2. Характерні пошкодження кабельних ліній та вимоги до післяремонтних випробувань

Пошкодження силових кабельних ліній виникають унаслідок дії електричних, теплових, механічних, технологічних і зовнішніх факторів. Найбільш поширеними є пошкодження ізоляції, пробій оболонки, пошкодження металевого екрана, обрив або погіршення контакту жил, дефекти з'єднувальних муфт, помилки під час монтажу кінцевих заробок і порушення герметичності кабельної арматури.

Для кабелів із паперово-просоченою ізоляцією характерними є зволоження паперової ізоляції, витікання просочувальної маси, старіння ізоляційного матеріалу, порушення герметичності оболонки та зниження електричної міцності в місцях муфт. Для кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену типовими є пошкодження зовнішньої оболонки, утворення водних трингів, дефекти напівпровідникових шарів, часткові розряди у зоні муфт і наслідки неправильних випробувань постійною напругою.

Механічні пошкодження найчастіше виникають під час земляних робіт, прокладання, переміщення кабелю або монтажу муфт. Такі пошкодження можуть не одразу призвести до аварійного вимкнення, однак вони створюють умови для проникнення вологи та подальшого розвитку дефекту. Якщо пошкоджується тільки зовнішня оболонка, електрична цілісність лінії може зберігатися, але ресурс кабелю різко зменшується.

Дефекти монтажу мають особливе значення під час післяремонтного контролю. Неправильне зняття напівпровідникового шару, забруднення ізоляції, недостатня довжина зачистки, неякісне опресування наконечника або порушення технології встановлення муфти можуть призвести до локального підсилення електричного поля. У результаті в зоні дефекту виникають часткові розряди, які поступово руйнують ізоляцію.

Післяремонтні випробування повинні підтвердити, що відремонтована ділянка має достатню електричну міцність, не містить дефектів монтажу, правильно з'єднана з діючою частиною лінії та може бути включена під робочу напругу. Тому після завершення ремонту необхідно виконати перевірку цілісності жил, фазування, вимірювання опору ізоляції, випробування підвищеною напругою, перевірку оболонки та контроль заземлення екранів.

Для кабелів із зшитою поліетиленовою ізоляцією важливо не застосовувати режими, які можуть додатково пошкодити діелектрик. При випробуванні постійною напругою у полімерній ізоляції можливе накопичення просторового заряду, що створює додаткові електричні напруження після зняття випробувальної напруги. Тому для таких кабелів доцільно використовувати змінну напругу наднизької частоти, яка ближча до умов роботи кабелю в мережі.

Післяремонтна технологія повинна також передбачати локалізацію пошкодження перед ремонтом і контроль якості відновлення після нього. Для попереднього визначення місця пошкодження можуть застосовуватися імпульсні методи, метод відбитих імпульсів, імпульсно-дуговий метод, а для точного визначення - акустичний метод або метод крокової напруги при пошкодженні оболонки.

Таким чином, вимоги до післяремонтних випробувань силових кабельних ліній полягають у забезпеченні достатньої достовірності контролю, недопущенні додаткового пошкодження ізоляції, фіксації результатів у протоколі та прийнятті технічно обґрунтованого рішення про допуск лінії до експлуатації.

1.3 Ефективність технології діагностування та прогнозування технічного стану кабельної лінії

Ефективність діагностування силової кабельної лінії визначається здатністю обраної технології своєчасно виявити пошкодження, правильно оцінити ступінь небезпеки дефекту та забезпечити безпечне включення лінії

					02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.019.ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

після ремонту. Для кабельних ліній особливо важливим є поєднання методичної правильності випробування, справності діагностичних засобів і кваліфікованих дій персоналу.

На практиці діагностування має сенс тільки тоді, коли воно зменшує імовірність повторного пробою, скорочує час пошуку місця пошкодження та дозволяє планувати ремонтні роботи за фактичним станом лінії. Якщо післяремонтне випробування виконується формально, без аналізу типу ізоляції, режиму напруги та стану муфт, воно може не виявити дефект або навіть прискорити руйнування ізоляції.

Для оцінювання ефективності технології можна використати узагальнений критерій імовірності нормального функціонування кабельної лінії після проведення діагностування і післяремонтних випробувань:

$$\text{Реф.діаг} = WД \cdot P1, \quad (1.1)$$

де $WД$ - ймовірність правильного визначення технічного стану кабельної лінії; $P1$ - ймовірність відсутності несправностей у тій частині кабельної лінії, яка не була безпосередньо охоплена контролем протягом часу $T1$.

Ймовірність правильного визначення стану кабельної лінії залежить від якості засобів діагностування та правильності дій оператора:

$$WД = f(VЗД, VOП), \quad (1.2)$$

де $VЗД$ - складова, що характеризує технічний рівень і справність засобів діагностування; $VOП$ - складова, що враховує дії оператора, правильність підготовки схеми випробування, вибір режиму та оформлення результатів.

Для кабельних ліній засобами діагностування є мегомметри, установки СНЧ, прилади контролю оболонки, трасопошукові комплекти, акустичні приймачі, рефлектометри та вимірювальні прилади для контролю струму витoku. Складова $VЗД$ визначається достовірністю результату діагностування та ймовірністю справної роботи застосованого обладнання:

$$VЗД = Pдіаг \cdot PЗД, \quad (1.3)$$

де $R_{\text{діаг}}$ - достовірність отриманого діагностичного результату; $R_{\text{ЗД}}$ - імовірність правильного функціонування засобів діагностування під час випробування кабельної лінії.

Достовірність результату залежить від методичної та інструментальної складових:

$$R_{\text{діаг}} = f(D_{\text{метод}}, D_{\text{інструм}}), \quad (1.4)$$

де $D_{\text{метод}}$ - методична достовірність, яка визначається правильністю вибору методу випробування для конкретного типу кабельної ізоляції; $D_{\text{інструм}}$ - інструментальна достовірність, яка залежить від класу точності, справності та метрологічного стану приладів.

Методична складова для силових кабельних ліній особливо важлива, оскільки невідповідність методу випробування типу ізоляції може призвести до помилкового висновку або додаткового пошкодження кабелю. Її можна подати через достовірність алгоритму та власне методу діагностування:

$$D_{\text{метод}} = f(F_{\text{алг}}, F_{\text{метод}}), \quad (1.5)$$

де $F_{\text{алг}}$ - достовірність алгоритму діагностування; $F_{\text{метод}}$ - достовірність методу контролю або післяремонтного випробування.

Інструментальна достовірність під час контролю кількох параметрів кабельної лінії визначається через імовірність правильного висновку за кожним контрольованим показником:

$$D_{\text{інструм}} = \prod d_{2i}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1.6)$$

де d_{2i} - ймовірність правильного висновку за i -м показником; n - кількість контрольованих параметрів кабельної лінії.

Якщо для всіх показників прийняти однакову ймовірність правильного висновку d_2 , то формула набуває вигляду:

$$D_{\text{інструм}} = d_2^n. \quad (1.7)$$

Ця залежність показує, що збільшення кількості контрольованих параметрів саме по собі не гарантує підвищення достовірності, якщо кожний окремий вимір виконується з низькою точністю. Тому в технології післяремонтних випробувань необхідно застосовувати не максимально велику кількість операцій, а раціональний набір найбільш інформативних показників: опір ізоляції, струм витoku, стан оболонки, фазування, цілісність жил, стан екрана та якість монтажу муфт.

Для засобів діагностування періодичної дії, які використовуються під час виїзних або планових випробувань, імовірність справного функціонування може оцінюватися через коефіцієнт готовності:

$$РЗД = T / (T + t_{в}), \quad (1.8)$$

де T - середній час напрацювання діагностичного обладнання на відмову;
 $t_{в}$ - середній час відновлення після відмови.

У разі резервування засобів діагностування, наприклад наявності резервного мегомметра, запасного високовольтного кабелю, дублюючого вимірювального каналу або резервного блока живлення, імовірність працездатності комплексу може бути визначена за формулою:

$$РЗД = 1 - (1 - РЗДО)^{(m+1)}, \quad (1.9)$$

де $РЗДО$ - імовірність безвідмовної роботи одного комплекту діагностичних засобів; m - кратність резервування.

Наведені залежності доцільно використовувати не як формальний математичний апарат, а як основу для побудови технології діагностування. Вони показують, що надійність післяремонтного висновку визначається одночасно якістю алгоритму, правильністю методу, справністю приладів і діями персоналу.

Для силових кабельних ліній ефективна технологія повинна передбачати послідовність операцій: аналіз документації та аварійної історії; визначення типу кабелю та ізоляції; пошук і локалізація пошкодження; ремонт або монтаж муфти; перевірка цілісності жил; вимірювання опору ізоляції; випробування

підвищеною напругою за допустимим методом; перевірка оболонки й екрана; оформлення протоколу та допуск лінії до роботи.

Оператор під час випробувань виконує відповідальні функції. Він повинен правильно підготувати робоче місце, перевірити відсутність напруги, заземлити кабельну лінію, підключити випробувальну установку, вибрати режим напруги, витримати заданий час випробування, виконати розрядження кабелю після завершення роботи та зафіксувати фактичні параметри. Помилка на будь-якому етапі може призвести до неправильного висновку або небезпечної ситуації.

Підвищення ефективності діагностування досягається завдяки стандартизації технологічної карти, використанню сучасних приладів, контролю типу ізоляції, відмові від невідповідних режимів випробування, накопиченню протоколів і порівнянню результатів у часі. Такий підхід дозволяє перейти від ремонту за фактом аварії до ремонту за фактичним технічним станом кабельної лінії.

Важливим результатом удосконаленої технології є скорочення часу відновлення електропостачання. Якщо до початку ремонту відома структура лінії, тип кабелю, характер пошкодження та наявні типові матеріали для муфт, ремонтна бригада може швидше виконати відновлення, а післяремонтні випробування забезпечують підтвердження якості робіт.

Отже, ефективність діагностування та післяремонтних випробувань силових кабельних ліній визначається не окремим приладом, а правильно організованою технологією, у якій поєднані технічні засоби, алгоритм контролю, кваліфікація персоналу та аналіз накопичених результатів.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

При виконанні робіт на пункті діагностування та післяремонтних випробувань силових кабельних ліній використовується технологічне, вимірювальне і допоміжне обладнання, яке забезпечує приймання кабельної лінії після ремонту, підготовку робочого місця, перевірку цілісності жил, контроль стану ізоляції, випробування підвищеною напругою, пошук місця пошкодження та оформлення протоколу технічного стану.

Комплект технологічного обладнання приймається за логікою типового пункту технічного обслуговування енергообладнання, але функціонально орієнтується на діагностування силових кабельних ліній напругою 0,4–10 кВ та післяремонтні випробування кабелів з паперово-просоченою, ПВХ та зшитою поліетиленовою ізоляцією.

Роботи на пункті організовуються на трьох робочих місцях: ділянці підготовки кабельної арматури, ділянці електричних вимірювань та ділянці випробувань підвищеною напругою. Кожне робоче місце обладнується верстаком, комплектом інструменту, засобами захисту та місцем для розміщення протоколів випробувань.

Для контрольно-діагностичних робіт застосовуються вимірювальні та контрольні прилади, які зберігаються у спеціальній шафі. До основних засобів належать мегомметр, мікроомметр, випробувальна установка наднизької частоти, прилад для пошуку пошкоджень оболонки, трасошукач, показчик напруги, тепловізор та комплект пристроїв для заземлення жил кабелю після випробування.

Додатково передбачається шафа для зберігання кабельної арматури, кінцевих і з'єднувальних муфт, термоусаджувальних матеріалів, наконечників, ізоляційних стрічок, очищувальних засобів, мастик, маркувальних бирок, а також стелаж для запасних елементів кабельних ліній і витратних матеріалів. Для механічної підготовки жил та оболонки використовуються ручний

інструмент, пристрої для зняття ізоляції, ножиці для кабелю, прес-кліщі та пристрої для обтискання наконечників.

У комплект приладів та інструментів входять: таль ручна, електродріль, набір інструментів електромонтера, пристрій для випробувань захисних апаратів, високовольтний стенд, тиски слюсарні, паяльна лампа, шприц важільний плунжерний, ножиці для металу, комплект сверدل, запасний вакуумметр, запасний манометр, прилад для перевірки стану ізоляції кабельних ліній, плоскогубці, круглогубці, кусачки, комплект викруток, масштабна лінійка, зубило, молоток, комплект щупів, ключ торцевий з комплектом головок, ніж, а також комплект кабельних наконечників і пристроїв заземлення.

Прилади, кабельна арматура та ручний інструмент зберігаються у спеціально відведених шафах із маркуванням за призначенням. Випробувальні проводи високої напруги, заземлювальні штанги та переносні заземлення зберігаються окремо, що знижує ризик пошкодження ізоляції та помилкового використання під час робіт.

У приміщенні пункту діагностування силових кабельних ліній передбачається вентиляція для забезпечення санітарно-гігієнічних умов, видалення пилу після підготовки кабельної ізоляції та підтримання безпечного мікроклімату під час роботи з кабельними муфтами, очищувальними рідинами і випробувальним обладнанням.

Припливна вентиляція застосовується тоді, коли природного повітрообміну недостатньо для підтримання нормативних умов праці. Для пункту післяремонтних випробувань кабельних ліній приймається механічна припливно-витяжна вентиляція, оскільки в приміщенні працюють електровимірювальні прилади, високовольтний стенд, електроінструмент та робочі місця підготовки ізоляції.

Систему вентиляції для приміщення пункту діагностування та післяремонтних випробувань силових кабельних ліній приймаємо припливно-витяжною.

Кількість повітря, що видаляється вентиляцією, визначаємо за годинною кратністю об'єму приміщення, прийнятою для виробничих приміщень електротехнічного призначення.

Необхідний повітрообмін визначається за формулою:

$$L_{\text{н}} = V \cdot k_{\text{р}}, \quad (2.11)$$

де V - об'єм приміщення, м^3 ;

$$V = 9 \cdot 6 \cdot 4,5 = 243 \text{ м}^3;$$

$k_{\text{р}}$ - кратність повітрообміну, 1/год.

Для приміщення пункту діагностування кабельних ліній вентиляційний пристрій повинен забезпечувати 4-кратний обмін повітря за годину

$$L_{\text{н}} = 243 \cdot 4 = 972 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Видалення повітря з приміщення здійснюється з верхньої зони, де накопичується тепле повітря від електрообладнання та робочих місць. Приймаємо повітропровід згідно з вихідним розрахунком діаметром 160 мм із гладкої оцинкованої сталі. 160 мм

Опір повітропроводу:

$$H_o = 0,085 \cdot \left(1 \cdot \frac{\gamma}{d} + \alpha \right) \cdot L^2 \cdot \frac{\rho_{\text{п.}}}{d^4}; \quad (2.12)$$

де L - щосекундна витрата повітря, $\text{м}^3/\text{с}$;

$$L = L_{\text{н}}/3600 = 972/3600 = 0.2744 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (2.3)$$

l - довжина повітропроводу, $l = 11 \text{ м}$;

d - діаметр повітропроводу, $d = 0.156 \text{ м}$;

γ - коефіцієнт опору, $\gamma = 0,015$;

$\rho_{\text{п}}$ - густина повітря в повітропроводі при $t = 18^\circ\text{C}$, $\rho_{\text{п}} = 1.213 \text{ кг/м}^3$;

					02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.019.ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

α - сума коефіцієнтів місцевих опорів.

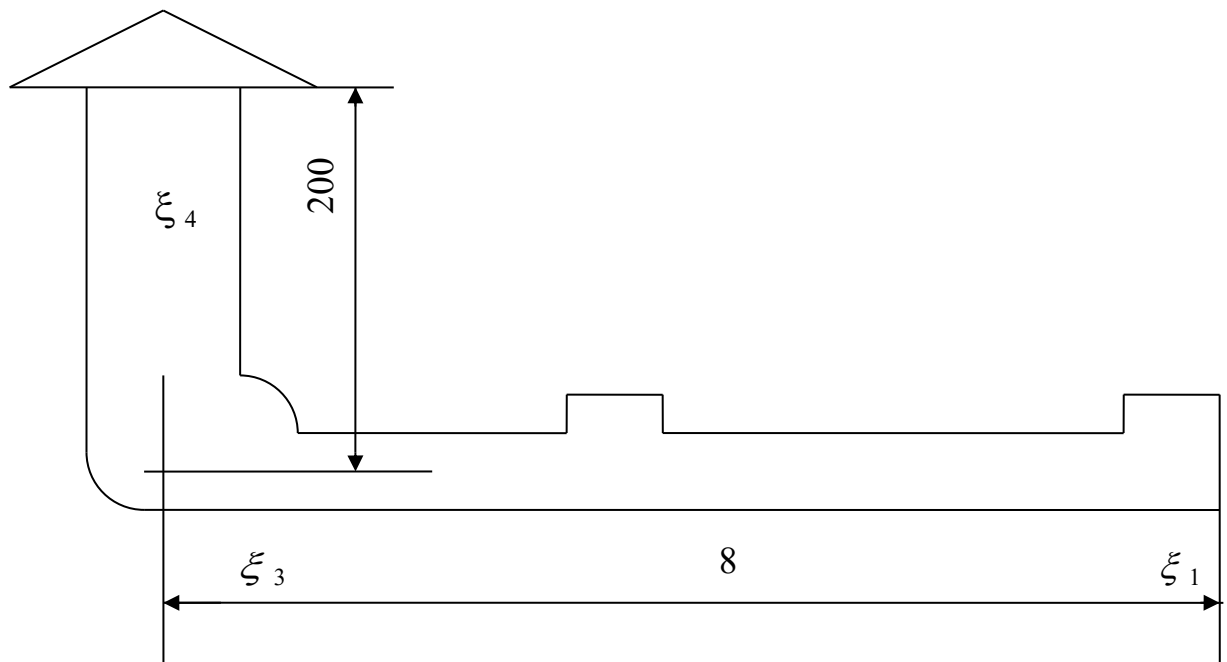


Рис.2.1. Схема повітропроводу.

$$\alpha = \sum \xi, \quad (2.4)$$

де ξ_1 - два бокових входи, $\xi_1 = 2 \cdot 0,6$;

ξ_2 - потрійний прямокутний, $\xi_2 = 1$;

ξ_3 - плавний відвід, $\xi_3 = 0,25$;

ξ_4 - парасолька звичайна, $\xi_4 = 1,3$.

$$\alpha = 2 \cdot 0,6 + 1 + 0,25 + 1,3 = 3,75.$$

Після підставлення значень та обчислення за формулою (2.2), отримаємо:

$$H_o = 0,0825 \cdot \left(10 \cdot \frac{0,015}{0,16} + 3,75 \right) \cdot 0,27^2 \cdot \frac{1,213}{0,16^4} = 52,2 \text{ кг/м}^3.$$

Зведений тиск P , який повинен забезпечувати вентилятор системи вентиляції пункту випробування кабельних ліній, і за яким виконується його вибір:

$$P = H_o \cdot \frac{273 + t}{273 + t_1}, \quad (2.5)$$

де t - нормальна (кімнатна) температура, $t = 20^\circ\text{C}$;

t_1 - температура повітря в системі, $t_1 = 18^\circ\text{C}$.

$$P = 52.2 \cdot \frac{273 + 20}{273 + 18} = 52,6 \text{ Па.}$$

Враховуючи можливий підсос повітря у сталевих повітропроводах, подача вентилятора збільшується на 10 %, що забезпечує запас продуктивності для стабільної роботи вентиляції під час випробувань та підготовки кабельної арматури.

$$L_d = 972 + 97,2 = 1069,2 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (2.6)$$

За приведеним тиском і дійсною подачею вибираємо відцентровий вентилятор типу Ц4-70, продуктивністю 1400 м³/год, тиском 670 Па, частотою обертання 2800 хв⁻¹, коефіцієнтом корисної дії 73,5 %, потужністю електродвигуна 0,55 кВт. Прийняте рішення забезпечує нормативний повітрообмін у приміщенні пункту діагностування кабельних ліній.

					02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.019.ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Вибір і перевірка електроприводу технологічного обладнання

У електротехнічній частині виконується перевірка електроприводу допоміжного технологічного обладнання пункту діагностування кабельних ліній. Основним споживачем, для якого проводиться розрахунок, є електродвигун вентилятора припливно-витяжної вентиляції, що забезпечує безпечні умови роботи під час післяремонтних випробувань кабелів.

$$P_{\text{уст.}} = \frac{k_z \cdot L_d \cdot P}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_v \cdot \eta_n \cdot \eta_{\text{під.}}}, \quad (3.1)$$

де k_z - коефіцієнт запасу потужності на пусковий момент, $k_z = 1,2$;

P - приведений тиск, $P = 52,6$ Па;

L_d - дійсна подача вентилятора, $L_d = 1069,2$ м³ /Год;

η_v - к.к.д. вентилятора, $\eta_v = 0,73$;

η_n - к.к.д. передачі, $\eta_n = 1$ (вентилятор знаходиться безпосередньо на вісі двигуна);

$\eta_{\text{під.}}$ - к.к.д. підшипників, $\eta_{\text{під.}} = 0,98$.

$$P_{\text{уст.}} = \frac{1,2 \cdot 1069,2 \cdot 52,6}{3600 \cdot 102 \cdot 0,73 \cdot 1 \cdot 0,98} = 0,256 \text{ кВт.}$$

Двигун вентилятора працює у тривалому режимі з постійним або малозмінним навантаженням, тому його вибір виконується за встановленою потужністю, умовами пуску, механічною характеристикою робочої машини та допустимим нагріванням у період розгону.

Номінальна потужність повинна складати:

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{уст.}} \quad (3.2)$$

Вибираємо двигун потужністю $P_{ном} = 0,37$ кВт. Живлення здійснюється трифазним змінним струмом частотою 50 Гц від силової мережі пункту діагностування.

За частотою обертання електродвигун вибираємо виходячи з характеристик вентилятора та необхідної продуктивності системи вентиляції.

За конструктивним виконанням та способом монтажу приймаємо двигун виконання ІМ 1001. Оскільки привід відцентрового вентилятора пункту випробувань не має різкозмінного навантаження, приймаємо асинхронний двигун з нормальною механічною характеристикою основного виконання АІР 63А2 з такою технічною характеристикою:

$$P_H = 0,37 \text{ кВт}; \quad n_H = 2730 \text{ хв}^{-1}; \quad I_H = 0,91 \text{ А}; \quad \eta = 72 \%; \quad \cos \varphi = 0,86;$$

$$k_i = 5,0; \quad M_{пуск}/M_H = 2,2; \quad M_{min}/M_H = 1,8; \quad M_{max}/M_H = 2,2; \\ j_{ротора} = 0,76 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Перевіряємо електродвигун за умовами пуску при можливому зниженні напруги в мережі та з урахуванням допустимого розкиду параметрів електродвигуна.

Час пуску визначаємо графоаналітичним методом, після чого виконуємо перевірку електродвигуна за нагріванням під час пуску.

Механічну характеристику вентилятора пункту діагностування отримаємо з розрахунку за формулою:

$$M_c = M_{co} + (M_{сн} + M_{co}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^x, \quad (3.3)$$

де M_{co} - момент зрушення вентилятора, який не залежить від швидкості обертання, Н·м;

$M_{сн}$ - момент статичних опорів вентилятора при номінальній швидкості обертання, Н·м;

ω - змінне значення кутової швидкості, рад/с

ω_n - номінальне значення кутової швидкості, рад/с;

x - коефіцієнт, який характеризує залежність моменту статичних опорів від швидкості; для вентилятора приймаємо $x = 2$.

$$M_{ch} = 9550 \cdot \frac{P_n}{n_n}; \quad (3.4)$$

$$M_{ch} = 9550 \cdot \frac{0,37}{2730} = 1,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30}; \quad (3.5)$$

$$\omega_n = \frac{3,14 \cdot 2730}{30} = 285 \text{ рад/с};$$

$$M_{co} = 0,15 \cdot M_{ch}; \quad (3.6)$$

$$M_{co} = 0,15 \cdot 1,3 = 0,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Результати розрахунку механічної характеристики вентилятора заносимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1.

Механічна характеристика вентилятора

ω , рад/с	0	4	95	1	19	2	
		7,5		42,5	0	37,5	85
M_c , Н·м	0,2	0,23	0,32	0,48	0,69	0,96	1, 3

Момент інерції, зведений до валу електродвигуна вентилятора:

$$j_{зв.} = j_{ротора} + j_{в.}, \quad (3.7)$$

де j - момент інерції вентилятора, $j_{в.} = 0,009 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

					02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.019.ПЗ	25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$j_{зв.} = 0,00076 + 0,009 = 0,00976 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Максимальний гранично допустимий момент інерції для вибраного електродвигуна:

$$j_{\max} = k \cdot k_m \cdot P_H^v \cdot p^\gamma, \quad (3.8)$$

де $k = 0,045$; $k_m = 0,9$; $v = 1$; $\gamma = 2$ для двигунів з висотою вісі 50...132 мм.

$$j_{\max} = 0,045 \cdot 0,9 \cdot 0,37 \cdot 1^2 = 0,03 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

$$j_{\max} \geq j_{зв.}$$

Механічну характеристику електродвигуна будуємо за п'ятьма характерними точками:

- | | |
|--------------------|--------------------------|
| 1) $s = 0$, | $M = 0$; |
| 2) $s = s_H$, | $M = M_H$; |
| 3) $s = s_{кр.}$, | $M = M_{кр.}$; |
| 4) $s = 0,8$, | $M = M_{\min}$; |
| 5) $s = 1$, | $M = M_{\text{пуск.}}$. |

$$M_H = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H}; \quad (3.9)$$

$$M_H = 9550 \cdot \frac{0,37}{2730} = 1,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{кр.} = M_H \cdot \mu_{кр.} = 1,3 \cdot 2,2 = 2,86 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.10)$$

$$M_{\min} = M_H \cdot \mu_{\min} = 1,3 \cdot 1,8 = 2,34 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.11)$$

$$M_{\text{пуск.}} = M_H \cdot \mu_{\text{пуск.}} = 1,3 \cdot 2,2 = 2,86 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.12)$$

$$s_H = \frac{n_c - n_H}{n_c}, \quad (3.13)$$

де n_c - синхронна частота обертання, $n_c = 3000 \text{ хв}^{-1}$.

$$s_H = \frac{3000 - 2730}{3000} = 0,09.,$$

$s_{кр.}$ визначаємо з формули механічної характеристики асинхронних електродвигунів:

$$M = \frac{2 \cdot M_{кр.}}{\frac{s}{s_{кр.}} + \frac{s_{кр.}}{s}}; \quad (3.14)$$

$$s_{кр.} = 0,5.$$

З урахуванням відхилення напруги на затискачах електродвигуна знаходимо уточнену механічну характеристику:

$$M'_H = 0,95 \cdot M_H = 0,95 \cdot 1,3 = 1,173 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (3.15)$$

$$M'_{кр.} = 0,95 \cdot M_{кр.} = 0,95 \cdot 2,86 = 2,58 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (3.16)$$

$$M'_{min} = 0,95 \cdot M_{min} = 0,95 \cdot 2,34 = 2,11 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (3.17)$$

$$M'_{пуск.} = 0,95 \cdot M_{пуск.} = 0,95 \cdot 2,86 = 2,58 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3.18)$$

За цією характеристикою визначаємо характеристику електродвигуна з урахуванням розкиду його параметрів. Приймаємо допустиме зменшення максимального моменту на 10 %, мінімального моменту - на 20 %, пускового моменту - на 15 %.

$$M''_{кр.} = 0,9 \cdot M'_{кр.} = 0,9 \cdot 2,58 = 2,32 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (3.19)$$

$$M''_{min} = 0,8 \cdot M'_{min} = 0,8 \cdot 2,11 = 1,69 \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (3.20)$$

$$M''_{пуск.} = 0,85 \cdot M'_{пуск.} = 0,85 \cdot 2,58 = 2,32 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (3.21)$$

Результати розрахунків занесені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2

Механічні характеристики електродвигуна

Точка	s	ω , рад/с	M , Н·м	M' , Н·м	M'' , Н·м
1	0	314	0	0	0
2	0,094	285	1,3	1,173	1,173

3	0,54	4	157	2,86	2,58	2,32
4	0,84		62,8	2,34	2,11	1,69
5	1		0	2,86	2,58	2,2

Динамічну характеристику електроприводу вентилятора отримуємо шляхом віднімання моменту опору робочої машини від моменту електродвигуна:

$$M_{\text{дин.і}} = M_{\text{дв.і}} - M_{\text{с.і}}, \quad (3.22)$$

де $M_{\text{дв.і}}$ - момент двигуна в і-тій точці, Н•м;

$M_{\text{с.і}}$ - момент опору вентилятора в і-тій точці, Н•м.

Оскільки під час пуску динамічний момент змінюється, для визначення часу розгону беремо невеликі прирости швидкості, у межах яких момент можна вважати приблизно сталим:

$$\Delta t_i = j_{\text{зв.}} \cdot \frac{\Delta \omega_i}{M_{\text{дин.і}}}. \quad (3.23)$$

Час пуску:

$$t_{\text{пуск.}} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i. \quad (3.24)$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3

Розрахунок часу пуску

ω , рад/с	47,1	47,1	47,1	47,1	47,1	47,1
$M_{\text{дин.ср.}}$, Н•м	1,73	1,5	1,7	1,77	1,26	0,56
T , с	0,328	0,378	0,334	0,32	0,45	1,013

$$t_{\text{пуск.}} = 0,328 + 0,378 + 0,334 + 0,32 + 0,45 + 1,013 = 2,822 \text{ с.}$$

Нагрівання електродвигуна за час пуску:

$$\Theta = \Theta_{\text{навк.}} + \vartheta_t \cdot t_{\text{пуск.}}, \quad (3.25)$$

де Θ - температура навколишнього середовища, $\Theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$;

ϑ_t - швидкість збільшення температури, $\vartheta_t = 5,9\text{ }^{\circ}\text{C/s}$.

$$\Theta = 20 + 5,9 \cdot 2,822 = 36,65\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Із наведеного розрахунку випливає, що нагрівання електродвигуна вентилятора під час пуску є незначним і не обмежує можливість його застосування у складі вентиляційної системи пункту діагностування кабельних ліній.

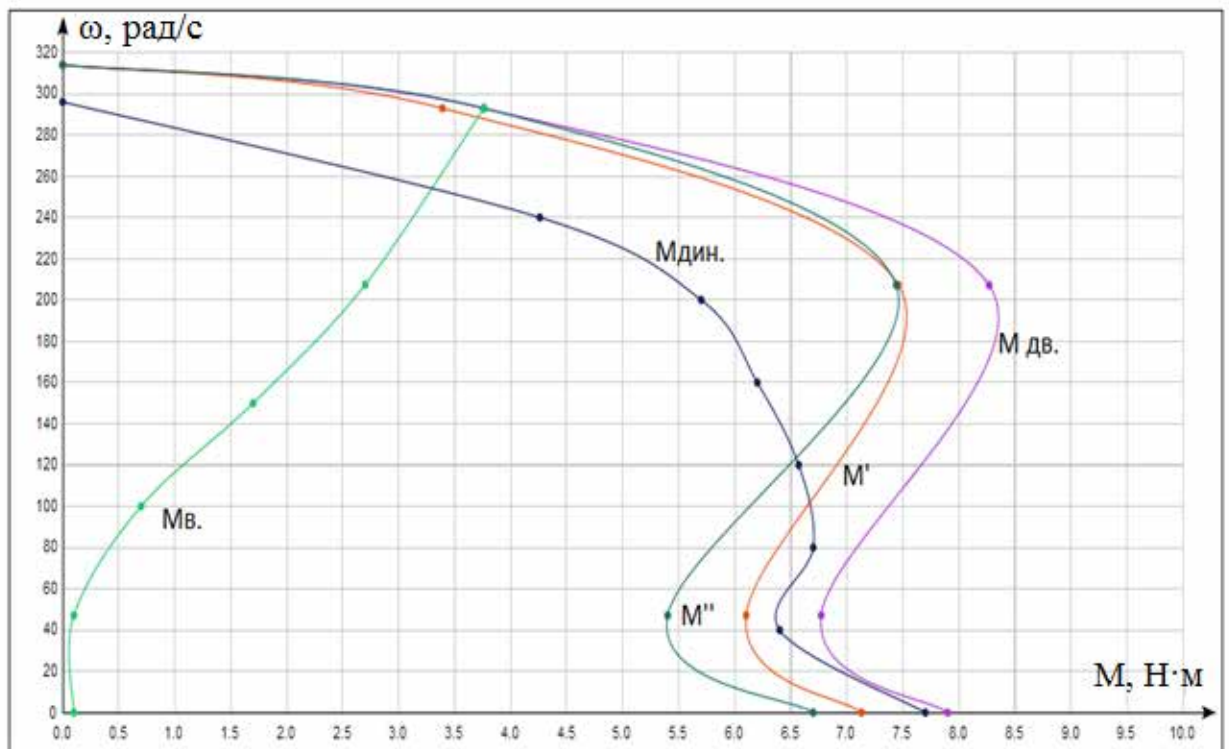


Рис. 3.1. Механічні характеристики електроприводу.

Апаратуру керування та захисту вибираємо за номінальними даними споживача: видом струму, напругою живильної мережі, кількістю контактів, вимикальною здатністю, частотою вмикань, умовами навколишнього середовища та категорією розміщення в пункті випробування кабельних ліній.

Для захисту електродвигуна вентилятора від перевантажень і коротких замикань вибираємо автоматичний вимикач. Вибір проводимо за такими умовами:

$$U_{a.v.} \geq U_{\text{мережі}}; \quad (3.26)$$

$$I_{a.v.} \geq I_{\text{н.дв.}}; \quad (3.27)$$

$$I_{\text{т.р.}} \geq I_{\text{н.дв.}}; \quad (3.28)$$

$$I_{\text{ел.магн.роз.}} \geq 12 \cdot I_{\text{н.дв.}}; \quad (3.29)$$

$$I_{\text{гр.вим.зд.}} \geq I_{\text{к.з.}}^{(3)} \quad (3.30)$$

Приймаємо автоматичний вимикач типу ВА47-29 УХЛЗ з такими номінальними даними:

$$U_{\text{н}} = 380 \text{ В}; \quad I_{\text{т.р.}} = 2 \text{ А}; \quad f = 50 \text{ Гц}; \quad I_{\text{н}} = 25 \text{ А}; \quad I_{\text{ел.магн.роз.}} = 20 \text{ А}.$$

Для дистанційного керування електродвигуном вентилятора та його захисту від перевантажень вибираємо електромагнітний пускач серії ПМЛ з тепловим реле серії РТЛ, виходячи з умов:

$$U_{\text{н.п.}} \geq U_{\text{мережі}}; \quad (3.31)$$

$$I_{\text{н.п.}} \geq I_{\text{н.дв.}}; \quad (3.32)$$

$$I_{\text{уст.т.р.}} \geq I_{\text{н.дв.}}; \quad (3.33)$$

$$U_{\text{кот.}} \geq U_{\text{кола керув.}} \quad (3.34)$$

Приймаємо магнітний пускач типу ПМЛ - 1230002А ТУ16.644.001-83 з тепловим реле серії РТЛ 1005 - О4 з номінальними даними: $U_{\text{н.п.}} = 380 \text{ В}; \quad I_{\text{н.п.}} = 10 \text{ А}; \quad U_{\text{кот.}} = 220 \text{ В}; \quad I_{\text{уст.т.р.}} = 1 \text{ А}; \quad I_{\text{н.т.р.}} = 25 \text{ А}.$

3.2. Вибір силових електропроводок та розподільчих пристроїв

Переріз струмоведучих проводів і кабелів пункту діагностування вибираємо за умовою тривало допустимого нагріву, механічної міцності та відповідності робочому струму підключених електроприймачів:

$$I_{\text{тр.доп.}} \geq I_{\text{мах. тр.доп.}} \quad (3.35)$$

де $I_{\text{тр.доп.}}$ - тривало допустимий струм нагріву проводу, А;

$I_{\text{мах.доп.}}$ - максимальний довгостроковий допустимий робочий струм лінії А.

Проведемо розрахунок і вибір проводки для двигуна вентилятора. Електродвигун працює з постійним навантаженням, тому за максимальний робочий струм приймаємо його номінальний струм:

$$I_{\text{max.тр.доп}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi}; \quad (3.36)$$

$$I_{\text{max.тр.доп}} = \frac{0.37 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.72 \cdot 0.86} = 0.925 \text{ А.}$$

Приймаємо провід марки ПВ1 з мідними жилами. Проводка прокладається у сталевих водогазопровідних трубах під підлогою. Переріз струмоведучої жили $S = 1 \text{ мм}^2$. Для цього перерізу $I_{\text{тр.доп}} = 14 \text{ А}$, що забезпечує необхідний запас за струмом. Приймаємо провід ПВ1(1×4).

Внутрішній діаметр труби:

$$D \geq 1,5 \cdot d, \quad (3.37)$$

де d - діаметр проводу, мм.

Для проводу ПВ1 трижильного з заземлюючою жилою діаметр складає $d = 9 \text{ мм}$, отже:

$$D > 1,5 \cdot 9 = 13,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо трубу з найближчим стандартним значенням внутрішнього діаметра 15 мм.

Аналогічно вибираємо силові проводи для інших електроприймачів пункту діагностування. Живлення випробувальної установки, вентиляційного обладнання, робочих верстаків та допоміжних приладів здійснюється від розподільних шаф типу ШРС1 із запобіжниками НПН2 і розподільного щита типу ПРІІ. Для електродвигунів передбачаються електромагнітні пускачі типу ПМЛ із тепловими реле типу РТЛ та кнопками керування.

Підключення пересувних і переносних електроприймачів, зокрема електроінструменту для підготовки кабельної арматури, передбачається від силових ящиків зі штепсельними роз'ємами типу РШ-30 і ШГП-10.

Розподільна частина виконується кабелем АВВГ, який прокладають по будівельних конструкціях на скобах, та проводом АПВ і ПВ1 у поліетиленових і водогазопровідних легких трубах. Для вводу приймається триполюсний вимикач ВА 47-33 до 160 А. Лінійні вимикачі приймаються триполюсні ВА 47-29 на номінальний струм до 25 А, що відповідає навантаженням пункту діагностування кабельних ліній.

3.3. Вибір освітлення і вибір освітлювальних проводок та щитків

При проектуванні виробничого приміщення пункту діагностування та післяремонтних випробувань кабельних ліній передбачається робоче, аварійне та переносне освітлення. Напруга робочого і аварійного освітлення становить 220 В, переносного - 36 В.

Робоче і чергове освітлення передбачається світильниками типу ПВЛМ-Р, ЛСП18, НСП11, НСП03; переносне освітлення - світильниками типу РВО-42УХЛ4 через ящики з понижувальним трансформатором ЯТП-0,25.

Штучне освітлення робочих місць пункту діагностування повинно виконувати такі вимоги:

- забезпечувати необхідну та стабільну освітленість зон підготовки кабельних жил, монтажу муфт і виконання вимірювань;
- не створювати різких тіней, засліплення та значної нерівномірності освітлення робочої поверхні;

Проектом передбачається загальна та комбінована системи освітлення.

При комбінованій системі використовується загальне освітлення приміщення та місцеве освітлення окремих робочих місць, де виконуються підготовка кабельної ізоляції, маркування жил і оформлення результатів випробувань.

Розрахунок освітлення ведемо методом коефіцієнта використання світлового потоку, перевірку виконуємо точковим методом.

					02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.019.ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір освітлювальних установок виконуємо з урахуванням умов навколишнього середовища, характеру робіт і вимог до точності візуального контролю кабельної арматури.

Розміри пункту діагностування кабельних ліній $9 \times 4,5 = 36 \text{ м}^2$.

Для освітлення використовуємо люмінесцентні лампи, які мають такі переваги:

- висока світловіддача і великий строк служби;
- мала собівартість;
- спектральний склад випромінювання, який забезпечує високу якість кольоропередачі;
- низька яскравість та температура поверхні лампи.

Приймаємо світильники типу ПВЛМ-1 80.

Для прийнятого типу світильника приймаємо значення найкращої відносної відстані між світильниками:

$$L = \lambda \cdot H_p, \quad (3.38)$$

де λ - найкраща відносна відстань в залежності від типу кривої сили світла світильника, $\lambda = 1,4 \dots 1,6$;

H_p - розрахункова висота підвісу світильників, м.

$$H_p = H - (h_c + h_p), \quad (3.39)$$

де H - висота приміщення, $H = 4,5 \text{ м}$;

h_c - відстань від світильників до стелі, м;

h_p - рівень робочої поверхні над підлогою, $h_p = 1 \text{ м}$.

$$h_c = (0,2 \dots 0,25) \cdot H; \quad (3.40)$$

$$H_p = 4,5 - (0,2 \cdot 4,5 + 1) = 2,6 \text{ м};$$

$$L = 1,4 \cdot 2,6 = 3,64 \text{ м}.$$

Визначаємо кількість світильників у ряду, кількість рядів і загальну кількість світильників:

$$n_a = a/L; \quad n_b = b/L; \quad N = n_a \cdot n_b. \quad (3.41)$$

де a і b - довжина та ширина приміщення, м;

n_a - кількість світильників в ряду, шт.;

n_b - кількість рядів світильників, шт.;

N - загальна кількість світильників, шт.;

$$n_a = 9 / 3,64 = 2,47 \approx 3 \text{ шт.};$$

$$n_b = 6 / 3,64 = 1,65 \approx 2 \text{ шт.};$$

$$N = 3 \cdot 2 = 6 \text{ шт.}$$

Визначення потужності лампи за розрахунковим світловим потоком:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (3.42)$$

де E - нормована (мінімальна) освітленість, лк;

k - коефіцієнт запасу, для люмінесцентних ламп $k = 1,3$;

S - площа приміщення, m^2 ;

Z - коефіцієнт нерівномірності освітлення, $z = 1,1$;

η - коефіцієнт використання світлового потоку, відн.од.

Коефіцієнт використання світлового потоку залежить від типу світильника, коефіцієнтів відбиття стелі ρ_c , стін $\rho_{ст.}$, робочої поверхні ρ_p .

Індекс приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{H_p \cdot (a + b)}, \quad (3.43)$$

$$i = \frac{9 \cdot 6}{2,6 \cdot (9 + 6)} = 1,385.$$

Значення коефіцієнта використання світлового потоку для світильника ПВЛМ-1 80 при $\rho_c = 50 \%$, $\rho_{ст.} = 30 \%$, $\rho_p = 10 \%$ дорівнює $\eta = 0,44$ відн.од.

Розрахунковий світловий потік лампи:

$$\Phi = 200 \cdot 1,3 \cdot 36 \cdot 1,1 / 6 \cdot 0,44 = 3900 \text{ лм.}$$

Приймаємо люмінесцентну лампу з світловим потоком $\Phi_{л.} = 3980$ лм типу ЛТБ 80 ДСТУ 6825-04.

Фактична освітленість:

$$E_{\phi} = E \cdot \Phi_{\text{л}} / \Phi; \quad (3.44)$$

$$E_{\phi} = 200 \cdot 3980 / 3900 = 204 \text{ лк.}$$

Відхилення фактичної освітленості від нормованої:

$$\Delta E = ((E_{\phi} - E) / E) \cdot 100; \quad (3.45)$$

$$\Delta E = ((204 - 200) / 200) \cdot 100 = 2 \%,$$

що задовільняє допустиме відхилення $-10 \% \dots +20 \%$.

Встановлена потужність:

$$P = P_{\text{л}} \cdot N, \quad (3.46)$$

де $P_{\text{л}}$ - потужність однієї лампи, $P_{\text{л}} = 0,065 \text{ кВт}$. $P = 0,065 \cdot 6 = 0,39 \text{ кВт}$.

Питома потужність:

$$P_{\text{пит.}} = P \cdot 1000 / S; \quad (3.47)$$

$$P_{\text{пит.}} = 0,39 \cdot 1000 / 36 = 10,8 \text{ Вт/м}^2.$$

Перевірочний розрахунок освітленості виконуємо точковим методом.

Контрольні точки намічаємо на робочій поверхні з імовірними мінімальними та максимальними освітленостями у зонах підготовки кабелю та виконання вимірювань.

Розрахункова формула:

$$E = (I_{\alpha} \cos^3 \alpha) / (H_p^2 \cdot k), \quad (3.48)$$

де E - горизонтальна освітленість в точці розрахунку, лк;

α - кут між віссю симетрії світильника та напрямком до точки розрахунку, град;

I_{α} - сила світла в напрямку до точки розрахунку, кд;

k - коефіцієнт запасу.

За розрахункову приймаємо точку на робочому місці 1.

α

H_p .

$$d = 1,2 \text{ м.}$$

$$\alpha = \arctg d / H_p; \quad (3.49)$$

$$\alpha = 50^0; \quad \cos^3 \alpha = 0.749.$$

$$I_\alpha = (I_\alpha)_T \cdot \Phi_{\text{л.}} / 1000, \quad (3.50)$$

де $(I_\alpha)_T$ - сила світла світильника з умовною лампою 1000 лм,

$$(I_\alpha)_T = 600 \text{ кд};$$

$$I_\alpha = 600 \cdot 3980 / 1000 = 2388 \text{ кд.}$$

Освітленість в точці розрахунку:

$$E = (2388 \cdot 0,749) / (2,6^2 \cdot 1,3) = 203,5 \text{ лк.}$$

Результати розрахунку точковим методом підтвердили правильність розрахунку методом коефіцієнта використання світлового потоку. Прийнята система освітлення забезпечує нормативні умови для візуального контролю оболонки, жил, муфт і маркування кабельних ліній.

3.4. Перевірка захисних апаратів на спрацювання при струмах короткого замикання за гранично-вимикальною здатністю

У мережах напругою 0,38 кВ з глухозаземленою нейтраллю пункту діагностування можуть виникати однофазні, двофазні і трифазні короткі замикання.

Захисні апарати перевіряють за найбільшими та найменшими значеннями струмів трифазного і однофазного короткого замикання, що дає змогу оцінити як вимикальну здатність апарата, так і його чутливість у найбільш віддаленій точці мережі.

При захисті кіл автоматичними вимикачами, які мають електромагнітний розчіплювач, необхідно, щоб у петлі фазний провід - нульовий провід струм короткого замикання відповідав умові:

$$I_K \geq k_z \cdot k_p \cdot I_{\text{відс.}}, \quad (3.51)$$

де k_3 - коефіцієнт запасу, $k_3 = 1,1$;

k_p - коефіцієнт розкиду струму спрацювання відсічки, для автоматів
з $I_n \leq 100 \text{ A}$ $k_p = 1,4$, з $I_n \geq 100 \text{ A}$ $k_p = 1,25$;

$I_{\text{відс.}}$ - струм відсічки електромагнітного розчіплювача, А.

Проведемо перевірку чутливості захисту автоматичного вимикача найбільшого за потужністю електродвигуна технологічного обладнання пункту діагностування при струмі однофазного короткого замикання.

Двигун захищений від короткого замикання автоматичним вимикачем ВА 47-29 з такими даними:

$$I_n = 16 \text{ A};$$

$$I_{n.p.} = 1,0 \text{ A};$$

$$I_{\text{відс.}} = 12 \cdot I_{n.p.};$$

$$I_{\text{гр.ком.}} = 0,7 \text{ кА.}$$

Згідно з ПУЕ струм однофазного короткого замикання визначаємо за наближеною формулою:

$$I_k^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_{\text{т.к.}}}{3} + Z_\Pi}, \quad (3.52)$$

де $Z_{\text{т.к.}}$ - повний опір трансформатора струмові замикання на корпус, Ом;

Z_Π - опір петлі фазний провід - нульовий провід, Ом.

Повний опір трансформатора струмові замикання на корпус:

$$\frac{Z_{\text{т.к.}}}{3} \approx \frac{26}{S_n}, \quad (3.53)$$

де S_n - номінальна потужність трансформатора, кВ-А.

$$\frac{Z_{\text{т.к.}}}{3} \approx \frac{26}{250} = 0,104 \text{ Ом.}$$

Струм однофазного короткого замикання визначають у найбільш віддаленій точці мережі пункту діагностування кабельних ліній.

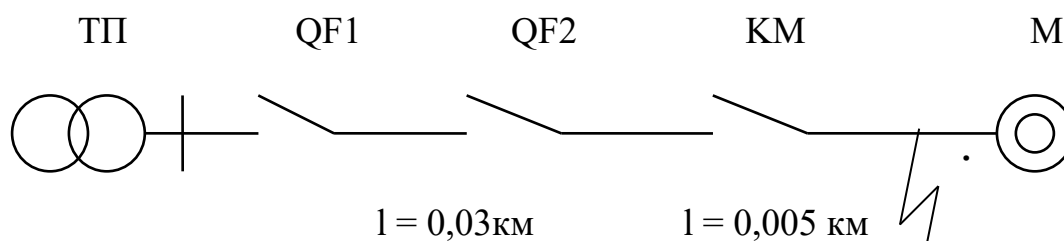


Рис. 3.2. Електрична схема для розрахунку струму короткого замикання в мережі пункту діагностування кабельних ліній.

Опір петлі фазний провід - нульовий провід:

$$z_{\Pi} = \sqrt{(\sum R_{\Pi})^2 + (\sum X)^2}, \quad (3.54)$$

де $\sum R_{\Pi}$ - сума активних опорів окремих елементів петлі, Ом;

$\sum X_{\Pi}$ - сума реактивних опорів окремих елементів петлі, Ом;

В нашому випадку:

$$\sum R = R_{\phi} + R_{\Pi} + R_{\text{конт}}, \quad (3.55)$$

$$\sum X = 2 \cdot x'_{\phi.\Pi} - x'_{\phi.\phi} - x'_{\Pi.\Pi} + x''_{\phi} + x''_{\Pi}, \quad (3.56)$$

де R_{ϕ} , R_{Π} - відповідно активні опори фазного та нульового проводів
(для даного випадку $R_{\phi} = R_{\Pi}$), Ом;

$R_{\text{конт}}$ - активний опір контактів, $R_{\text{конт}} = 0,075$ Ом;

$x'_{\phi.\Pi}$ - зовнішній опір одиночного проводу, обумовлений
взаємоіндукцією між фазним і нульовим проводами, Ом;

$x'_{\phi.\phi}$, $x'_{\Pi.\Pi}$ - зовнішні індуктивні опори самоіндукції, які залежать від
геометричних розмірів фазного і нульового проводів (для
даного випадку $x'_{\phi.\phi}$, $x'_{\Pi.\Pi} = 0$ Ом);

x''_{ϕ} і x''_{Π} - внутрішні індуктивні опори, які залежать від ступеня
проявлення поверхневого ефекту в металі, Ом.

Активний опір проводів для внутрішніх проводок при температурі 20°C
визначаємо за формулою:

$$R_{20} = \rho \cdot \frac{l}{S}, \quad (3.57)$$

де ρ - питомий опір металу при постійному струмі і температурі 20°C,

$\rho = 31,4 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{км}$ для алюмінієвих проводів;

l - довжина проводу, $l = 1,3 \text{ км}$;

s - площа поперечного перерізу проводу, $s = 2,5 \text{ мм}^2$.

$$R_{20} = 31,4 \cdot \frac{0,35}{2,5} = 4,4 \text{ Ом.}$$

Активний опір проводів внутрішніх проводок приведемо до розрахункової (максимально допустимої) температури:

$$R_t = R_{20} \cdot k_t = R_{20} \cdot \left[1 + \frac{\alpha}{p} \cdot (t - t_{20}) \right], \quad (3.58)$$

де α - температурний коефіцієнт електричного опору, $\alpha = 0,004$;

p - коефіцієнт, що враховує залежність між проявленням поверхневого ефекту і температурою, $p = 1$;

t - розрахункова температура металу, $t = 65^\circ \text{C}$;

t_{20} - початкова температура, $t_{20} = 20^\circ \text{C}$.

$$R_t = 4,4 \cdot \left[1 + \frac{0,004}{1} \cdot (65 - 20) \right] = 5,2 \text{ Ом.}$$

Зовнішній індуктивний опір проводів:

$$x'_{\text{ф.н}} = 0,145 \cdot l \cdot \lg l_{\text{ф.н}}, \quad (3.59)$$

де $l_{\text{ф.н}}$ - відстань між нульовим та фазним проводом, $l = 2 \text{ мм}$;

$$x'_{\text{ф.н}} = 0,145 \cdot 0,35 \cdot \lg 2 = 0,015 \text{ Ом.}$$

Внутрішній індуктивний опір проводів:

$$x'' = \pi \cdot f \cdot \mu \cdot l \cdot 10^{-4}, \quad (3.60)$$

де μ - магнітна проникність металу (для кольорових металів

$\mu = 1 \text{ Г/км}$);

f - частота змінного струму, $f = 50 \text{ Гц}$.

$$x'' = 3,14 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 10^{-4} = 0,0157 \text{ Ом,}$$

Опір петлі фазний провід – нульовий провід:

$$z_{\Pi} = \sqrt{(5,2 + 5,2 + 0,075)^2 + (2 \cdot 0,015 + 0,0157)^2} = 10,5 \text{ Ом.}$$

Визначимо струм короткого замикання:

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{220}{0,104 + 10,5} = 21 \text{ А.}$$

$$21 \geq 1,1 \cdot 1,4 \cdot 12 \cdot 1,0 = 18,5 \text{ А.}$$

Умова виконується.

Перевіримо автоматичний вимикач типу ВА 47-29 за гранично-вимикальною здатністю, виходячи з умови:

$$I_{\text{Гр.вим.}} \geq I_{\kappa}^{(3)}, \quad (3.61)$$

де $I_{\text{Гр.вим.}}$ - граничний струм, який здатний вимкнути автоматичний вимикач, А;

$I_{\kappa}^{(3)}$ – струм трифазного короткого замикання, А.

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(\sum R_{\kappa})^2 + (\sum x_{\kappa})^2}}, \quad (3.62)$$

де $U_{\text{л}}$ - лінійна напруга (при розрахунках приймають рівною 400 В);

$\sum R, \sum x$ – відповідно суми активних та реактивних складових

опору кола трифазного короткого замикання, Ом.

$$\begin{aligned} \sum R_{\kappa} &= R_{\text{т}} + R_{\text{ф}}; \\ \sum x_{\kappa} &= x_{\text{т}} + x_{\text{ф}}, \end{aligned} \quad (3.63)$$

де $R_{\text{т}}$ і $x_{\text{т}}$ - відповідно активна та реактивна складові повного опору $z_{\text{т}}$ трансформатора при трифазному короткому замиканні, Ом;

$R_{\text{ф}}$ і $x_{\text{ф}}$ - відповідно активний та реактивний опори проводів до точки короткого замикання, $R_{\text{ф.}} = 5,2 \text{ Ом}$, $x_{\text{ф.}} = 0,0307 \text{ Ом}$.

Значення параметрів $z_{\text{т}}$, $R_{\text{т}}$, $x_{\text{т}}$ визначаємо за формулами:

$$z_{\kappa} = \frac{u_{\kappa} \% \cdot U_{\text{л}}^2}{100 \cdot S_{\text{н}}}; \quad (3.64)$$

$$R_k = \frac{\Delta P_{k.з.} \cdot U_{л}^2}{S_H^2}; \quad (3.65)$$

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - R_T^2}, \quad (3.66)$$

де S_H - номінальна потужність трансформатора, В·А;

$u_k \%$ - напруга короткого замикання трансформатора, $u_k \% = 4,5 \%$;

$\Delta P_{k.з.}$ - втрати короткого замикання трансформатора, $\Delta P_{k.з.} = 4200 \text{ Вт}$.

$$z_k = \frac{4,5 \cdot 380^2}{100 \cdot 250000} = 0,026 \text{ Ом};$$

$$R_{\square} = \frac{4200 \cdot 380^2}{250000^2} = 0,01 \text{ м}^{\prime\prime};$$

$$x_T = \sqrt{0,026^2 - 0,01^2} = 0,024 \text{ Ом}.$$

$$I_{к.}^{(3)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,01 + 5,2)^2 + (0,024 + 0,0307)^2}} = 42,1 \text{ А}.$$

Умова виконується: $700 > 42,1$.

Автоматичний вимикач вибрано правильно. Отже, прийнята схема захисту забезпечує вимкнення пошкодженої ділянки мережі пункту діагностування кабельних ліній при короткому замиканні та відповідає вимогам електробезпеки.

4. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПІСЛЯРЕМОНТНИХ ВИПРОБУВАНЬ СИЛОВИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ

4.1. Технічні передумови діагностування силових кабельних ліній

Силові кабельні лінії є одним з основних елементів систем розподілу електричної енергії, тому їх технічний стан безпосередньо впливає на надійність електропостачання споживачів. Після виконання ремонтних робіт, заміни з'єднувальних або кінцевих муфт, відновлення оболонки, ремонту екрана чи пошуку місця пошкодження кабельна лінія не може бути введена в роботу лише за результатами зовнішнього огляду. Необхідно виконати комплекс післяремонтних випробувань, який підтверджує цілісність жил, правильність фазування, справність ізоляції, працездатність оболонки та відсутність пробою під дією випробувальної напруги.

Для теми роботи доцільно розглядати силові кабельні лінії з ізоляцією із зшитого поліетилену, оскільки саме такі кабелі широко застосовуються в мережах середньої напруги. У порівнянні з паперово-просоченою ізоляцією кабелі XLPE мають кращі електричні та теплові властивості, однак потребують правильної методики контролю. Особливо важливо враховувати, що післяремонтні випробування постійною напругою для кабелів із зшитого поліетилену є небажаними через залишкову поляризацію та можливе прискорення деградації ізоляції.

Удосконалена технологія діагностування має базуватися на поєднанні декількох контрольних операцій: перевірки документації та траси, огляду муфт і кабельних наконечників, вимірювання опору ізоляції, випробування оболонки, пошуку місць пошкоджень, випробування змінною напругою наднизької частоти 0,1 Гц, а також оформлення протоколу з висновком про можливість подальшої експлуатації лінії.

Таблиця 4.1

**Порівняльні характеристики силових кабелів з різними типами ізоляції
на напругу 1 кВ**

Матеріал ізоляції	Зшитий ПЕ	Паперово-просочена ізоляція	ПВХ
1. Нагревостойкість ізоляції			
1.1 Тривало допустима температура нагріву жил, °С	90	80	70
1.2 Допустима температура при роботі в аварійному режимі (6 годин), °С	130	105	80
1.3 Гранично допустима температура жил при к.з, °С	250	200	160
2. Допустимі струмові навантаження в залежності від перетину жили	120—125%	105—110%	100%
3. Відносна діелектрична проникність, 20°С	2,3	4,0	4,5
4 Питомий об'ємний опір, 20°С; Ом*см	10 ¹⁶	10 ¹³	10 ¹³
5. Тангенс діелектричних втрат, 20°С	0,001	0,008	0,01
6. Мінімально допустима температура прокладки без попереднього підігріву жив, °С	–20 (для АПвБбШп, ПвБбШп) – 15 (інші)	0	–15
7. Мінімальний радіус вигину (Dн - зовнішній діаметр кабелю, мм)	7,5*Dн	15 * Dн - для кабелів у свинцевій оболонці, 25 * Dн - для інших кабелів	7,5*Dн
8. Різниця рівнів на трасі прокладки, м	Не обмежено	15	Не обмежено

З таблиці 4.1 видно, що зшитий поліетилен має вищу допустиму температуру нагріву жил, менший тангенс діелектричних втрат і вищу термічну стійкість у режимі короткого замикання. Це підвищує допустиме струмове навантаження кабельної лінії та зменшує ймовірність теплового пошкодження ізоляції за умови правильного монтажу і експлуатації.

4.2. Конструктивні особливості кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену

Конструкція кабелю з ізоляцією із зшитого поліетилену визначає склад діагностичних операцій після ремонту. Основними елементами такого кабелю є струмопровідна жила, внутрішній напівпровідниковий шар, основна ізоляція XLPE, зовнішній напівпровідниковий шар, металевий екран і захисна оболонка. Кожний з цих елементів може бути джерелом дефекту, тому післяремонтна перевірка повинна охоплювати не тільки основну ізоляцію, а й оболонку, екран, муфтові з'єднання та заземлення екранів.

Внутрішній та зовнішній напівпровідникові шари вирівнюють електричне поле в ізоляції. Порушення їхньої однорідності, пошкодження під час монтажу муфти або потрапляння вологи створюють місцеві підвищення напруженості електричного поля. Саме в таких зонах можуть виникати часткові розряди, водні триінги та поступова деградація полімерної ізоляції.

Таблиця 4.2

Порівняльні характеристики кабелів із зшитого поліетилену та паперово-просоченою ізоляцією на напругу 10–35 кВ

Матеріал ізоляції	Зшитий ПЕ	Паперово-просочена ізоляція
1. Нагревостойкість ізоляції		
1.1 Тривало допустима температура нагріву жил, °C	90	60
1.2 Допустима температура при роботі в аварійному режимі (6 годин), °C	130	80
1.3 Гранично допустима температура жил при к.з, °C	250	200
2. Допустимі струмові навантаження в залежності від перетину жили	120—130%	100%

3. Відносна діелектрична проникність, 20°C	2,3	4,0
4 Питомий об'ємний опір, 20°C; Ом*см	10 ¹⁶	10 ¹³
5. Тангенс діелектричних втрат, 20°C	0,001	0,008
6. Мінімально допустима температура прокладки без попереднього підігріву жив, °C	-20 (для ПвП, АПвП, ПвПу, АПвПу) -15 (для ПвВ, АПвВ, ПвВнг-LS, АПвВнг-LS)	0
7. Мінімальний радіус вигину (Dн - зовнішній діаметр кабелю, мм)	15*Dн (7,5*Dн при використанні спеціального шаблону)	15 * Dн - для кабелів у свинцевій оболонці, 25 * Dн - для інших кабелів
8. Різниця рівнів на трасі прокладки, м	Не обмежено	15

Наведені в таблиці 4.2 дані підтверджують, що для кабелів середньої напруги зшитий поліетилен має вищу тривало допустиму температуру нагрівання жил, менші діелектричні втрати та відсутність обмеження за різницею рівнів на трасі. Це важливо для післяремонтного діагностування, оскільки кабельна лінія може експлуатуватися в складних умовах прокладання, а дефект оболонки або муфти тривалий час не проявляється аварійним вимкненням.

Для кабельної лінії з ізоляцією XLPE номінальна робоча температура жил приймається до 90 °C, аварійна короточасна температура – до 130 °C, а гранична температура в режимі короткого замикання може досягати 250 °C. Після ремонту необхідно перевірити, чи не було термічного пошкодження ізоляції та екрана, оскільки локальний перегрів у муфті або в місці пошкодження оболонки різко скорочує залишковий ресурс лінії.

4.3. Аналіз типових пошкоджень силових кабельних ліній

Пошкодження силових кабельних ліній мають різну природу. До них належать механічні дефекти оболонки, порушення технології прокладання,

дефекти монтажу муфт, пошкодження екрана, порушення цілісності жили, проникнення вологи, старіння ізоляції та утворення часткових розрядів. Для післяремонтного контролю особливо важливим є визначення того, чи усунуто не лише основний дефект, а й супутні пошкодження, які могли виникнути під час аварії або ремонту.

Найпошкоджуванішим елементом кабелю з ізоляцією із зшитого поліетилену є зовнішня захисна оболонка. Її механічне пошкодження не завжди одразу призводить до пробоя основної ізоляції, однак створює умови для проникнення вологи до металевго екрана і напівпровідникових шарів. Надалі це викликає корозію, зростання струмів витоку, виникнення водних триінгів і зменшення електричної міцності ізоляції.

Окрему групу становлять дефекти після ремонту: неправильне відновлення екрана, недостатнє ущільнення муфти, порушення радіуса вигину, забруднення ізоляційної поверхні під час монтажу, нерівномірне обтискання кабельного наконечника або помилкове фазування жил. Саме тому післяремонтні випробування мають виконуватися за чітким алгоритмом, а їх результати мають бути оформлені протоколом.

Таблиця 4.3

Типові дефекти кабельної лінії та методи їх післяремонтного контролю

Елемент кабельної лінії	Типовий дефект	Діагностична ознака	Метод контролю
Основна ізоляція XLPE	Водний або електричний триінг, часткові розряди	Пробій під час СНЧ-випробування, нестабільні параметри	СНЧ 0,1 Гц, часткові розряди
Захисна оболонка	Прокол, поріз, порушення герметичності	Струм витоку між екраном і землею	Випробування оболонки 5–10 кВ, метод крокової напруги
Металевий екран	Обрив або корозія	Нерівномірний струморозподіл, погане заземлення	Вимірювання опору, перевірка заземлення

З'єднувальна муфта	Помилка монтажу, волога, забруднення	Локальний перегрів, пробій, ЧР	Огляд, тепловізійний контроль, СНЧ-випробування
Жила кабелю	Пошкодження або поганий контакт	Підвищений активний опір	Вимірювання опору жил постійному струму

З таблиці 4.3 випливає, що одна діагностична операція не може повністю охарактеризувати стан кабельної лінії. Наприклад, вимірювання опору ізоляції не завжди виявляє початковий дефект у полімерній ізоляції, а випробування оболонки не дає повної інформації про стан основного діелектричного шару. Тому технологію післяремонтного контролю доцільно будувати як комплекс взаємодоповнювальних операцій.

4.4. Методи визначення місця пошкодження кабельної лінії

Після виявлення дефекту кабельної лінії необхідно визначити його місце з достатньою точністю, щоб мінімізувати обсяг земляних робіт і скоротити тривалість відновлення електропостачання. Для попереднього визначення відстані до пошкодження застосовують імпульсний, імпульсно-дуговий та петльовий методи. Для точного визначення місця дефекту на трасі використовують акустичний метод і метод крокової напруги.

Імпульсно-дуговий метод доцільний для попередньої локалізації пошкоджень основної ізоляції. Він базується на створенні дугового розряду в місці дефекту та аналізі відбитого імпульсу. Акустичний метод застосовується для уточнення місця пошкодження безпосередньо на трасі за звуком розряду. Пошкодження захисної оболонки зручно визначати методом крокової напруги, коли випробувальна напруга подається між металевим екраном і землею, а оператор за допомогою вимірювальних електродів визначає місце найбільшого градієнта потенціалу.

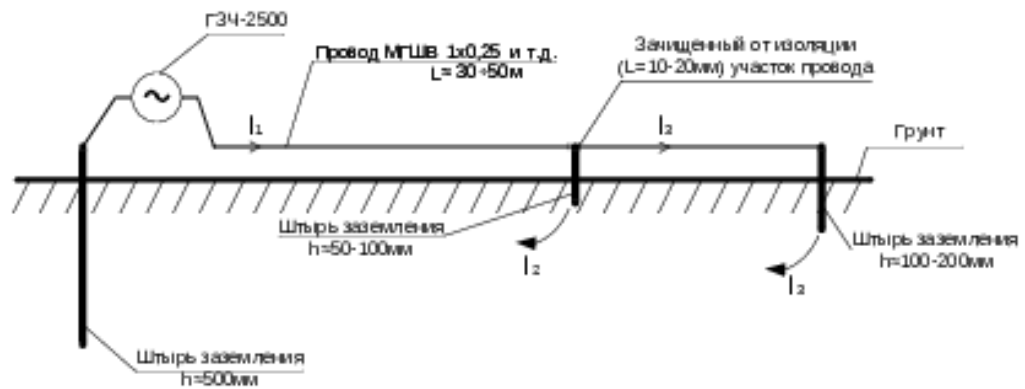


Рис.4.1. Схема визначення місця пошкодження оболонки кабелю методом крокової напруги

На рисунку 4.1 показано принцип пошуку пошкодження оболонки кабельної лінії. Напруга подається між металевим екраном кабелю та землею, а струм витoku замикається через місце пошкодження оболонки. За зміною потенціалу на поверхні ґрунту визначають ділянку, у якій розташовано дефект.

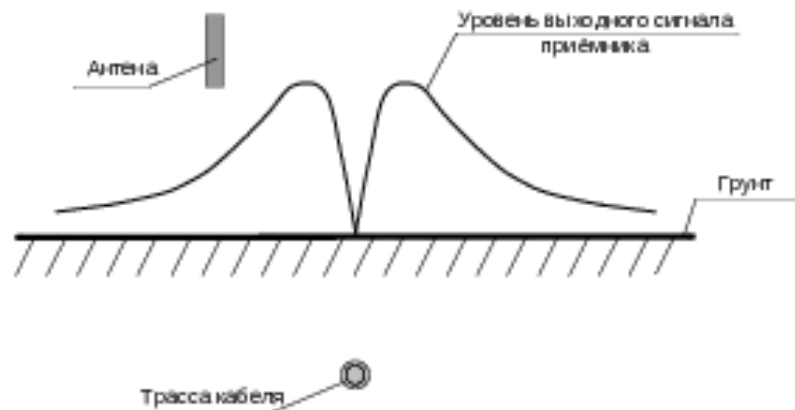


Рис. 4.2. Характер зміни прийнятого сигналу під час акустичного пошуку пошкодження

Акустичний метод доцільно застосовувати після попереднього визначення відстані до дефекту. У місці пошкодження виникає розряд, який створює механічну хвилю. Максимум прийнятого сигналу відповідає зоні розташування дефекту, що дозволяє уточнити місце розкриття траси.

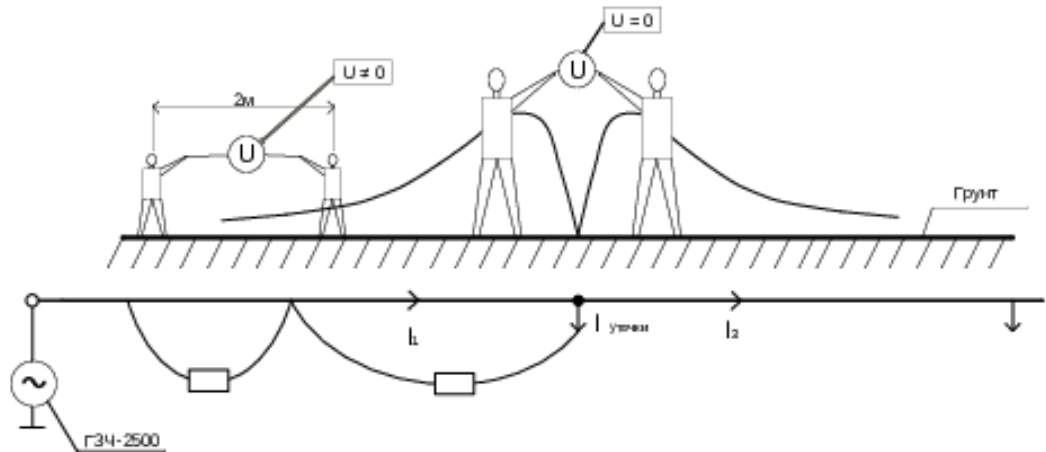


Рис. 4.3. Схема пошуку пошкодження оболонки за розподілом потенціалу на поверхні ґрунту

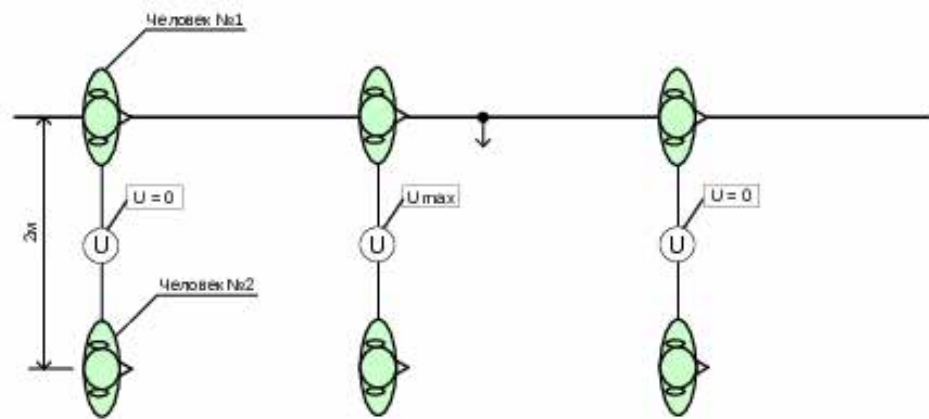


Рис. 4.4. Визначення точки максимального потенціалу при пошуку дефекту оболонки

Схеми на рисунках 4.3 і 4.4 доцільно використовувати під час уточнення місця пошкодження оболонки після попереднього визначення ділянки дефекту. У зоні пошкодження спостерігається найбільша різниця потенціалів, а після проходження цієї точки знак вимірюваної напруги змінюється. Це дає змогу локалізувати дефект без додаткового пошкодження кабельної траси.

4.5. Післяремонтні випробування та оцінювання технічного стану кабельної лінії

Після виконання ремонтних робіт кабельна лінія підлягає обов'язковим приймально-здавальним або післяремонтним випробуванням. До їх складу входять перевірка цілісності та фазування жил, вимірювання опору ізоляції, випробування основної ізоляції підвищеною напругою, випробування оболонки, визначення активного опору жил, контроль струмозподілу по одножильних кабелях та перевірка заземлювальних пристроїв.

Для кабельних ліній із зшитого поліетилену найбільш доцільним є застосування змінної напруги наднизької частоти 0,1 Гц. Такий режим зменшує ємнісний струм випробувального об'єкта, дозволяє використовувати переносні випробувальні установки та не створює залишкової поляризації, характерної для випробувань постійною напругою.

Таблиця 4.4

Нормативні значення випробувальної напруги для кабельних ліній

Вид випробувальної напруги	Значення випробної напруги, кВ, для силових кабелів на номінальну напругу, кВ									Трива- лість випро- бувань, хв
	До 1	2	3	6	10	15	20	30	35	
КЛ з паперовою ізоляцією										
Випрямлена напруга	2,5	12	18	36	60	—	100 ¹⁾	—	140 ¹⁾	10
Змінна напруга наднизької частоти 0,1 Гц спеціальної форми (косинусний прямокутник)	—	3,6	5,4	11	18	—	36	—	60	30

Таблиця 4.5

Значення випробувальної напруги для кабельних ліній із пластмасовою та XLPE-ізоляцією

Вид випробувальної напруги	Значення випробної напруги, кВ, для силових кабелів на номінальну напругу, кВ									Тривалість випробувань, хв
	До 1	2	3	6	10	15	20	30	35	
КЛ з ізоляцією із зшитого поліетилену										
Напруга промислової частоти	—	—	—	6	10	15	20	30	35	5
Змінна напруга наднизької частоти 0,1 Гц спеціальної форми (косинусний прямокутник)	—	—	—	11	18	26	36	54	60	30
КЛ з пластмасовою ізоляцією (крім КЛ з ізоляцією із зшитого поліетилену)										
Випрямлена напруга	5 ²⁾	7,5	15	36	60	—	100 ¹⁾	—	140 ¹⁾	10
Змінна напруга наднизької частоти 0,1 Гц спеціальної форми (косинусний прямокутник)	—	3,6	5,4	11	18	—	36	—	60	30
КЛ з гумовою ізоляцією										
Випрямлена напруга	—	4	6	12	20	—	—	—	—	5
¹⁾ За відсутності необхідної випробної апаратури дозволяється проводити випробування випробною випрямленою напругою 70 кВ. ²⁾ Обов'язкове випробування лише для кабелів електричних станцій, підстанцій і розподільних пристроїв. Для решти кабелів випробування дозволено проводити мегаомметром на напругу 2,5 кВ тривалістю 1 хв.										

Згідно з наведеними нормативними значеннями для кабельної лінії з ізоляцією із зшитого поліетилену на напругу 10 кВ випробування змінною напругою наднизької частоти 0,1 Гц виконується напругою 18 кВ протягом 30 хв. Результат випробування вважається задовільним, якщо протягом усього часу прикладення напруги не відбулося пробою ізоляції та не зафіксовано нестабільної роботи випробувальної установки.

$$U_{\text{вип}} = 18 \text{ кВ}, t_{\text{вип}} = 30 \text{ хв} \quad (4.1)$$

Під час випробування випрямленою напругою, яке може застосовуватися для окремих типів кабельних ліній за рішенням технічного керівника, контролюють струм витоку. Для справної ізоляції характерними є стабільні значення струму без різкого наростання та поштовхів. Якщо струм витоку зростає або спостерігаються нестабільні імпульси, випробування необхідно припинити або збільшити тривалість контролю згідно з вимогами методики.

Таблиця 4.6

Нормативні значення питомого активного опору жил кабелів

Матеріал жили	Значення опору, Ом/км, не більше, за номінального перерізу жили, мм ²													
	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630	800	1000
Алюміній	0,868	0,641	0,443	0,320	0,253	0,206	0,164	0,125	0,100	0,0778	0,0605	0,0469	0,0367	0,0291
Мідь	0,524	0,387	0,268	0,193	0,153	0,124	0,0991	0,0754	0,0601	0,0470	0,0366	0,0283	0,0221	0,0176

Визначення активного опору жил виконується для перевірки цілісності струмопровідної частини кабелю та якості контактних з'єднань. Якщо опір жили, приведений до 1 км довжини та температури 20 °С, перевищує нормативне значення, необхідно перевірити стан кабельних наконечників, муфт і місць з'єднання жили.

$$R_{20} = R_t / (1 + \alpha \cdot (t - 20)) \quad (4.2)$$

де R_{20} – опір жили, приведений до температури 20 °С, Ом; R_t – виміряний опір при температурі t , Ом; α – температурний коефіцієнт опору матеріалу жили, 1/°С.

Для прикладу приймаємо кабельну лінію з алюмінієвою жилою перерізом 240 мм². За таблицею 4.6 нормативне значення опору становить 0,125 Ом/км. Якщо виміряний опір жили при температурі 30 °С становить 0,130 Ом/км, то приведене значення буде:

$$R_{20} = 0,130 / (1 + 0,004 \cdot (30 - 20)) = 0,125 \text{ Ом/км} \quad (4.3)$$

Отримане значення відповідає нормативному рівню, тому струмопровідна жила та контактні з'єднання після ремонту можуть вважатися придатними до експлуатації за цим показником.

4.6. Розрахунок можливості застосування установки АВ-60_01 для післяремонтного випробування

Для перевірки можливості використання випробувальної установки АВ-60_01 необхідно оцінити ємність кабельної лінії та ємнісний струм при випробуванні. Згідно з технічними характеристиками установки, максимальна ємність випробувального об'єкта становить 3 мкФ, а діапазон вихідної напруги позитивної та негативної полярності становить 5–45 кВ. Це дозволяє застосовувати її для випробування значної частини кабельних ліній середньої напруги.

Розрахункова ємність кабельної лінії визначається за формулою:

$$C_{кл} = C_0 \cdot l \quad (4.4)$$

де $C_{кл}$ – повна ємність кабельної лінії, мкФ; C_0 – питома ємність кабелю, мкФ/км; l – довжина кабельної лінії, км.

Для кабельної лінії 10 кВ довжиною 2 км приймаємо питому ємність $C_0 = 0,25$ мкФ/км. Тоді:

$$C_{кл} = 0,25 \cdot 2 = 0,50 \text{ мкФ} \quad (4.5)$$

Оскільки отримане значення 0,50 мкФ менше за допустиму ємність установки 3 мкФ, застосування АВ-60_01 для післяремонтного випробування цієї кабельної лінії є технічно можливим.

Ємнісний струм під час випробування змінною напругою наднизької частоти визначається за формулою:

$$I_c = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_{кл} \cdot U_{вип} \quad (4.6)$$

де I_c – ємнісний струм, А; f – частота випробувальної напруги, Гц; $C_{кл}$ – ємність кабельної лінії, Ф; $U_{вип}$ – випробувальна напруга, В.

Для $f = 0,1$ Гц, $C_{кл} = 0,50$ мкФ та $U_{вип} = 18$ кВ отримаємо:

$$I_c = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 0,50 \cdot 10^{-6} \cdot 18 \cdot 10^3 = 5,65 \cdot 10^{-3} \text{ А} \quad (4.7)$$

Отже, ємнісний струм становить приблизно 5,65 мА, що є незначним для випробувальної установки і підтверджує доцільність застосування режиму 0,1 Гц. Для порівняння, при частоті 50 Гц ємнісний струм був би у 500 разів більшим, що потребувало б значно потужнішого випробувального обладнання.

Енергія, накопичена в ємності кабельної лінії при випробуванні, визначається за формулою:

$$W = C_{кл} \cdot U_{вип}^2 / 2 \quad (4.8)$$

$$W = 0,50 \cdot 10^{-6} \cdot (18 \cdot 10^3)^2 / 2 = 81 \text{ Дж} \quad (4.9)$$

Наявність накопиченої енергії підтверджує необхідність обов'язкового заземлення кабельної лінії після завершення випробування. Розряд кабелю повинен виконуватися через штатний розрядний пристрій, а після цього – через переносне заземлення.

Перевірка можливості застосування установки АВ-60_01

Параметр	Позначення	Значення
Номінальна напруга кабельної лінії	U_n	10 кВ
Випробувальна напруга СНЧ 0,1 Гц	$U_{вип}$	18 кВ
Тривалість випробування	$t_{вип}$	30 хв
Питома ємність кабелю	C_0	0,25 мкФ/км
Довжина лінії	l	2 км
Розрахункова ємність лінії	$C_{кл}$	0,50 мкФ
Допустима ємність установки АВ-60_01	$C_{доп}$	3 мкФ
Ємнісний струм при 0,1 Гц	I_c	5,65 мА
Висновок	-	установка придатна

4.7. Методика виконання післяремонтних випробувань кабельної лінії установкою АВ-60_01

Випробувальна установка АВ-60_01 призначена для отримання випробувальної напруги наднизької частоти 0,1 Гц на ємнісних об'єктах, зокрема на силових кабельних лініях з ізоляцією із зшитого поліетилену. Її використання у післяремонтній технології дозволяє перевірити відновлену кабельну лінію без застосування постійної напруги, яка є небажаною для XLPE-ізоляції.

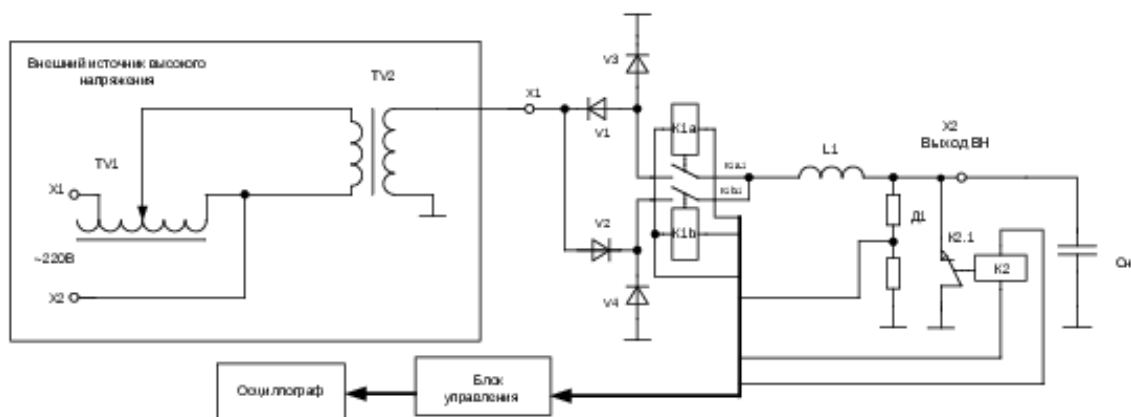


Рис. 4.5. Спрощена принципова схема формування випробувальної напруги 0,1 Гц установкою АВ-60_01

На рисунку 4.5 наведена спрощена схема роботи пристрою. Висока змінна напруга зовнішнього джерела подається на зарядні діоди, після чого через високовольтний перемикач і індуктивність виконується заряд і перезаряд ємнісного випробувального об'єкта. Кабельна лінія в цій схемі розглядається як ємність СН, а контроль напруги здійснюється через дільник D1 та блок керування.

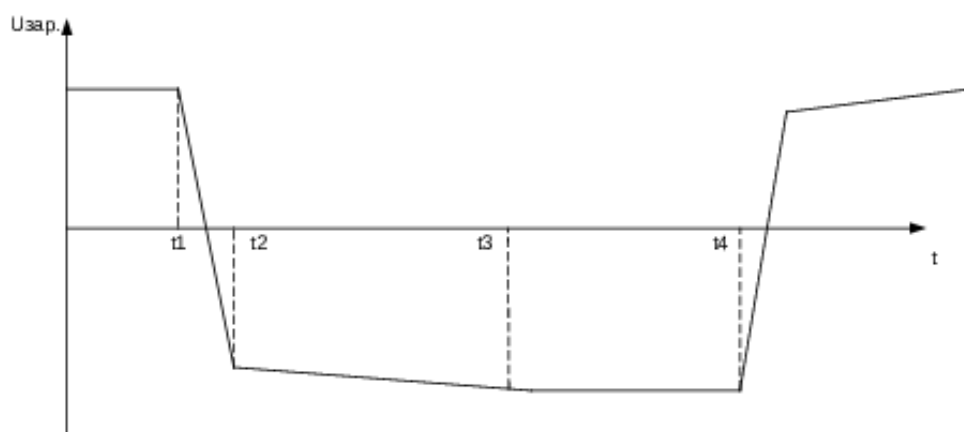
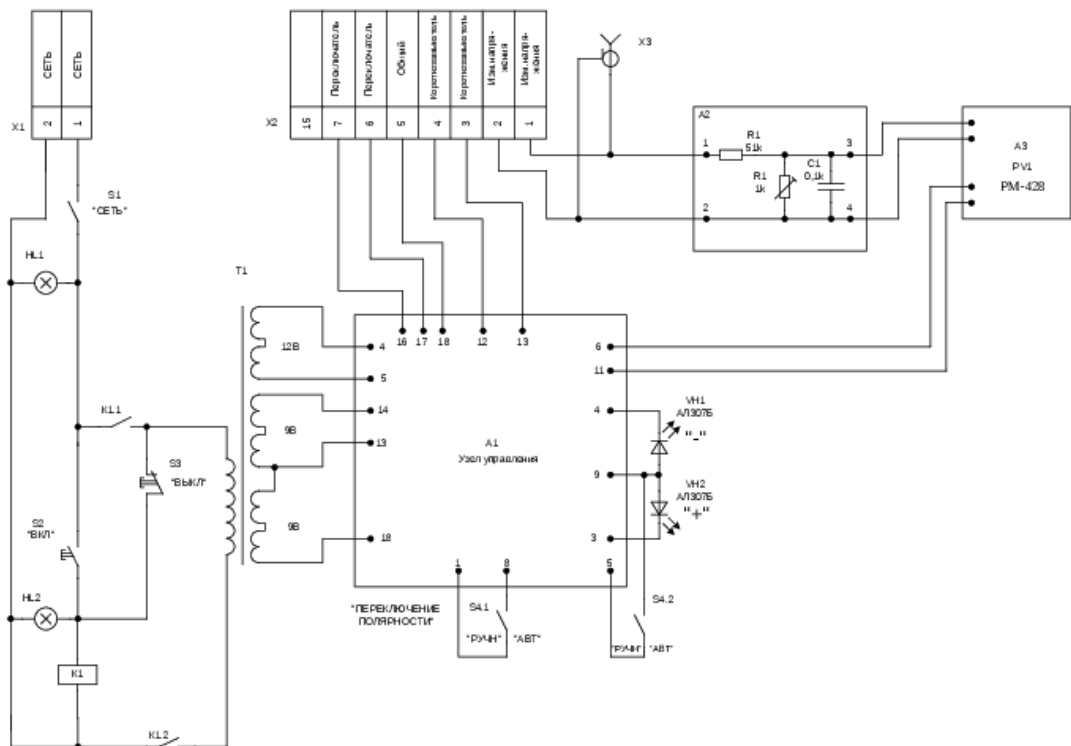


Рис. 4.6. Осцилограма зміни полярності випробувальної напруги на кабельній лінії

Осцилограма на рисунку 4.6 показує, що під час роботи установки відбувається почергове прикладання напруги позитивної та негативної

полярності. Такий режим забезпечує періодичну зміну напрямку електричного поля в ізоляції та наближує випробування до умов дії змінної напруги, але при значно меншому ємнісному струмі.



Приложение А
Аппарат высоковольтный испытательный
АВ-60-01
Блок управления
Схема электрическая принципиальная

Рис. 4.7. Електрична принципова схема блока керування установки АВ-60_01

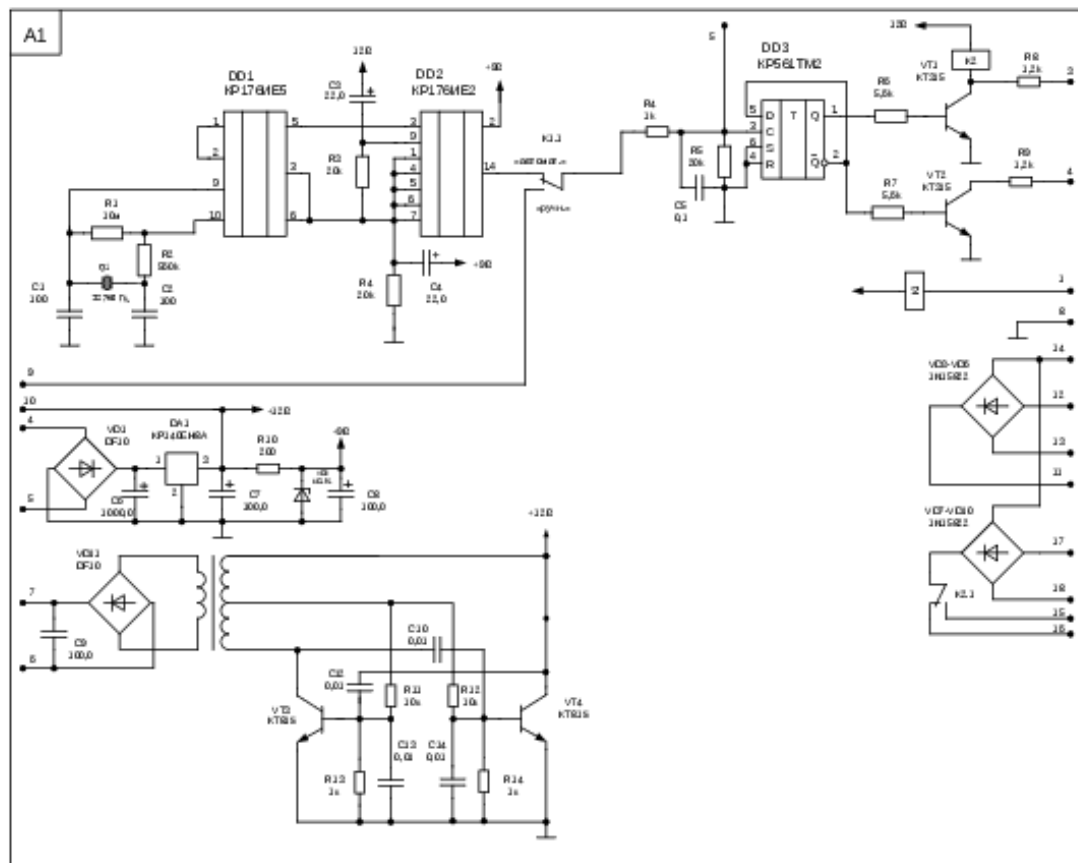


Рис. 4.8. Електрична принципова схема допоміжного вузла керування та індикації установки

Порядок виконання випробування після ремонту кабельної лінії включає такі операції: встановлення високовольного блока біля випробувального об'єкта, розміщення блока керування на безпечній відстані, приєднання заземлення, підключення зовнішнього джерела високої напруги, приєднання кабельної лінії до вихідного затискача установки, поступове підвищення напруги до заданого рівня, витримку протягом нормативного часу та контроль відсутності пробую.

Перед подачею напруги необхідно перевірити надійність заземлення корпусів установки, справність високовольних з'єднань, відсутність персоналу в небезпечній зоні та правильність підключення випробувального об'єкта. Після завершення випробування напруга знижується до мінімального значення, зовнішнє джерело вимикається, а кабельна лінія розряджається і заземлюється.

Алгоритм післяремонтного випробування силової кабельної лінії

Етап	Зміст операції	Контрольний результат
1	Огляд кабельної лінії, муфт, наконечників і траси	відсутність видимих дефектів
2	Перевірка цілісності та фазування жил	правильна відповідність фаз
3	Вимірювання опору ізоляції мегаомметром 2,5 кВ	стабільні покази, відсутність різкого падіння опору
4	Випробування оболонки між екраном і землею	відсутність пробою оболонки
5	СНЧ-випробування 0,1 Гц протягом 30 хв	пробій основної ізоляції не відбувся
6	Розряд і заземлення кабельної лінії	залишковий заряд відсутній
7	Оформлення протоколу післяремонтних випробувань	лінія допущена або не допущена до роботи

За результатами післяремонтного випробування кабельна лінія допускається до експлуатації за умови виконання таких вимог: цілісність жил підтверджена, фазування виконано правильно, опір ізоляції не має нестабільного характеру, оболонка витримала випробування, під час СНЧ-випробування не відбулося пробою, а заземлювальні пристрої та екрани мають справний стан. Якщо хоча б один із зазначених показників не відповідає вимогам, лінія повторно в ремонт не допускається до вмикання під робочу напругу.

5 ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТ ЕНЕРГООБЛАДНАННЯ СИЛОВИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ

5.1 Організація технічного обслуговування і експлуатації кабельних ліній

Технічне обслуговування силових кабельних ліній є складовою системи планово-попереджувального ремонту електрообладнання та має забезпечувати підтримання кабельної мережі у працездатному стані протягом усього строку експлуатації. Для кабельних ліній середньої напруги особливе значення мають своєчасний контроль стану ізоляції, оболонки, екрана, кінцевих та з'єднувальних муфт, оскільки більшість дефектів розвивається поступово і до моменту аварійного пробою зовні може не проявлятися.

У межах даної роботи об'єктом технічного обслуговування приймаються силові кабельні лінії напругою 6–10 кВ з паперово-просоченою, пластмасовою та ізоляцією із зшитого поліетилену. Післяремонтні випробування розглядаються як завершальний етап ремонту, монтажу муфти, заміни ділянки кабелю або відновлення захисної оболонки. Їх призначення полягає не тільки у підтвердженні електричної міцності ізоляції, а й у виявленні прихованих дефектів монтажу, залишкової вологи, пошкодження екрана та недостатньої якості заземлення металевих елементів кабельної лінії.

Організація експлуатації кабельних ліній повинна ґрунтуватися на поєднанні планових оглядів, періодичних вимірювань, позачергових перевірок після аварійних вимкнень та післяремонтних випробувань. Для кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену особливо важливо не застосовувати без обґрунтування випробування постійною напругою для основної ізоляції, оскільки така дія може сприяти накопиченню просторового заряду в полімерному діелектрику і прискорити деградацію ізоляції. Тому для кабельних

ліній із СПЕ-ізоляцією у роботі прийнято застосування випробувань змінною напругою наднизької частоти 0,1 Гц.

До основних експлуатаційних операцій належать огляд траси, перевірка кабельних колодязів і камер, контроль стану кінцевих муфт, перевірка маркування фаз, вимірювання опору ізоляції, перевірка цілісності екрана і оболонки, контроль заземлення, визначення місця пошкодження у разі дефекту та оформлення протоколу випробувань. Усі результати повинні заноситися до паспорта кабельної лінії, що дає змогу порівнювати параметри у часі і прогнозувати розвиток дефектів.

Під час планування робіт кабельні лінії доцільно поділяти на три групи: лінії нормального технічного стану, лінії підвищеного контролю та лінії після ремонту. Для першої групи достатньо планових оглядів і періодичних вимірювань. Для другої групи встановлюється скорочений інтервал контролю. Для третьої групи обов'язковими є післяремонтні випробування із фіксацією типу ремонту, місця встановлення муфти, параметрів випробувальної напруги, тривалості випробування та результату контролю оболонки.

Таблиця 5.1

Склад робіт з технічного обслуговування силових кабельних ліній

Вид робіт	Контрольований об'єкт	Періодичність	Результат виконання
Огляд траси кабельної лінії	Охоронна зона, кабельні споруди, вводи	2 рази на рік	Виявлення механічних пошкоджень, підтоплення, сторонніх робіт
Огляд кінцевих муфт	Муфти, наконечники, заземлення екрана	1 раз на рік	Оцінка стану ізоляційних поверхонь та контактних з'єднань
Вимірювання опору ізоляції	Жили відносно екрана і землі	Після ремонту та за графіком	Порівняння з попередніми значеннями
Випробування оболонки	Захисна полімерна оболонка, екран	Після прокладання і ремонту	Виявлення пошкоджень оболонки та шляхів проникнення вологи
СНЧ-випробування 0,1 Гц	Основна ізоляція кабелю СПЕ	Після ремонту та за рішенням відповідального	Підтвердження електричної міцності ізоляції
Пошук місця пошкодження	Жила, оболонка, екран, муфта	За наявності дефекту	Локалізація дефектної ділянки для ремонту

5.2 Розрахунок обсягу робіт з обслуговування силових кабельних ліній

Розрахунок обсягу робіт необхідний для визначення річної трудомісткості обслуговування, кількості персоналу та планування завантаження пункту діагностування. Вихідними даними є кількість кабельних ліній, періодичність оглядів, частка ліній, що проходять післяремонтні випробування, тривалість окремих операцій і коефіцієнт ускладнення робіт.

Для розрахунку приймається, що пункт обслуговує 18 силових кабельних ліній напругою 6–10 кВ. Плановий огляд кожної лінії проводиться двічі на рік, розширене діагностування із вимірюванням опору ізоляції та перевіркою оболонки виконується для 8 ліній на рік, післяремонтні випробування виконуються для 6 ліній на рік, а роботи з пошуку місця пошкодження передбачаються для 4 аварійних або дефектних випадків на рік. Такий обсяг відповідає умовам пункту технічного обслуговування, який працює не як масове виробництво, а як електротехнічна ділянка для періодичного контролю і ремонту кабельних мереж.

Річний обсяг робіт за окремим видом операцій визначається як добуток кількості виконань на норму часу. Загальна трудомісткість визначається сумуванням трудомісткостей усіх видів робіт з урахуванням коефіцієнта ускладнення, який враховує підготовку робочого місця, транспортування приладів, оформлення протоколів і повторні перевірки після усунення дефектів.

$$T_i = n_i \cdot t_i \cdot k_u \quad (5.1)$$

де T_i – трудомісткість i -го виду робіт, люд·год; n_i – кількість виконань операції за рік; t_i – норма часу на одну операцію, люд·год; k_u – коефіцієнт ускладнення робіт.

Таблиця 5.2

Розрахунок річного обсягу робіт з обслуговування кабельних ліній

Операція	Кількість виконань за рік	Норма часу, люд·год	Коефіцієнт ку	Трудовісткість, люд·год
Плановий огляд траси і кабельних споруд	36	0,8	1,10	31,7
Огляд кінцевих муфт і заземлення екрана	18	0,6	1,10	11,9
Вимірювання опору ізоляції	14	0,9	1,15	14,5
Випробування захисної оболонки	10	1,2	1,15	13,8
СНЧ-випробування основної ізоляції 0,1 Гц	6	2,4	1,20	17,3
Пошук місця пошкодження оболонки або жили	4	3,5	1,25	17,5
Оформлення протоколів і журналів	18	0,4	1,00	7,2

Загальна трудовісткість планових і післяремонтних робіт становить:

$$T\Sigma = 31,7 + 11,9 + 14,5 + 13,8 + 17,3 + 17,5 + 7,2 = 113,9 \text{ люд·год} \\ (5.2)$$

Отримане значення враховує лише безпосередні операції з діагностування та випробування. Для річного планування доцільно додатково врахувати резерв часу на позапланові виїзди, повторні випробування після усунення дефектів і підготовку випробувальної установки. Приймаємо резерв 20 %.

$$T_p = T\Sigma \cdot 1,20 = 113,9 \cdot 1,20 = 136,7 \text{ люд·год} \quad (5.3)$$

5.3 Розрахунок річних працездат на виконання ТО і ПР кабельних ліній

Поточний ремонт кабельної лінії має інший характер, ніж плановий огляд. Він включає локалізацію місця пошкодження, розкриття траси або кабельної споруди, підготовку кінців кабелю, монтаж з'єднувальної або кінцевої муфти, відновлення екрана і оболонки, а також обов'язкове післяремонтне випробування. Тому під час розрахунку річних працездат поточні ремонти виділяються окремо.

Для умов роботи приймається 4 поточні ремонти кабельних ліній на рік. Середня трудомісткість одного ремонту залежить від типу пошкодження. Для пошкодження оболонки вона менша, для пошкодження основної ізоляції або муфти значно більша. У розрахунку приймається усереднене значення, яке охоплює локалізацію дефекту, ремонтну операцію і післяремонтний контроль.

$$ТПР = n_{\text{ПР}} \cdot (t_{\text{пош}} + t_{\text{рем}} + t_{\text{вип}} + t_{\text{док}}) \quad (5.4)$$

де $n_{\text{ПР}}$ – кількість поточних ремонтів за рік; $t_{\text{пош}}$ – час пошуку місця пошкодження; $t_{\text{рем}}$ – час виконання ремонтної операції; $t_{\text{вип}}$ – час післяремонтного випробування; $t_{\text{док}}$ – час оформлення документації.

Для одного ремонту приймаємо: $t_{\text{пош}} = 3,5$ люд·год; $t_{\text{рем}} = 5,0$ люд·год; $t_{\text{вип}} = 2,4$ люд·год; $t_{\text{док}} = 0,6$ люд·год. Тоді річна трудомісткість поточного ремонту становить:

$$ТПР = 4 \cdot (3,5 + 5,0 + 2,4 + 0,6) = 46,0 \text{ люд·год} \quad (5.5)$$

Повна річна трудомісткість робіт з технічного обслуговування, діагностування і поточного ремонту кабельних ліній визначається за формулою:

$$Тзаг = Тр + ТПР \quad (5.6)$$

$$Тзаг = 136,7 + 46,0 = 182,7 \text{ люд·год} \quad (5.7)$$

Таким чином, для прийнятого обсягу кабельного господарства річні працезатрати на виконання технічного обслуговування, поточного ремонту та післяремонтних випробувань становлять 182,7 люд·год. Це значення використовується для визначення чисельності персоналу і планування календарного графіка робіт.

5.4 Визначення кількості персоналу для обслуговування і ремонту кабельних ліній

Кількість персоналу визначається на підставі річної трудомісткості та ефективного фонду робочого часу одного працівника. При цьому необхідно враховувати, що роботи на кабельних лініях, особливо випробування підвищеною напругою, не виконуються одноосібно. Мінімальний склад бригади для вимірювальних і випробувальних робіт повинен забезпечувати виконання організаційних заходів, контроль робочої зони, оперативне відключення установки та безпечне заземлення випробуваного об'єкта.

Ефективний річний фонд часу одного працівника визначається з урахуванням кількості робочих днів, тривалості зміни і коефіцієнта використання робочого часу.

$$F_{\text{еф}} = D_p \cdot t_{\text{зм}} \cdot k_{\text{вик}} \quad (5.8)$$

де D_p – кількість робочих днів за рік; $t_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, год; $k_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання робочого часу.

Приймаємо $D_p = 250$ днів, $t_{\text{зм}} = 8$ год, $k_{\text{вик}} = 0,85$. Тоді:

$$F_{\text{еф}} = 250 \cdot 8 \cdot 0,85 = 1700 \text{ год/рік} \quad (5.9)$$

$$N = T_{\text{заг}} / F_{\text{еф}} = 182,7 / 1700 = 0,11 \quad (5.10)$$

Розрахункове значення показує, що за трудомісткістю обсяг робіт може бути виконаний одним працівником неповної зайнятості. Однак за вимогами безпеки випробування кабельних ліній підвищеною напругою та роботи у діючих електроустановках повинні виконуватися бригадою. Тому для пункту

					02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.019.ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діагностування приймається склад бригади не менше двох працівників: відповідальний виконавець з групою з електробезпеки не нижче IV та електромонтер або лаборант з групою не нижче III.

Таблиця 5.3

Прийнятий склад бригади для робіт з кабельними лініями

Посада	Основні функції	Мінімальна група з електробезпеки	Кількість
Керівник робіт / інженер-електрик	Організація допуску, вибір режиму випробування, аналіз результатів	IV	1
Електромонтер з ремонту кабельних ліній	Підготовка кабелю, монтаж заземлень, підключення установки	III	1
Лаборант електровиміральної лабораторії	Контроль приладів, ведення протоколу, допоміжні операції	III	за потреби

5.5 Планування профілактичних заходів і післяремонтних випробувань

Профілактичні заходи для кабельних ліній повинні плануватися не тільки за календарним принципом, а й за фактичним технічним станом. Для цього результати попередніх вимірювань, дані про аварійні вимкнення, тип ізоляції, рік прокладання, кількість муфт і умови траси використовуються як вихідні дані для формування графіка контролю.

Для кабельних ліній із зшитого поліетилену пріоритетними профілактичними діями є контроль стану оболонки, перевірка цілісності екрана, огляд муфт, вимірювання опору ізоляції до і після ремонтних робіт, а також застосування СНЧ-випробувань після монтажу або заміни ділянки кабелю. Для кабелів з паперово-просоченою ізоляцією додатково контролюються струми витоку під час випробування випрямленою напругою та асиметрія струмів по фазах.

Планування доцільно виконувати у формі річного графіка. У графіку зазначаються найменування кабельної лінії, клас напруги, тип ізоляції, довжина,

дата попереднього випробування, вид запланованої операції, відповідальний виконавець і форма документа, що оформлюється після роботи.

Таблиця 5.4

Орієнтовний графік профілактичних заходів для кабельних ліній

Період	Вид робіт	Кабельні лінії	Документ
I квартал	Огляд трас після зимового періоду, перевірка колодязів	Усі КЛ 6–10 кВ	Журнал огляду
II квартал	Вимірювання опору ізоляції та перевірка муфт	КЛ з ознаками підвищеного ризику	Протокол вимірювань
III квартал	Випробування оболонки, пошук пошкоджень оболонки	КЛ із СПЕ-ізоляцією після ремонту	Протокол випробування оболонки
IV квартал	СНЧ-випробування післяремонтних ділянок, аналіз результатів року	Відремонтовані та нові КЛ	Зведений акт технічного стану

5.6 Визначення втрат електроенергії в кабельній лінії та питомих витрат

Втрати електроенергії в кабельній лінії є одним із показників її технічного стану і правильності вибору перерізу жил. Надмірне нагрівання жил, погіршення контактів у муфтах або нерівномірний розподіл струмів у одножильних кабелях призводять до збільшення втрат, прискореного старіння ізоляції та зменшення ресурсу кабелю.

Для прикладу виконаємо розрахунок втрат у трифазній кабельній лінії 10 кВ з алюмінієвими жилами перерізом 120 мм², довжиною 1,2 км. Активний опір жили при 20 °С приймаємо $r_{20} = 0,253$ Ом/км. Розрахункова температура жили в робочому режимі становить 70 °С, температурний коефіцієнт опору алюмінію $\alpha = 0,004$ 1/°С, середній робочий струм $I = 110$ А.

$$R_t = r_{20} \cdot l \cdot [1 + \alpha(t - 20)] \quad (5.11)$$

$$R_t = 0,253 \cdot 1,2 \cdot [1 + 0,004(70 - 20)] = 0,364 \text{ Ом} \quad (5.12)$$

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R_t \cdot 10^{-3} \quad (5.13)$$

$$\Delta P = 3 \cdot 110^2 \cdot 0,364 \cdot 10^{-3} = 13,2 \text{ кВт} \quad (5.14)$$

Річні втрати електроенергії визначаємо за часом використання навантаження $T = 2500$ год/рік і коефіцієнтом завантаження $k_z = 0,55$:

$$W_{BT} = \Delta P \cdot T \cdot k_z \quad (5.15)$$

$$W_{BT} = 13,2 \cdot 2500 \cdot 0,55 = 18150 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} \quad (5.16)$$

Отримане значення показує, що навіть одна кабельна лінія середнього навантаження може мати суттєві річні втрати. Тому діагностування кабельних ліній має не лише ремонтне, а й енергозберігаюче значення. Своєчасне усунення дефектів контактів, перерозподіл навантаження між фазами, контроль екранів одножильних кабелів і заміна дефектних муфт зменшують втрати та теплове навантаження ізоляції.

5.7 Організація обліку, паспортизації та журналювання результатів випробувань

Для забезпечення простежуваності результатів кожна кабельна лінія повинна мати паспорт. У паспорті зазначаються марка кабелю, клас напруги, переріз і матеріал жил, довжина, рік прокладання, кількість і місце встановлення муфт, схема заземлення екранів, результати приймально-здавальних, періодичних і післяремонтних випробувань.

Журналювання результатів випробувань є обов'язковим елементом удосконаленої технології. Саме порівняння параметрів у часі дозволяє відрізнити випадкове відхилення від стійкого погіршення стану ізоляції. Для кабельних ліній із СПЕ-ізоляцією до журналу необхідно вносити параметри СНЧ-випробування: частоту, форму напруги, амплітуду, тривалість випробування, ємність об'єкта, факт пробою або його відсутність, а також висновок щодо придатності лінії до експлуатації.

Після ремонту або монтажу муфти протокол випробувань повинен містити посилання на місце ремонту, тип муфти, прізвища виконавців, дату і час

					02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.019.ПЗ	68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випробування, схему підключення, стан заземлення та результати контрольного огляду після зняття напруги. Такий підхід зменшує ризик повторного пошкодження і забезпечує відповідальність за якість виконаних робіт.

Таблиця 5.5

Основні дані, що вносяться до паспорта кабельної лінії

Група даних	Показники
Конструктивні дані	Марка кабелю, напруга, переріз, матеріал жил, тип ізоляції, довжина
Монтажні дані	Дата прокладання, траса, кількість муфт, спосіб прокладання, схема заземлення екрана
Діагностичні дані	Опір ізоляції, випробувальна напруга, час випробування, струм витоку, ємність лінії
Ремонтні дані	Тип дефекту, місце пошкодження, виконані ремонтні роботи, тип установленної муфти
Експлуатаційний висновок	Допуск до роботи, обмеження, дата наступного контролю, відповідальний виконавець

5.8 Визначення категорії надійності електропостачання і збитків від перерв

Кабельні лінії, що живлять відповідальні електроприймачі, повинні розглядатися з урахуванням категорії надійності електропостачання. Для споживачів, у яких перерва живлення призводить до простою технологічного процесу, пошкодження продукції або порушення безпеки, післяремонтні випробування мають особливе значення, оскільки вони зменшують імовірність повторного аварійного відключення після ремонту.

Орієнтовні збитки від перерви електропостачання можна оцінити за недовідпущеною електроенергією та питомою вартістю простою. Для прикладу приймаємо середню потужність навантаження $P_n = 420$ кВт, середню тривалість аварійного відключення $t_{пер} = 3$ год, питому вартість недовідпущеної електроенергії $C_n = 35$ грн/кВт·год.

$$W_{нед} = P_n \cdot t_{пер} \quad (5.17)$$

$$W_{нед} = 420 \cdot 3 = 1260 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (5.18)$$

$$З_{пер} = W_{нед} \cdot C_n \quad (5.19)$$

$$З_{пер} = 1260 \cdot 35 = 44100 \text{ грн} \quad (5.20)$$

Отже, навіть одне аварійне відключення кабельної лінії може призвести до значних втрат. Запровадження післяремонтних випробувань і системного журналювання результатів є економічно доцільним, оскільки вартість профілактичного контролю значно менша від можливих збитків у разі повторного пробою ізоляції або пошкодження муфти.

5.9 Заходи з підвищення надійності та економії енергоресурсів

5.9.1 Зменшення втрат у кабельних лініях

Зменшення втрат електроенергії в кабельних лініях досягається правильним вибором перерізу жил, рівномірним розподілом навантаження, підтриманням справного стану контактних з'єднань і муфт, а також контролем струмів у металевих екранах одножильних кабелів. Для ліній із великим струмовим навантаженням доцільно перевіряти фактичну температуру кабельних муфт та місць приєднання тепловізійним методом.

Для кабельних ліній із СПЕ-ізоляцією важливо не допускати тривалого перевищення допустимої температури жили, оскільки теплові цикли прискорюють старіння ізоляції, знижують механічну міцність напівпровідникових шарів і можуть сприяти розвитку водних трипів. Тому результати електричних вимірювань необхідно доповнювати аналізом навантажувального режиму лінії.

5.9.2 Організаційно-технічні заходи з раціонального використання кабельних мереж

До організаційно-технічних заходів належать ведення актуальної виконавчої документації, маркування трас і муфт, заборона земляних робіт у охоронній зоні без погодження з відповідальною особою, планові огляди кабельних споруд після підтоплень, контроль герметичності введів і своєчасне усунення пошкоджень оболонки.

					02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.019.ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічними заходами є застосування кабелів з водоблокуючими елементами, використання якісної кабельної арматури, дотримання мінімальних радіусів вигину під час монтажу, контроль моменту затягування контактних з'єднань, використання СНЧ-випробувань для кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену та локалізація пошкоджень методами, що не погіршують стан справної частини кабелю.

Запропоновані заходи підвищують надійність кабельних ліній, зменшують кількість аварійних ремонтів і забезпечують перехід від ремонту за фактом пошкодження до обслуговування за технічним станом.

6 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПІСЛЯРЕМОНТНИХ ВИПРОБУВАНЬ СИЛОВИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ

6.1 Проведення випробувань з подачею підвищеної напруги від стороннього джерела струму

Діагностування і післяремонтні випробування силових кабельних ліній належать до робіт підвищеної небезпеки, оскільки під час їх виконання використовується випробувальна напруга, що значно перевищує робочу напругу окремих елементів мережі. Основними небезпечними факторами є ураження електричним струмом, дія залишкового заряду кабелю після випробування, крокова напруга під час пошуку пошкодження оболонки, електрична дуга у разі пробою ізоляції, а також механічні небезпеки під час розкриття траси або кабельної споруди.

Випробування з подачею підвищеної напруги від стороннього джерела повинні виконуватися за нарядом або розпорядженням відповідно до вимог безпечної експлуатації електроустановок. До початку робіт кабельна лінія повинна бути відключена з усіх сторін, перевірена на відсутність напруги, заземлена, відокремлена від іншого обладнання та позначена попереджувальними плакатами. У місцях можливого доступу сторонніх осіб встановлюються огороження.

Під час випробування кабельної лінії один кінець кабелю підключається до випробувальної установки, інші жили та металеві елементи, які не беруть участі у випробуванні, повинні бути заземлені. Перемикання схеми дозволяється виконувати тільки після повного зняття напруги, розрядження кабелю і накладання переносного заземлення. Особливої уваги потребують кабелі з полімерною ізоляцією, оскільки вони мають ємнісний характер і після випробування можуть зберігати небезпечний залишковий заряд.

Таблиця 6.1

Небезпечні та шкідливі фактори під час випробування кабельних ліній

Фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Захисні заходи
Підвищена напруга	СНЧ-установка, випрямляч, високовольтний вивід	Ураження електричним струмом, електрична дуга	Огородження, заземлення, блокування, допуск за нарядом
Залишковий заряд кабелю	Ємність кабельної лінії після випробування	Повторне ураження після вимкнення установки	Примусове розрядження та контроль відсутності напруги
Крокова напруга	Пошкодження оболонки, подача напруги між екраном і землею	Ураження персоналу в зоні пошуку	Діелектричне взуття, контроль зони, робота одним оператором на трасі
Електрична дуга	Пробій ізоляції або неправильне підключення	Опіки, пошкодження обладнання	Віддалене керування, захисні окуляри, автоматичне вимкнення
Пожежна небезпека	Нагрівання кабелю, іскріння, дефекти муфти	Займання ізоляційних матеріалів	Вогнегасник, очищення робочої зони, контроль температури

Перед початком випробування необхідно оцінити енергію, яка може накопичуватися в ємності кабельної лінії. Для кабелю з ємністю $C = 0,30$ мкФ і випробувальною напругою $U = 18$ кВ енергія електричного поля визначається за формулою:

$$W_c = C \cdot U^2 / 2 \quad (6.1)$$

$$W_c = 0,30 \cdot 10^{-6} \cdot (18 \cdot 10^3)^2 / 2 = 48,6 \text{ Дж} \quad (6.2)$$

Енергія 48,6 Дж є небезпечною для людини, тому після кожного випробування кабель повинен бути розряджений через спеціальний розрядний пристрій і заземлений на час, достатній для зняття залишкового заряду. Мінімальний час розрядження можна оцінити через сталу часу RC-кола:

$$\tau = R_p \cdot C \quad (6.3)$$

$$t_{роз} \geq 5\tau \quad (6.4)$$

Якщо опір розрядного кола $R_p = 100$ кОм, а ємність кабелю $C = 0,30$ мкФ, то $\tau = 0,03$ с, а мінімальний розрахунковий час розрядження становить 0,15 с. На практиці кабель після випробування заземлюють на значно більший час, оскільки необхідно враховувати розподілену ємність, стан ізоляції, довжину лінії та можливість залишкової поляризації діелектрика.

6.2 Роботи з електровимірювальними приладами, кліщами і вимірювальними штангами

Електровимірювальні прилади, що застосовуються під час діагностування кабельних ліній, повинні відповідати класу напруги електроустановки, мати справний корпус, ізоляцію з'єднувальних проводів, чинний термін повірки та комплект штатних щупів або затискачів. Забороняється використовувати саморобні перехідники, пошкоджені кабелі приладів, вимірювальні проводи без наконечників і прилади з невідомим класом ізоляції.

Під час вимірювання опору ізоляції мегаомметром на напругу 2,5 кВ персонал повинен переконатися, що кабельна лінія відключена, розряджена і від'єднана від обладнання, яке може бути пошкоджене випробувальною напругою. Після завершення вимірювання жила кабелю повинна бути короткочасно заземлена для зняття залишкового заряду.

Роботи з електровимірювальними кліщами виконуються на ізольованих ділянках або у щитових пристроях тільки за умови дотримання безпечних відстаней. Під час вимірювань у мережах понад 1000 В застосовуються вимірювальні штанги відповідного класу напруги. Перед застосуванням штангу оглядають, перевіряють відсутність тріщин, забруднення і пошкодження ізоляційної поверхні.

Таблиця 6.2

Вимоги до засобів вимірювання і захисту

Засіб	Призначення	Основна вимога
Мегаомметр 2,5 кВ	Вимірювання опору ізоляції кабелю	Справність ізоляції проводів, чинна повірка
СНЧ-установка 0,1 Гц	Післяремонтне випробування основної ізоляції	Заземлення корпусу, контроль напруги, справне блокування
Вимірювальна штанга	Контроль і підключення у високовольтних колах	Відповідність класу напруги, чиста ізоляційна частина
Діелектричні рукавички	Захист рук персоналу	Перевірка перед застосуванням, відсутність проколів
Переносне заземлення	Зняття залишкового заряду і захист робочого місця	Надійний контакт, відповідний переріз провідника

6.3 Вимоги безпеки під час пошуку місця пошкодження та роботи з СНЧ-установкою

Пошук місця пошкодження кабельної лінії може виконуватися імпульсно-дуговим, акустичним, петльовим методом або методом крокової напруги. Під час застосування імпульсних методів у кабель вводяться високовольтні імпульси, тому всі перемикання виконуються тільки після зняття напруги і розрядження кабелю. Оператор повинен перебувати біля пульта керування, а доступ до високовольтної частини установки має бути обмежений.

Метод крокової напруги застосовується для пошуку пошкодження захисної оболонки. Оскільки під час цього методу в ґрунті виникає електричне поле, працівник, який рухається трасою з приймальним пристроєм, повинен використовувати діелектричне взуття і не торкатися сторонніх металевих предметів. Роботи під час дощу, грози або при значному підтопленні траси повинні бути припинені.

Під час роботи з випробувальною установкою АВ-60_01 або аналогічною СНЧ-установкою необхідно дотримуватися порядку підключення: заземлення корпусів, підключення блоку керування, підключення зовнішнього джерела високої напруги, приєднання випробуваного кабелю, перевірка схеми, подача напруги, витримка за встановленим режимом, зниження напруги, вимкнення джерела, розрядження і заземлення кабелю. Зміна полярності або режиму роботи виконується тільки штатними органами керування.

Для перевірки достатності заземлення випробувальної установки оцінюють напругу дотику на заземлювальному пристрої:

$$U_d = I_z \cdot R_z \quad (6.5)$$

де U_d – напруга дотику, В; I_z – струм замикання на заземлений корпус, А; R_z – опір заземлювального пристрою, Ом. При $R_z = 4$ Ом і можливого струмі замикання $I_z = 5$ А отримаємо:

					02.02 -КР.2607«С».2025.10.30.019.ПЗ	75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_d = 5 \cdot 4 = 20 \text{ В}$$

(6.6)

Отримане значення не перевищує умовно допустимих значень для короткочасного режиму, однак у реальних умовах безпека забезпечується не тільки малим опором заземлення, а й автоматичним вимкненням живлення, блокуванням дверей, огороженням робочої зони та застосуванням переносних заземлень.

6.4 Вимоги безпеки при аварійних ситуаціях

Аварійною ситуацією під час діагностування кабельної лінії вважається пробій ізоляції, поява диму або запаху горіння, спрацювання захисту випробувальної установки, пошкодження вимірювальних проводів, наближення сторонніх осіб до огороженої зони, погіршення погодних умов під час роботи на відкритій трасі або травмування працівника.

У разі пробою ізоляції оператор повинен негайно зняти напругу, вимкнути зовнішнє джерело, дочекатися розрядження кабелю через штатний розрядний пристрій і накласти переносне заземлення. Підходити до кабелю, муфти або випробувального виводу до повного зняття заряду забороняється. Після аварійного вимкнення проводиться огляд установки і кабельної лінії, встановлюється причина пробою, оформлюється запис у журналі та приймається рішення щодо повторного випробування або ремонту.

У разі ураження працівника електричним струмом необхідно негайно звільнити потерпілого від дії струму без небезпечного наближення до струмоведучих частин, викликати медичну допомогу, повідомити відповідального керівника робіт і надати домедичну допомогу. До з'ясування причин події повторне включення випробувальної установки забороняється.

Дії персоналу в аварійних ситуаціях

Ситуація	Першочергова дія	Подальші дії
Пробій ізоляції кабелю	Негайно зняти випробувальну напругу	Розрядити кабель, заземлити, оформити запис у журналі
Пошкодження вимірювального проводу	Вимкнути установку	Замінити провід, перевірити схему підключення
Наближення сторонніх осіб	Припинити подачу напруги	Відновити огороження і попереджувальні знаки
Поява диму або загоряння	Вимкнути живлення	Застосувати вогнегасник, викликати відповідальні служби
Травмування працівника	Звільнити від дії небезпечного фактора	Надати домедичну допомогу, повідомити керівника

6.5 Вимоги безпеки після закінчення роботи

Після завершення випробувань напруга повинна бути плавно знижена до мінімального значення, після чого зовнішнє джерело живлення вимикається. Кабельна лінія розряджається через штатний розрядний пристрій, а потім заземлюється переносним заземленням. Лише після цього дозволяється від'єднувати високовольтний провід, змінювати схему підключення або виконувати огляд муфт.

Усі тимчасові проводи, огороження, переносні заземлення і попереджувальні плакати знімаються тільки з дозволу відповідального керівника робіт. Перед введенням кабельної лінії в роботу перевіряється відновлення нормальної схеми, правильність фазування, надійність з'єднання екранів і цілісність заземлювальних провідників.

Результати випробування заносяться до протоколу. У протоколі зазначаються дата, місце роботи, тип кабелю, довжина лінії, випробувальна напруга, частота, тривалість, показники струму витоку або факт відсутності пробою, стан оболонки, висновок щодо придатності кабельної лінії до експлуатації та підписи відповідальних працівників.

ВИСНОВКИ

1. У бакалаврській кваліфікаційній роботі вирішено завдання удосконалення технології діагностування та післяремонтних випробувань силових кабельних ліній.
2. Запропоновані рішення підвищують достовірність контролю, скорочують ризик повторних аварійних пошкоджень після ремонту, покращують ведення технічної документації та сприяють раціональному використанню енергоресурсів.
3. Практичне значення роботи полягає у формуванні технічно обґрунтованої технології діагностування та післяремонтних випробувань силових кабельних ліній, яка може бути використана електротехнічними службами під час експлуатації кабельних мереж 6–10 кВ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017.
2. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів : Наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 09.01.1998 № 4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0093-98>.
3. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів : Наказ Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 № 258.
4. Кодекс систем розподілу : Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 310.
5. Кодекс комерційного обліку електричної енергії : Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 311.
6. ДСТУ EN 50110-1:2019. Експлуатування електроустановок. Частина 1. Загальні вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
7. ДСТУ EN IEC 61439-1:2022. Устаткування комплектних розподільчих пристроїв низької напруги. Частина 1. Загальні правила. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
8. ДСТУ EN 60529:2018. Ступені захисту, що забезпечуються кожухами. Код ІР. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.
9. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. Київ : Мінрегіон України, 2014.
10. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ : МОЗ України, 1999.
11. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
12. ДСТУ IEC 60502-2:2023. Кабелі силові з екструдованою ізоляцією й арматура до них на номінальну напругу від 1 кВ до 30 кВ. Частина 2. Кабелі на номінальну напругу від 6 кВ до 30 кВ. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.

13. IEC 60502-2:2014+AMD1:2024 CSV. Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV up to 30 kV. Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV up to 30 kV. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2024.

14. IEC 60502-4:2023. Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV up to 30 kV. Part 4: Test requirements on accessories for cables with rated voltages from 6 kV up to 30 kV. Geneva : IEC, 2023.

15. IEC 60228:2023. Conductors of insulated cables. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2023.

16. IEC 60270:2025. High-voltage test techniques. Partial discharge measurements. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2025.

17. IEC 60840:2020. Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV up to 150 kV. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2020.

18. IEC 62067:2022. Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150 kV up to 500 kV. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2022.

19. IEEE Std 400.2-2024. IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF) (less than 1 Hz). New York : IEEE, 2024.

20. IEEE Std 400-2012. IEEE Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems. New York : IEEE, 2012.

21. IEEE Std 400.3-2006. IEEE Guide for Partial Discharge Testing of Shielded Power Cable Systems in a Field Environment. New York : IEEE, 2007.

22. CIGRE Technical Brochure 496. Recommendations for Testing DC Extruded Cable Systems for Power Transmission at a Rated Voltage up to 500 kV. Paris : CIGRE, 2012.

23. CIGRE Technical Brochure 722. Recommendations for Additional Testing for Submarine Cables from 6 kV to 60 kV. Paris : CIGRE, 2018.

24. Megger. A Guide to Diagnostic Insulation Testing Above 1 kV. Dover : Megger Limited, 2013.
25. Megger. Cable Fault Location Guide. Dover : Megger Limited, 2020.
26. OMICRON electronics. Cable Testing and Diagnostics: Application Guide. Klaus : OMICRON electronics GmbH, 2021.
27. BAUR GmbH. Cable Testing and Diagnostics with VLF Voltage: Technical Application Guide. Sulz : BAUR GmbH, 2020.
28. Thue W. A. Electrical Power Cable Engineering. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press, 2012. 460 p.
29. Moore G. F. Electric Cables Handbook. 3rd ed. Oxford : Blackwell Science, 1997. 1104 p.
30. Kuffel E., Zaengl W. S., Kuffel J. High Voltage Engineering: Fundamentals. 2nd ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2000. 552 p.
31. Hauschild W., Lemke E. High-Voltage Test and Measuring Techniques. Berlin : Springer, 2014. 518 p.
32. Dissado L. A., Fothergill J. C. Electrical Degradation and Breakdown in Polymers. London : Peter Peregrinus, 1992. 601 p.