

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ
КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ІЗ ІЗОЛЯЦІЄЮ ЗІ ЗШИТОГО
ПОЛІЕТИЛЕНУ

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

Керівник: к.т.н., доц., доцентка каф. ЕСС
Собчук.Н.В.

« 04 » 06 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доц., доцентка ЕССЕМ
(наук.ступінь, вч.звання, назва кафедри)

Куріна М.В.
« 06 » 06 2025 р.

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

« 06 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025 рік

Вінницький національний технічний
університет Факультет електроенергетики та
електромеханіки Кафедра електричних станцій
та систем

Рівень вищої освіти перший

(бакалаврський) Галузь знань – 14

«Електрична інженерія»

Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

Освітньо-професійна програма – Електричні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

«10» 03 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ніколаєнко Владлену Вадимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Особливості проєктування та експлуатації кабельних ліній із
ізоляцією зі зшитого поліетилену»

Керівник роботи к.т.н., доц., доцента каф. ЕСС Собчук Н.В

затверджена наказом вищого навчального закладу від 20 березня 2025, #80

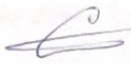
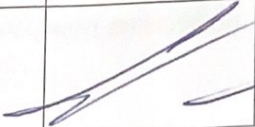
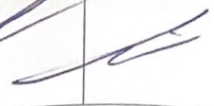
2. Термін подання студентом роботи 03 червня 2025 року

1. Вихідні дані до роботи: 1. Правила улаштування електроустановок. Розділ 2. Передавання електроенергії. Глава 2.6. Кабельні лінії електропередавання. – К.: Інтерсервіс, 2017. – 140 с. СОУ-Н МЕН 40.1-37471933-49:2011. 3. Проєктування кабельних ліній напругою до 330 кВ. Настанови. – К.: Міненерговугілля України, 2011. – 103 с. Бровдій В.Й., Журавель В.І. Електричні станції і підстанції: Підручник. – Львів: Новий Світ – 2000, 2011. – 488 с. 4. Верхола А.П., Прокопенко О.В. Кабельні лінії електропередачі: Навчальний посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2012. – 178 с. 5. Ковальчук В.П., Пінчук В.І., Лежнюк П.Д. Надійність і діагностика електроенергетичних систем: Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 212 с.

3. Зміст текстової частини: Вступ 1. Конструкції кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену. 2. Комплектні розподільчі пристрої. 3. Електротехнічні рішення. Реконструкція підстанції 110/35/10 кВ для приєднання електроустановок фотоелектричних станцій ВИСНОВКИ. Список використаних джерел.

4. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Актуальність та мета. 2. Переваги XLPE-ізоляції. 4. Проєктування кабельних ліній. 5. Монтаж та муфтування. 6. Експлуатація XLPE-кабелів

5. Консультанти розділів роботи

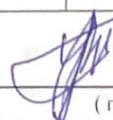
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Собчук Н.В. к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС	 10.03.25	 02.06.25
Охорона праці	Кобилянський О.В. д. пед. н., проф., завідувач каф.		

6. Дата видачі завдання 20 березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

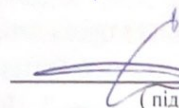
№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи		Примітка
		початок	кінець	
1	Формування та затвердження теми БДР	20.03.2025	21.03.2025	
2	Вступ. Огляд літературних джерел	22.03.2025	24.03.2025	
4	Конструкції кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену	01.04.2025	06.04.2025	
5	Порівняння вимикачів	19.04.2025	25.04.2025	
6	Виконання розділу охорона праці	26.04.2025	30.04.2025	
7	Формування висновків по роботі	01.05.2025	09.05.2025	
8	Оформлення пояснювальної записки	15.05.2025	20.05.2025	
9	Виконання графічної частини та оформлення презентації	21.05.2025	30.05.2025	
10	Перевірка БКР на плагіат. Попередній захист БКР	02.06.2025	05.06.2025	
11	Рецензування БКР	07.06.2025	09.06.2025	
	Захист БКР	10.06.2025	12.06.2025	

Студент


(підпис)

Ніколаєнко

Керівник роботи


(підпис)

Собчук Н.В.

АНОТАЦІЯ

Ніколаєнко Владлен Вадимович «Особливості проектування та експлуатації кабельних ліній із ізоляцією зі зшитого поліетилену» Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ. – 2025. – 79 с. Бібліогр.: 25. Рис. : 18. Табл. : 10.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі досліджено особливості проектування та експлуатації кабельних ліній електропередач із ізоляцією зі зшитого поліетилену (XLPE), які є пріоритетним рішенням для систем середньої та високої напруги. У першому розділі розглянуто фізико-механічні та електричні характеристики поліетилену, конструкції кабелів, їх марки, номінальні параметри, а також умови експлуатації. Значна увага приділена методикам вибору перерізів жил і екранів кабелю з урахуванням струмових навантажень, перевантажувальної здатності та струмів короткого замикання. Другий розділ присвячено аналізу конструктивних особливостей комплектних розподільчих пристроїв, їх видам, принципам монтажу та використання в системах з XLPE-кабелями. У третьому розділі наведено електротехнічні рішення щодо підключення кабелів до розподільчих пристроїв, вибору та перевірки перерізів кабелів і екранів на відповідність допустимим струмам та втратам напруги, а також проведено розрахунок кабельних ліній. Розглянуто варіанти заземлення екранів кабелів, способи з'єднання, відгалуження та окінцювання кабелів. Результати роботи можуть бути використані при модернізації електричних мереж та під час проектування кабельних ліній нового покоління. Робота супроводжується технічними розрахунками, графічними матеріалами та практичними рекомендаціями з експлуатації.

Ключові слова: кабельна лінія, зшитий поліетилен (XLPE), ізоляція, струмове навантаження, коротке замикання, заземлення екрана, розрахунок перерізу, втрати напруги, комплектний розподільчий пристрій (КРУН), термічна стійкість, електричні мережі.

ANNOTATION

Nikolaïenko Vladlen Vadymovych "Features of Design and Operation of Cable Lines with Cross-Linked Polyethylene Insulation" Bachelor's Qualification Thesis. – Vinnytsia: VNTU. – 2025. – 80 p. Bibliography: 25. Figures: 18. Tables: 10.

The bachelor's qualification thesis investigates the features of designing and operating power cable lines with cross-linked polyethylene (XLPE) insulation, which is a priority solution for medium and high voltage systems. The first section examines the physical, mechanical, and electrical properties of polyethylene, cable constructions, cable types, rated parameters, and operational conditions. Considerable attention is paid to the methodology for selecting the cross-sections of conductors and screens considering current loads, overload capacity, and short-circuit currents.

The second section is devoted to the analysis of the design features of complete switchgear units, their types, installation principles, and application in systems using XLPE-insulated cables. The third section presents electrical engineering solutions for connecting cables to distribution devices, selecting and verifying conductor and screen cross-sections for compliance with permissible currents and voltage losses, as well as the calculation of cable lines. Various options for cable screen grounding, connection methods, branching, and cable terminations are considered.

The results of the work can be used in the modernization of electrical networks and in the design of new-generation cable lines. The thesis includes technical calculations, graphical materials, and practical recommendations for operation.

Keywords: cable line, cross-linked polyethylene (XLPE), insulation, current load, short circuit, screen grounding, cross-section calculation, voltage loss, metal-clad switchgear, thermal stability, electrical networks.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1 КОНСТРУКЦІЇ КАБЕЛІВ З ІЗОЛЯЦІЄЮ ІЗ ЗШИТОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ...10	
1.1 Основні характеристики поліетилену.....	10
1.2 Конструктивна будова кабелю.....	15
1.3 Марки кабелів.....	17
1.4 Номінальна напруга.....	18
1.5 Область застосування та експлуатаційні умови.....	19
1.6 Визначення номінального перерізу жил і екранів відповідно до навантажувальної здатності.....	22
1.7 Здатність кабелю витримувати перевантаження.....	24
1.8 Допустимі значення струмів короткого замикання для жил та екранів кабелю.....	27
1.9 Заземлення екранів.....	30
2. ТРАСИ І СПОСОБИ ПРОКЛАДАННЯ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ З ІЗОЛЯЦІЄЮ ІЗ ЗШИТОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ.....	38
2.1 Траси прокладання.....	38
2.2 Вибір номінального перерізу жил.....	43
2.3 Приклад вибору номінального перетину струмопровідної жили кабелю і екрану.....	44
2.4 Допустимі осьові і радіальні навантаження, що виникають при натягуванні кабелів.....	46
2.5 Способи прокладки кабельних ліній.....	50
3 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ.....	57
3.1 Основні технічні рішення.....	57
3.2. РУ-10кВ ПС 110/35/10кВ.....	57
3.2.1 Вибір вимірювальних трансформаторів струму.....	58
3.3 Розрахунок кабельних ліній електропередач.....	59
3.3.1 Вибір перерізу струмопровідних жил.....	59
3.3.2 Перевірка на термічну стійкість при струмах КЗ.....	60
3.3.3 Вибір та перевірка перерізу мідного екрану кабелю.....	60
3.3.4 Перевірка перерізу кабелю на допустимі втрати напруги та потужності.....	61

3.3.4	Перевірка перерізу кабелю на допустимі втрати напруги та потужності	61
3.3.5	З'єднання та окінцювання кабелів	62
4	Охорона праці	63
4.1	Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	63
4.2	Мікроклімат	64
4.3	Склад повітря робочої зони	65
4.4	Виробниче освітлення	66
4.5	Виробничий шум	68
4.6	Виробничі вібрації	69
4.7	Пожежна безпека	70
	ВИСНОВКИ	73
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	75
	Додаток А	
	Додаток Б	
	<u>Додаток В</u>	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

КЛ – кабельна лінія;

ПЛ – повітряна лінія;

ЛЕП – лінія електропередач;

ПВХ – полівінілхлорид;

ПС – підстанція;

КЗ – коротке замикання;

РУ – розподільча установка (розподільчий пристрій);

ФЕС – фотогальванічна електростанція;

ОПН – обмежувач перенапруг;

КРУ – комплектний розподільчий пристрій;

КРПЗ – комплектна розподільча підстанція закритого типу;

КРУН – комплектні розподільчі пристрої зовнішньої установки;

ДБН – Державні будівельні норми;

СОУ – Н МЕН - нормативний документ «Проектування кабельних ліній напругою до 330 кВ»;

ПУЕ – правила улаштування електроустановок;

ДСТУ – Державний стандарт України;

ГОСТ – державний стандарт;

АСКОЕ – автоматизованої системи комерційного обліку електричної енергії.

ВСТУП

Актуальність теми Сучасні вимоги до надійності, безпеки та ефективності електропостачання зумовлюють активне впровадження новітніх технологій у проектуванні та експлуатації елементів електричних мереж. Одним із найперспективніших рішень у галузі передачі й розподілу електроенергії є застосування кабельних ліній з ізоляцією зі зшитого поліетилену (XLPE), які завдяки своїм високим електричним, механічним і термічним характеристикам суттєво перевершують традиційні маслонаповнені кабелі.

Зростання навантажень на електричні мережі, урбанізація, обмеження на використання повітряних ліній у населених пунктах, а також необхідність забезпечення екологічної безпеки обумовлюють зростання попиту на кабельні рішення з XLPE-ізоляцією. Однак ефективне застосування таких кабелів вимагає глибокого розуміння особливостей їх конструкції, методів вибору перерізів, режимів експлуатації та заходів щодо захисту і заземлення.

Таким чином, дослідження особливостей проектування та експлуатації кабельних ліній із ізоляцією зі зшитого поліетилену є надзвичайно актуальним і має важливе практичне значення для розвитку сучасної електроенергетичної інфраструктури, особливо в умовах модернізації та реконструкції електричних мереж України.

Мета і задачі дослідження Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є аналіз конструктивних, електротехнічних та експлуатаційних особливостей кабельних ліній із ізоляцією зі зшитого поліетилену (XLPE), а також розроблення технічних рішень щодо їх оптимального проектування та надійної експлуатації в системах електропостачання середньої та високої напруги.

Задачі дослідження Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі основні задачі:

1. Дослідити фізико-механічні та електричні властивості зшитого поліетилену як ізоляційного матеріалу.

2. Проаналізувати типові конструкції кабелів із XLPE-ізоляцією, їх марки, номінальні напруги та умови застосування.
3. Розглянути методики вибору перерізів жил і екранів кабелів відповідно до струмових навантажень, перевантажувальної здатності та струмів короткого замикання.
4. Вивчити варіанти заземлення екранів кабелів та їх вплив на електромагнітну сумісність і безпеку.
5. Дослідити особливості монтажу, з'єднання та окінцювання кабелів у мережах з XLPE-ізоляцією.
6. Проаналізувати конструкції та застосування комплектних розподільчих пристроїв, сумісних з кабельними лініями.
7. Провести розрахунки кабельних ліній за критеріями допустимого струмового навантаження, теплової стійкості та втрат напруги.
8. Надати практичні рекомендації щодо ефективного проєктування та експлуатації кабельних ліній із ізоляцією зі зшитого поліетилену.

1 КОНСТРУКЦІЇ КАБЕЛІВ ІЗ ІЗОЛЯЦІЄЮ ЗІ ЗШИТОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ

1.1 Основні властивості зшитого поліетилену

Зшитий поліетилен (XLPE) широко застосовується як ізоляційний матеріал у силових кабелях завдяки поєднанню високих діелектричних характеристик (зокрема, значна електрична міцність, мала тангента кута діелектричних втрат, низька діелектрична проникність), що забезпечує незначну ємність кабелю, а також відмінної термічної стабільності. Ці властивості дозволяють експлуатувати кабелі за підвищених струмових навантажень, у тому числі в аварійних режимах. Практика експлуатації таких кабелів протягом понад трьох десятиліть підтверджує їхню ефективність і надійність.

Проте ранні зразки кабелів із XLPE-ізоляцією мали серйозний недолік – прискорене старіння полімерної ізоляції. У сучасних дослідженнях встановлено, що основною причиною старіння в умовах дії електричного поля є внутрішні неоднорідності в структурі ізоляції. Такі дефекти можуть виникати як під час виробництва, так і бути притаманними самому матеріалу на етапі його створення. За наявності структурних неоднорідностей, у присутності вологи та під впливом напруги, всередині ізоляційного шару можуть з'являтися провідні мікроканали — так звані тріїнги або дендрити.

Ці мікроканали зазвичай формуються у місцях контакту ізоляції з напівпровідниковими екранами або в середині ізоляційного шару, де можливе локальне забруднення, включення сторонніх частинок або мікропорожнечі. Наявність тріїнгів створює локальні зони посиленого електричного поля, що призводить до прискореного окислення та деградації матеріалу, з можливим подальшим пробоем ізоляції.

Однак сучасні методи виробництва кабелів і вдосконалені матеріали для XLPE-ізоляції суттєво знижують ризик виникнення тріїнгоутворення. Це дозволяє забезпечити стабільну роботу кабельної лінії упродовж прогнозованого терміну служби понад 30 років.

Зшитий поліетилен — це полімерний матеріал, структура якого утворюється шляхом з'єднання поліетиленових ланцюгів поперечними зв'язками (див. рис. 1.1), що надає йому високу термостійкість і хімічну стабільність.

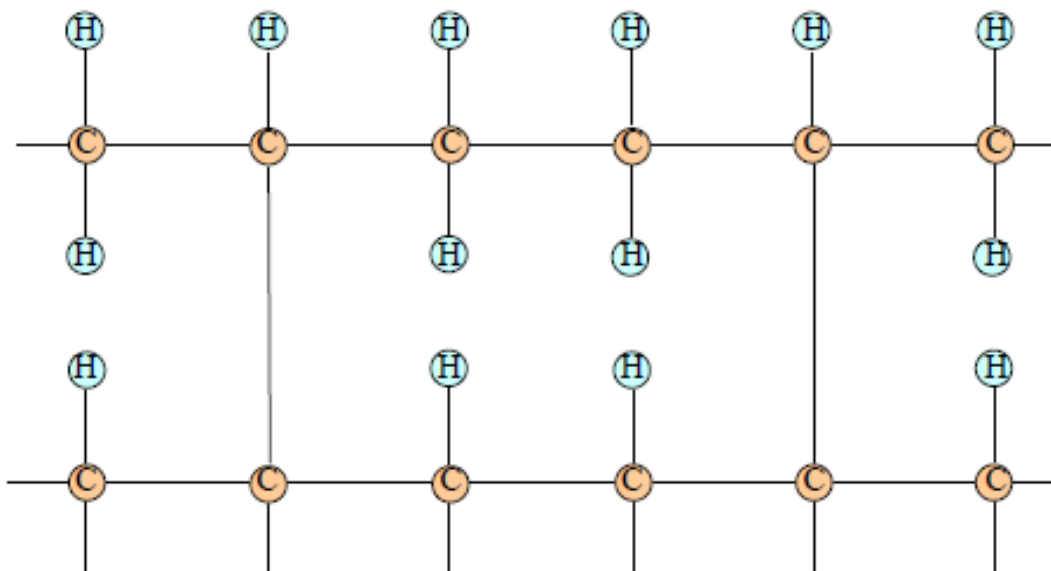


Рисунок 1.1 – Структура зшитого поліетилену

Основні характеристики зшитого поліетилену

Зшитий поліетилен як ізоляційний матеріал вирізняється рядом важливих експлуатаційних показників:

1. Електрична міцність за температури 20 °С становить приблизно 50 кВ/мм.
2. Значення відносної діелектричної проникності ϵ_r за цієї ж температури не перевищує 2,5.
3. Показник діелектричних втрат ($\text{tg } \delta$) за температури 90 °С становить не більше 0,001.
4. Теплова стійкість матеріалу до деформацій перевіряється при температурі 200 °С та навантаженні 20 Н/см² протягом 15 хвилин:
 - допустиме подовження під навантаженням – не більше 175 %;
 - залишкова деформація після охолодження – не більше 15 %.

5. Водопоглинання після 14-денного занурення у воду при температурі 85 °C – не більше 1 мг/см².

Переваги XLPE-кабелів порівняно з кабелями, ізольованими просоченим папером

Кабелі із зшитим поліетиленом мають значну кількість експлуатаційних переваг у порівнянні з традиційними конструкціями на основі просоченого паперу:

- Вища допустима робоча температура ізоляції забезпечує збільшене струмове навантаження (див. табл. 1.1).
- Краще витримують термічне навантаження при виникненні коротких замикань.
- Мають меншу масу та діаметр, що значно спрощує монтаж, особливо на складних трасах.
- Допускають менший радіус вигину без пошкодження ізоляції.
- Підходять для укладання на трасах з перепадом висот без обмежень.
- Завдяки відсутності рідких компонентів у конструкції кабелю не потребують підживлювального обладнання, що знижує загальні витрати на будівництво, обслуговування і ремонт.
- Відзначаються простою технологією монтажу з'єднувальних та кінцевих муфт.
- Не мають витоків рідин, що мінімізує ризики для навколишнього середовища.
- Можуть прокладатися при знижених температурах без необхідності попереднього підігріву.
- Забезпечують більші будівельні довжини, що скорочує кількість з'єднань по трасі.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика кабелів з XLPE-ізоляцією та кабелів з паперовою просоченою ізоляцією

Параметр	XLPE-кабелі	Кабелі з ППІ
Діапазон робочих напруг, кВ	6–330	6–110
Максимальна робоча температура, °C	+90 (короткочасно до +250 при КЗ)	+70 (короткочасно до +160 при КЗ)
Токонавантажувальна здатність	Вища на 15–30 %	Нижча
Діелектрична проникність ϵ_r	$\approx 2,4$ – $2,5$	$\approx 3,5$ – $4,0$
$\tan \delta$ (при 90 °C)	$\leq 0,001$	$\approx 0,01$ – $0,015$
Теплова стійкість до деформації	Висока (до 200 °C без структурних змін)	Середня (чутлива до перегрівів і старіння масла)
Маса та діаметр кабелю	Менші	Більші
Радіус вигину	Менший ($\approx 10 \times D$)	Більший ($\approx 15 \times D$)
Максимальна довжина барабану (будівельна довжина)	До 1000 м і більше	200–400 м
Монтаж муфт та кінців	Простий, не вимагає спеціального обладнання	Складний, потребує герметизації та підігріву
Прокладання при низьких температурах	Можливе (до -15 °C без підігріву)	Не рекомендується (підігрів обов'язковий)
Екологічність	Безрідинна конструкція, без ризику витоків	Наявність масла, можливість витоків
Загальна надійність і довговічність	30–40 років без деградації за нормальних умов	25–30 років, залежить від стану ізоляції та герметичності
Ціна кабелю	Дещо вища, але компенсується зниженими витратами на обслуговування	Нижча ціна, але вищі експлуатаційні витрати

Обраний кабель для кабельної лінії електропередачі повинен відповідати низці технічних і нормативних вимог, зокрема:

- відповідати чинним стандартам пожежної безпеки, екологічності та санітарно-гігієнічним нормам;
- бути придатним для роботи на задану номінальну напругу мережі;

- бути стійким до корозійного впливу ґрунтів у місцях прокладання, що забезпечується відповідними властивостями зовнішньої оболонки;
- витримувати допустиме нагрівання жил у тривалому режимі роботи, при перевантаженнях і коротких замиканнях;
- не перевищувати допустимі температурні обмеження для екрана при протіканні струмів короткого замикання;
- забезпечувати обмеження напруги на екрані в як нормальному, так і в аварійному режимі функціонування;
- витримувати допустимі поздовжні та поперечні механічні навантаження, що виникають під час прокладання;
- бути достатньо міцним на випадок деформацій будівельних конструкцій або зсувів ґрунту, а також при дії струмів короткого замикання;
- не перевищувати гранично допустимий рівень електромагнітного впливу, який створюється під час роботи кабелю.

При новому будівництві, реконструкції чи технічному переоснащенні кабельних ліній заборонено:

- використовувати силові кабелі, які не відповідають вимогам щодо вмісту токсичних речовин, що виділяються під час горіння, згідно з ДСТУ 4809 — у місцях прокладання;
- застосовувати кабелі з паперово-масляною ізоляцією на основі натуральних органічних масел в алюмінієвій оболонці;
- монтувати кабелі із XLPE-ізоляцією, які не пройшли типові випробування відповідно до HD 620 S2 (частина 10) та HD 605 S2 — для напруг до 36 кВ;
- використовувати азбестоцементні труби для прокладання кабельних трас.

1.2 Конструктивна будова кабелю

До основних складових кабелів із ізоляцією зі зшитого поліетилену належать:

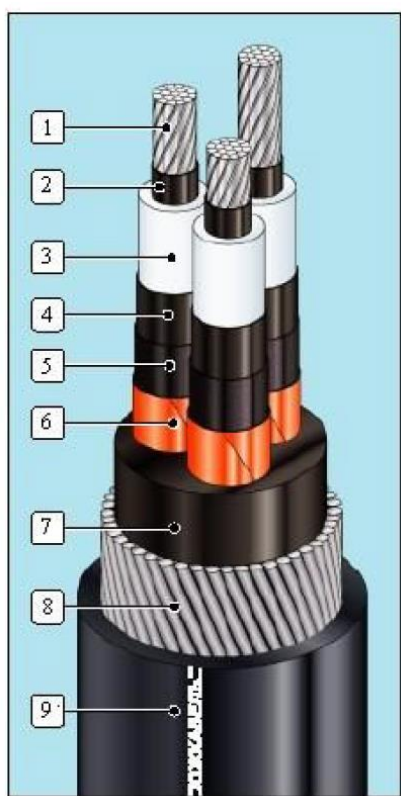
- **Струмопровідна жила** — виготовляється з алюмінію або міді, має багатодротяну ущільнену структуру. Для одножильних кабелів переріз жил становить від 35 до 800 мм², для трижильних — від 35 до 240 мм². За потреби передбачається захист від подовжнього проникнення вологи — за рахунок гідрофільних (набухаючих) ниток.
- **Ізоляційна система** — складається з трьох шарів: внутрішнього напівпровідного, основного ізоляційного шару та зовнішнього напівпровідного. Усі три шари накладаються одночасно методом потрійної екструзії. Напівпровідні шари щільно з'єднані з ізоляцією, що підвищує механічну і термічну стійкість кабелю, особливо під час коротких замикань і теплових циклів.
- **Екран** — виконується у вигляді комбінованого обплетення з мідних дротів і стрічок. Номінальний переріз екрана — від 16 до 120 мм². Для запобігання поширенню вологи по довжині кабелю екран може бути оснащений алюмополімерною стрічкою, яка приварюється до зовнішньої оболонки.
- **Зовнішня оболонка** — формується методом екструзії з одного з таких матеріалів: поліетилен високої щільності, безгалогенова композиція, що не підтримує горіння, або ПВХ-пластикат. Вибір матеріалу залежить від вимог до пожежної безпеки, механічної міцності та екологічності.

Типи виконання кабелів:

- з броньованим захистом зі сталевих оцинкованих стрічок (для трижильних кабелів);
- з бронею із оцинкованого сталевого дроту (також лише для трижильних кабелів);
- з алюмінієвою дровою бронею (для одножильних кабелів);

- у варіанті «нг» — не поширюють горіння;
- у варіанті «нгд» — знижене димоутворення та виділення корозійноактивних газів;
- у варіанті «нг-НГ» — без вмісту галогенів;
- у тропічному виконанні для експлуатації в умовах підвищеної вологості та температур.

Приклад конструкції можна побачити на прикладі трижильного кабелю марки АПвЭКВ.



- 1 - алюмінієва струмопровідна жила
- 2 - внутрішній екструдований шар, що напівпроводить,
- 3 - екструдована ізоляція із зшитого поліетилену,
- 4 - зовнішній екструдований шар, що напівпроводить,
- 5 - обмотка полотном, що напівпроводить,
- 6 - мідний екран
- 7 - екструдована внутрішня оболонка
- 8 - броня із сталевих оцинкованих дротів
- 9 - екструдована зовнішня оболонка з ПВХ пластикату

Рисунок 1.2 - Конструкція трижильного кабелю марки АПвЭКВ

При виборі типу кабелю слід обов'язково враховувати агресивність навколишнього ґрунтового середовища, зокрема наявність блукаючих струмів або хімічних речовин, здатних пошкодити зовнішню ізоляцію. У випадках, коли ґрунт або ґрунтові води мають високу корозійну активність, доцільно застосовувати кабелі з оболонкою зі свинцю або його сплавів, що забезпечує додатковий захист від дії агресивного середовища.

1.3 Марки кабелів

Марка кабелю містить коротке позначення конструктивних елементів, які визначають основні умови прокладення і експлуатації кабелю. Марки кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену на напругу від 6 до 35 кВ містять наступні позначення:

Символ у маркуванні	Розшифрування
А	Алюмінієва струмопровідна жила
В	Полівінілхлоридна (ПВХ) ізоляція або оболонка
П	Плоска форма кабелю
Пв	Поліетилен високої щільності (для оболонки або ізоляції)
ПвЕ	Ізоляція зі зшитого поліетилену (XLPE)
ПвЭ	Еквівалент позначення XLPE в російській системі
К	Кабель силовий
Э	Екран з мідного дроту і стрічки
КВ	Кабель з ізоляцією зі зшитого поліетилену
Г	Без броні (гнучкий варіант прокладання)
Б	Броня зі сталевих стрічок
ББШв	Броня двома сталевими стрічками, зовнішня оболонка з ПВХ
нг	Не поширює горіння
нгд	Не поширює горіння, знижене димоутворення
нг-НF	Не поширює горіння, безгалогенна оболонка
НF	Halogen Free (без галогенів)
Т	Тропічне виконання
LS	Low Smoke (низьке димоутворення)
FR	Вогнестійке виконання (Fire Resistant)

Рисунок 1.3 – Позначення марки кабелю із зшитого поліетилену

Приклад повного маркування:

АПвЭКВнг-НF 3×120/25

де:

- - А – алюмінієва жила
- - ПвЭ – ізоляція зі зшитого поліетилену

- - К – кабель
- - В – оболонка з ПВХ
- - Э – мідний екран
- - нг-НФ – не поширює горіння, без галогенів
- - 3×120/25 – три жили перерізом 120 мм² з екраном 25 мм²

Кабелі з ізоляцією зі зшитого поліетилену оснащені суцільною зовнішньою оболонкою, тому під час проєктування необхідно передбачити комплекс захисних заходів для запобігання її механічному пошкодженню під час транспортування, прокладання, монтажних робіт, а також для забезпечення електричної цілісності під час подальшої експлуатації.

1.4 Номінальна напруга

Кабелі зі зшитого поліетилену призначені для роботи в мережах змінного струму з частотою 49–61 Гц, як із заземленою нейтраллю, так і з ізольованою.

Під час вибору номінальної напруги кабелю доцільно орієнтуватися на вимоги міжнародних стандартів **ІЕС 60183:1984** та **ІЕС 60502-2:2005**, які поділяють електричні мережі на три категорії: А, В і С:

- **Категорія А** включає мережі, де у випадку замикання фази на землю або екран із заземленням, ушкоджена фаза автоматично відключається протягом 1 хвилини.
- **Категорія В** охоплює мережі, що можуть продовжувати роботу певний час за наявності однієї заземленої фази. Згідно з ІЕС 60183, 1984, допустимий час такої роботи — не більше 1 години. Відповідно до ІЕС 60502-2, 2005, та чинних технічних норм, цей період може бути подовжений до 8 годин для одного окремого замикання, але загальна тривалість усіх замикань на землю не повинна перевищувати 125 годин на рік.
- **Категорія С** охоплює всі інші мережі, які не підпадають під вимоги категорій А або В.

У випадку, якщо в електричній мережі передбачаються часті та триваліші замикання на землю, ніж допускається в мережах категорії В, доцільно відносити таку мережу до категорії С.

Вибір номінальної напруги кабелю U залежить від класу мережі та її категорії. Відповідні значення наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Значення $U_{\text{ном}}$ кабелю залежно від категорії і U мережі

Напруга електричної мережі, кВ		Рекомендована $U_{\text{ном}}$ кабелю, кВ	
Номінальне U_0/U	Максимальне U_m	Для мереж категорій А і В	Для мереж категорії С
3,6/6 або 3,8/6,6	7,2	6	10
6/10 або 6,35/11	12	10	15
8,7/15	17,5	15	20
12/20 або 12,7/22	24	20	30
18/30 або 19/33	36	30	—
20,2/35	42	35	—

1.5 Область застосування та експлуатаційні умови

У таблиці 1.3 наведено основні типи кабелів та відповідні області їх використання.

Таблиця 1.3 - Основні марки кабелів і сфери їх застосування

Марка кабелю	Тип жили / ізоляції / оболонки / додаткові елементи	Основні сфери застосування
АПвП	Алюмінієва жила / XLPE / поліетиленова оболонка	Прокладання в ґрунті, електропостачання промислових і житлових об'єктів
ПвВГ	Мідна жила / XLPE / ПВХ-оболонка	Внутрішні мережі, освітлення, загальне електропостачання будівель
АПвБШв	Алюмінієва жила / XLPE / броня зі сталевих стрічок / ПВХ-оболонка	Ґрунтові траси з підвищеним механічним навантаженням

ПвКГнг-НН	Мідна жила / XLPE / безгалогенна оболонка / не поширює горіння	Приміщення з підвищеними вимогами пожежної безпеки (школи, лікарні, ТРЦ, тунелі)
АПвЭКВнг-LS	Алюмінієва жила / XLPE / мідний екран / низьке димоутворення	Громадські споруди, офіси, об'єкти інфраструктури з обмеженою вентиляцією
ПвКПнг-НН	Мідна жила / XLPE / безгалогенна оболонка / екранований	Автоматизовані системи керування, сигналізація, прокладання в кабельних каналах і тунелях
АПвПу2г	Алюмінієва жила / XLPE / безгалогенна поліетиленова оболонка / посилений захист	Промислові об'єкти, де є агресивне середовище або підвищені вимоги до екологічної безпеки
ПвВБШвнг	Мідна жила / XLPE / броня / ПВХ-оболонка / не поширює горіння	Прокладання у вибухонебезпечних зонах, підземні комунікації, складні інженерні умови

Прокладання кабелів на відкритому повітрі дозволяється за умови обов'язкового захисту від ультрафіолетового випромінювання. Водночас, кабелі з оболонкою із поліетилену або з полімерної композиції, яка не підтримує горіння, можуть укладатися без спеціального захисту від сонця.

Також дозволяється повітряне прокладання кабелів із зовнішньою поліетиленовою оболонкою, зокрема в кабельних спорудах, за умови забезпечення додаткових протипожежних заходів.

Кабелі з позначенням «нг» та «нгд» призначені для групового прокладання в кабельних приміщеннях і спорудах, включно з пожежонебезпечними зонами. Маркування «нгд» вказує на придатність до використання в місцях, де, окрім вимог до непоширення горіння, важливими є низьке димоутворення та знижене виділення токсичних і корозійноактивних продуктів горіння. Такими об'єктами можуть бути атомні та теплові електростанції, метрополітени, висотні будівлі, великі промислові підприємства тощо.

Кабелі з позначкою «нг-НН» призначені для застосування в середовищах, де встановлені вимоги до мінімального утворення диму, відсутності галогенів і низької агресивності продуктів горіння. Кабелі з посиленою поліетиленовою оболонкою рекомендовано застосовувати на складних ділянках прокладання.

До таких складних ділянок відносять:

- траси з понад чотирма поворотами, кожен з яких має кут понад 30°;
- прямолінійні сегменти з більш ніж чотирма вставками в труби довжиною понад 20 м або з понад двома вставками в труби довжиною понад 40 м.

Кабелі призначені для експлуатації в стаціонарних умовах за таких температур довкілля:

- від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ — для кабелів із ПВХ-оболонкою;
- до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ — для кабелів із ПВХ-оболонкою зі зниженими пожежними характеристиками;
- до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ — для кабелів із поліетиленовою оболонкою;
- від $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$ — для кабелів у тропічному виконанні.

Допустима температура нагрівання струмопровідних жил під час тривалої експлуатації становить до **90 °C**. У разі короткого замикання температура може досягати до **250 °C**, але не більше ніж на **5 секунд**. Для екрана кабелю при КЗ максимально допустима температура — до **350 °C**.

У режимі перевантаження дозволене нагрівання жил до **130 °C**, за умови, що загальна тривалість такого режиму не перевищує **8 годин на добу** та **1000 годин протягом усього терміну служби кабелю**.

1.6 Визначення номінального перерізу жил і екранів відповідно до навантажувальної здатності

Вибір номінального перерізу струмопровідних жил кабелю здійснюється з уніфікованого ряду значень: 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500; 630

(625); 800 мм². Конкретний діапазон перерізів залежить від конструктивного виконання кабелю та його класу напруги. Відповідні значення наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Діапазон номінальних перерізів струмопровідних жил залежно від типу кабелю та класу напруги

Тип кабелю	Номінальна напруга, кВ
	6
Одножильні (у т.ч. з алюмінієвою дровою бронею)	35–800 мм ²
Трижильні неброньовані або з бронею зі сталевих стрічок	35–240 мм ²
Трижильні з бронею зі сталевих дроту	35–240 мм ²
Трижильні з загальним екраном	35–240 мм ²

Вибір перерізу виконується на основі розрахункового значення тривалого допустимого струму, який визначається з урахуванням температурного режиму, середовища прокладання та специфіки експлуатації. Отримані значення коригуються за допомогою поправочних коефіцієнтів, які враховують реальні умови охолодження кабелю.

При цьому необхідно враховувати найгірші умови прокладання на окремих ділянках траси, якщо довжина таких ділянок перевищує 10 м. Остаточне значення тривалого допустимого струму визначається, виходячи з потужності, яку необхідно передати, за відповідною формулою.

$$I = \frac{P_{\text{розр.макс}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi}, [A] \quad (1.1)$$

де:

P – потужність, що передається, кВт;

U – номінальна лінійна напруга, Кв;

φ – кут зсуву фаз між напругою та струмом.

Або згідно з ДСТУ ІЕС 60287-1-1, ДСТУ ІЕС 60287-2-1 тривало допустимий струм визначається:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\theta - W_d \cdot (0,5 \cdot T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4))}{R \cdot T_1 + n \cdot R(1 + \lambda_1)T_2 + n \cdot R(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)}}, \quad (1.1.1)$$

де:

$\Delta\theta$ – різниця температур між струмовідною жилою та зовнішнім середовищем, °С;

W_d – діелектричні втрати на одиницю довжини, Вт/м;

T_1 – тепловий опір між жилою та металевим екраном (оболонкою),
К·м /Вт;

T_2 – тепловий опір між металевим екраном (оболонкою) та бронею,
К·м /Вт;

T_3 – тепловий опір зовнішньої ізоляції кабелю, °С·м /Вт;

T_4 – тепловий опір середовища, що оточує кабель, °С·м /Вт;

R – погонний електричний опір струмовідної жили змінному струму
за максимально допустимої температури жили, Ом /м;

n – кількість жил у кабелі;

λ_1, λ_2 – відношення загальних втрат у металевих екранах (оболонках) і броні
до суми втрат у струмовідних жилах.

Пропускну здатність кабельної лінії, або тривало допустимий струм, можна підвищити за рахунок реалізації низки технічних заходів, серед яких:

- зменшення втрат потужності у зовнішніх оболонках та екранах кабелю;

- часткова або повна заміна ґрунту в траншеї на матеріал із нижчим тепловим опором;
- зволоження ґрунту вздовж траси кабелю відповідно до вимог СОУ-Н МЄВ (не більше 10% від загальної довжини);
- оптимальне просторове розміщення кабелів у траншеї з урахуванням їх теплової взаємодії;
- використання систем примусового (штучного) охолодження.

Передавана потужність визначається з урахуванням можливих післяаварійних навантажень та необхідного резерву потужності в електричній системі. У випадку, коли передбачено прокладання декількох паралельних кабельних ліній для передачі потужності P , доцільно виконати техніко-економічне обґрунтування, враховуючи витрати на придбання, прокладання, монтаж і подальшу експлуатацію кабельної інфраструктури.

1.7 Здатність кабелю витримувати перевантаження

Завдяки значній теплоємності ґрунту, температура струмопровідних жил кабелю, прокладеного під землею, зростає повільніше, ніж у випадку повітряної прокладки. Це дозволяє короткочасно перевищувати допустиме тривале навантаження без порушення допустимих температурних меж.

Зокрема, для підземно прокладених кабелів можливе короткочасне підвищення струмового навантаження, за умови що температура струмопровідної жили не перевищуватиме 90 °C.

На рисунках 1.2 та 1.3 представлені перевантажувальні характеристики — графіки, що демонструють залежність максимально допустимої тривалості перевантаження від її кратності для одножильних і трижильних кабелів при їх першому включенні (тобто без попереднього теплового навантаження, коли $\tau_1 = 0$).

Криві побудовані на основі відповідної розрахункової формули, яка враховує теплову інерційність кабельної ізоляції та середовища прокладання.

$$\frac{I}{I_{\text{ном}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - e^{-t_{\text{пер}}/\beta}}} \quad (1.2)$$

де:

I – струм перевантаження, А;

$I_{\text{ном}}$ – тривалодопустимий струм в землі, А;

$t_{\text{пер}}$ – допустима тривалість перевантаження, А;

β – постійна часу нагріву, год (див. табл. 1.5, 1.6)

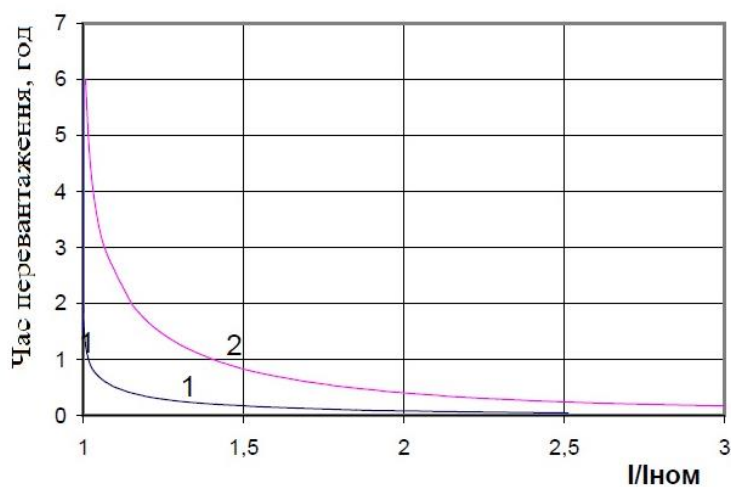


Рисунок 1.5 – Перевантажувальна крива при початковому включенні
одножильного кабелю:

1 – для перерізу жили 32 мм², 2 – для перерізу жили 800 мм²;

Таблиця 1.5 – Постійна часу нагріву для одножильних кабелів

Номінальний переріз жили	β , ч, для одножильних кабелів	
	З мідною жилою	З алюмінієвою жилою
35	0,31	0,30
50	0,34	0,32
70	0,38	0,35
95	0,42	0,38
120	0,47	0,42
150	0,51	0,45
185	0,57	0,50

240	0,65	0,55
300	0,75	0,64
400	0,87	0,74

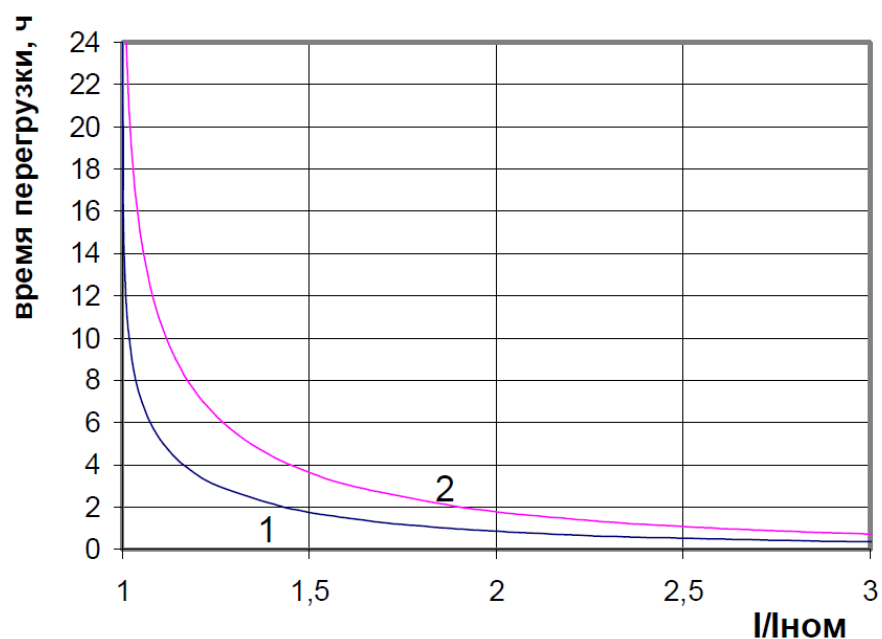


Рисунок 1.6 – Перевантажувальна крива при початковому включенні трижильного кабелю:

1 – для перерізу жили 32 мм²; 2 – для перерізу жили 240 мм²;

Таблиця 1.6 – Постійна часу нагріву для трижильних кабелів

Номінальний переріз жили	β, ч, для трижильних кабелів	
	З мідною жилою	З алюмінієвою жилою
35	3,15	3,05
50	3,36	3,23
70	3,66	3,47
95	4,01	3,77
120	4,30	4,02
150	4,69	4,35
185	5,08	4,69

алюміній	3,3	4,7	6,6	8,9	11,3	14,2	17,5	22,7	28,2	37,6	47,0	59, 0	72,5
мідь	5,0	7,2	10	13,6	17,2	21,5	26,5	34,3	42,9	57,2	71,5	90, 1	114,4

Таблиця 1.8 – Розрахункові густини струмів КЗ

Матеріал жили	Розрахункова густина струму КЗ, А/мм ² , (при тривалості КЗ 1 с), для температури жили до початку КЗ в °С							
	90	80	70	60	50	40	30	20
мідь	143	149	154	159	165	170	176	181
алюміній	94	98	102	105	109	113	116	120

Таблиця 1.9 – Допустимі односекундні струми КЗ екрану

Переріз мідного екрану, мм ²	16	25	35	50	70	95	120
Допустимий односекундний струм к.з. екрану, кА	3,3	5,1	7,1	10,2	14,2	19,3	24,4

Для розрахунку тривалого допустимого струму в алюмінієвій жилі кабелю з перерізом 240 мм² з урахуванням умов прокладання використовуються відповідні поправочні коефіцієнти.

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.с}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5, \quad (1.4)$$

де:

Позначення коефіцієнтів корекції, які враховують умови прокладання кабелю:

- **k₁** — коефіцієнт, що враховує наявність або тип кабельної інфраструктури.

При прокладанні кабелю безпосередньо в ґрунт значення **k₁ = 1**.

- k_2 — коефіцієнт, що враховує зміну глибини прокладання кабелю відносно стандартного значення 0,8 м. Наприклад, при глибині прокладання 1 м, $k_2 = 0,97$.
- k_3 — коефіцієнт, який коригує розрахунок у випадку, якщо температура ґрунту відрізняється від 20 °С.
- k_4 — поправочний коефіцієнт, що враховує зміну питомого теплового опору ґрунту відносно нормативного значення 1,5 К·м/Вт.
- k_5 — коефіцієнт, що враховує кількість трифазних груп одножильних кабелів, які укладаються безпосередньо в ґрунт за схемою «трикутник». Якщо прокладається три кабельні лінії з міжосьовою відстанню 200 мм, то $k_5 = 0,77$.

Вважається, що обраний переріз алюмінієвої жили кабелю відповідає вимогам пропускної здатності для всієї довжини траси, якщо дотримується відповідна умова:

$$I_{\text{доп}}, A > I_{\text{розр.макс}}, A. \quad (1.5)$$

Допустимий струм КЗ буде розраховуватися за формулою:

$$I_{\text{доп.кз}(t)} = \frac{I_{\text{доп.кз}}}{\sqrt{t}} \quad (1.6)$$

де:

t — час повного відключення КЛ

При виборі перерізу мідного екрану кабелю повинна виконуватися умова:

$$I_{\text{кз.екр}} > I_{\text{кз}}^{(2)} \quad (1.7)$$

де:

$I_{\text{кз.екр}}$ — допустимий струм КЗ по екрану;

$I_{\text{кз}}^{(2)}$ — струм двофазного КЗ.

Величина двофазного струму КЗ визначається за формулою:

$$I_{\text{КЗ}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{КЗ.макс}}^{(3)} \quad (1.8)$$

де:

$I_{\text{КЗ макс}}^{(3)}$ – максимальний струм КЗ на шинах 10кВ ПС.

1.9 Заземлення екранів

1.9.1 Двостороннє заземлення екранів

При такому способі заземлення екрани кабелів підключаються до заземлення з обох кінців кабельної лінії (див. рис. 1.7). У цьому випадку в екранах виникають циркулюючі струми, що призводить до додаткових втрат енергії.

Рівень цих втрат залежить від схеми прокладання кабелю:

- при укладанні кабелів у конфігурації **«трикутник»** втрати в екранах є меншими порівняно з укладанням **в одній площині**;
- якщо ж кабелі прокладено в одній площині, доцільно виконувати **транспозицію** (періодичну зміну взаємного розташування фаз) щонайменше в **двох точках** уздовж траси (див. рис. 1.8), що дозволяє зменшити струми в екранах і, відповідно, втрати.

У місцях транспозиції рекомендується витримувати відстань між кабелями в світлі не менше діаметра самого кабелю для забезпечення належних умов охолодження та електромагнітної сумісності.

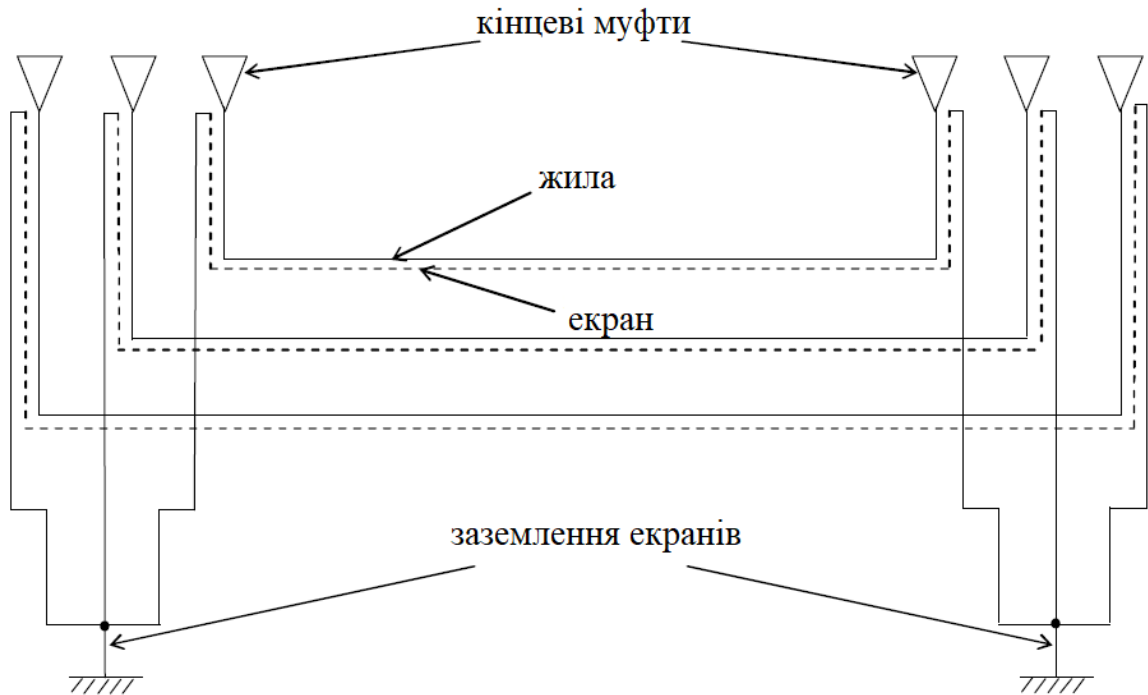


Рисунок 1.7 – Заземлення екранів з двох кінців КЛ

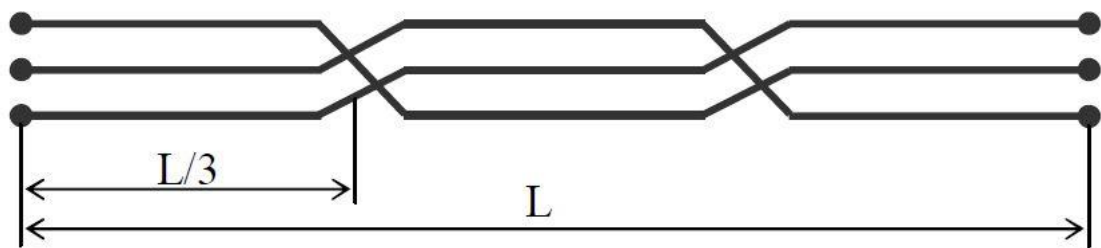


Рисунок 1.8 – Транспозиція кабелів

Коли струмопровідні екрани кабелів заземлені з обох кінців, у них індукується струм, зумовлений протіканням робочого струму по струмопровідній жилі. Якщо кабелі укладено за схемою «**трикутник**», значення наведеного струму в екрані визначається за такою формулою:

:

$$I_e = I_{\text{розр.макс}} \cdot \sqrt{\frac{0,0019}{R_{70}^2 + 0,0019}}, \quad (1.9)$$

де:

I_e – наведений струм екрана;

$I_{\text{розр.макс}}$ – максимальний робочий струм КЛ;

R_{70}^2 – питомий активний опір екрану кабелю за температури 70°C.

Наведений струм екрану рівний

$$I_e = I_{\text{розр.макс}} \cdot \sqrt{\frac{0,0019}{R_{70}^2 + 0,0019}} \quad (1.10)$$

1.9.2 Одностороннє заземлення екрана

У цьому варіанті екрани кабелів об'єднуються та заземлюються лише на одному кінці кабельної лінії. На протилежному кінці вони підключаються до заземлення через обмежувач перенапруги (ОПН) (див. рис. 1.9).

Такий спосіб заземлення призводить до виникнення **наведеної електричної напруженості (Е)** на екранах, яка прямо залежить від величини робочого струму в жилі кабелю та довжини траси (**L**).

Основні втрати в екрані при односторонньому заземленні зумовлені вихровими струмами, однак вони значно менші порівняно з варіантом двостороннього заземлення, що дозволяє збільшити допустиме довготривале струмове навантаження кабелю.

Слід враховувати, що при такому варіанті з'єднання максимально допустима довжина кабельної лінії обмежується граничною напругою, яка може виникати на екрані.

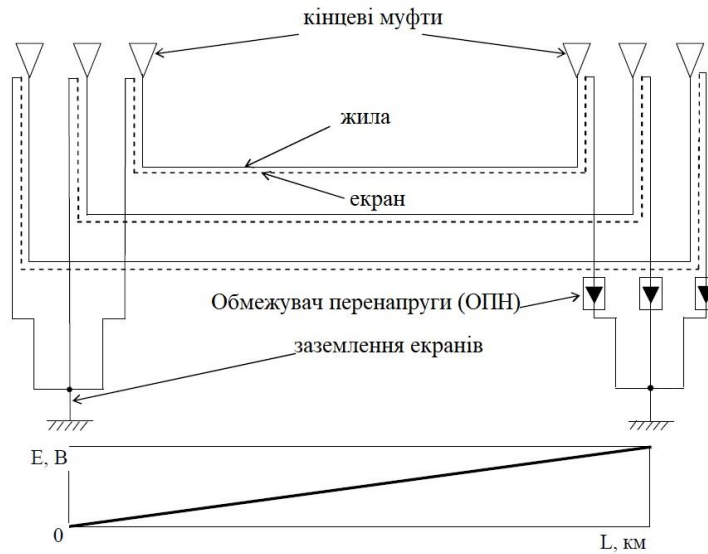


Рисунок 1.9 – Загальний вигляд заземлення екрану на одному кінці лінії

У разі одностороннього заземлення екранів кабелів, на незаземленому кінці кабельної лінії виникає **наведена напруга щодо землі** — $U_{\text{с.н.}}$.

У штатному режимі експлуатації величина цієї наведеної напруги не повинна перевищувати допустиме значення ефективної напруги змінного струму, яке становить не більше ніж 70 % від випробувальної напруги постійного струму $U_{\text{об.випр.}}$, встановленої для оболонки кабелю.

$$U_{\text{с.н.}} = I_{\text{р.макс}} \cdot l \cdot X_{\text{м}} < 0,7 \cdot U_{\text{об.випр.}} \quad (1.11)$$

де:

$I_{\text{р.макс}}$ – максимальний робочий струм КЛ;

l – довжина КЛ;

$X_{\text{м}}$ – погонний індуктивний опір екрана кабелю за нормального режиму роботи;

$U_{\text{об.випр.}}$ – випробувальна напруга постійного струму для оболонки кабелю.

Погонний індуктивний опір екрана кабелю обчислюють за формулою:

$$X_{\text{м}} = \omega \cdot M; \quad (1.12)$$

де:

ω – циклічна (кутова) частота змінного струму

при частоті $f = 50$ Гц, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 314 \text{ с}^{-1}$;

M – погонний коефіцієнт взаємодукції жила-екран, Гн/км.

Коефіцієнт взаємодукції M визначають за формулою:

$$M = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \gamma, \quad (1.13)$$

де:

γ – безрозмірний параметр впливу конфігурації взаємного розташування жил і екранів кабелів у просторі.

У разі нормального трифазного режиму роботи, при прокладанні кабелів за схемою «в трикутник» параметр γ розраховуємо за формулою:

$$\gamma = 0,5 \cdot \ln \left(\beta^2 \cdot \sqrt{\left(1 + \left(\sqrt{3} + \frac{1}{\beta} \right)^2 \right) \cdot \left(1 + \frac{1}{\beta^2} \right)} \right), \quad (1.14)$$

де:

$\beta = s/D_e$ – безрозмірний параметр;

D_e – зовнішній діаметр кабелю, $D_e = 0,039$ м;

s – відстань між центрами жил двох сусідніх кабелів однієї КЛ.

Оскільки кабельна лінія прокладається за схемою «трикутник», і кабелі розміщуються щільно один до одного, відстань між їхніми центрами s дорівнює зовнішньому діаметру кабелю D_e .

У разі трифазного короткого замикання напруга, що індукується на незаземленому кінці екрана, не повинна перевищувати припустиме значення діючої напруги змінного струму. Цей рівень встановлюється як **70 % від**

випробувальної напруги постійного струму $U_{об.випр.}$, допустимої для зовнішньої оболонки кабелю.

$$U_{е.КЗ.} = I_{КЗ.}^{(3)} \cdot l \cdot X_M < 0,7 \cdot U_{об.випр.} \quad (1.15)$$

Параметр γ у режимі трифазного короткого замикання визначається за тією ж методикою, що й для нормального трифазного навантаження.

Для забезпечення захисту зовнішньої оболонки кабелю під час короткого замикання на незаземленому кінці екрана передбачено встановлення **обмежувача перенапруги (ОПН)**.

Ефективне функціонування ОПН для захисту ізоляційної оболонки можливе лише за дотримання певних умов.

$$U_{е.н.} = I_{р.макс} \cdot l \cdot X_M < U_{доп.} \quad (1.16)$$

$$U_{е.КЗ.} < U_{доп.} \cdot T(t_{КЗ.}) \quad (1.17)$$

У випадку встановлення обмежувачів перенапруги (ОПН) на незаземленому кінці екрана кабельної лінії, слід передбачити технічну можливість **відключення (або шунтування) ОПН** та підключення екрана безпосередньо до заземлювача під час проведення ремонтних робіт.

Якщо прокладаються паралельно кілька одножильних кабелів із одностороннім заземленням екранів, необхідно виконати перевірку **наведеної напруги на екрані** в ремонтному режимі. Це пояснюється тим, що при відключенні однієї з кабельних ліній для обслуговування або ремонту, на її екрані може з'явитися **наведена напруга $U_{е.р.}$** , зумовлена магнітним впливом від суміжної лінії, яка перебуває в нормальному режимі роботи із симетричним навантаженням.

До моменту накладання тимчасового заземлення, **наведена напруга $U_{е.р.}$ на незаземленому екрані відключеної кабельної лінії не повинна перевищувати 24 В.**

$$U_{е.р.} = I_{р.макс} \cdot l \cdot X_M \leq 24 \text{ В}, \quad (1.18)$$

де: $I_{р.макс}$ – максимальний робочий струм КЛ, що залишається в роботі

1.9.3 Перехресне (поперечне) з'єднання екранів

У цьому варіанті заземлення екрани суміжних кабелів з'єднуються між собою та приєднуються до заземлення через обмежувачі перенапруги (ОПН), розміщені на рівномірних відстанях уздовж траси кабельної лінії (див. рис. 1.10).

Максимальна наведена напруга в такій схемі виникає в місцях розміщення з'єднувальних коробок, а втрати енергії в екранах спричинені лише вихровими струмами.

Тривало допустимі навантаження за струмом можуть бути збільшені аналогічно варіанту одностороннього заземлення (рис. 1.11), однак на відміну від нього, **довжина кабельної лінії в цьому випадку не обмежується.**

Для реалізації такого способу заземлення потрібне додаткове обладнання — зокрема, **екранорозподільчі муфти та з'єднувальні коробки.**

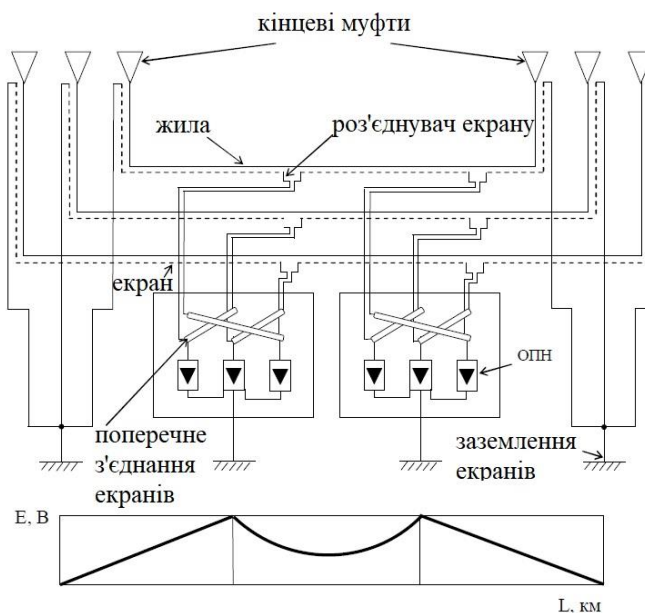


Рисунок 1.10 – Загальний вигляд поперечного з'єднання екранів



а)



б)

Рисунок 1.11 - Коефіцієнт збільшення тривало допустимого струмового навантаження одножильних кабелів: а) для кабелів з мідною жилою; б) для кабелів з алюмінієвою жилою

Захист зовнішніх оболонок кабелів від дії перенапруг здійснюється за допомогою **обмежувачів перенапруги (ОПН)**, які підключаються між оболонкою кабелю та системою заземлення (див. рис. 1.9, 1.10).

Щоб правильно обрати тип ОПН, необхідно попередньо визначити:

- **максимальне значення напруги**, що може прикладатися до клем обмежувача;
- **граничну тривалість замикання на землю**, яка може виникнути в аварійних режимах.

Після цього обмежувач підбирається згідно з **кривою допустимої тимчасової перенапруги**. При цьому важливо, щоб реальна напруга на ОПН під час дії перенапруження не перевищувала або не виходила за межі цієї характеристики.

2 ТРАСИ І СПОСОБИ ПРОКЛАДАННЯ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ З ІЗОЛЯЦІЄЮ ІЗ ЗШИТОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ

2.1 Траси прокладання

Перед початком прокладки траса кабелю повинна бути підготовлена і прийнята за актом від будівельної організації. Допускається приймання траси виконувати ділянками від муфти до муфти.

Приймання траси повинні виконувати представники замовника, монтажної організації і шеф монтажної організації.

У процесі приймання траси перевіряється її відповідність проектної документації, вимогам ПУЕ та СНиП та вимогам, викладеним нижче.

До прокладки кабелю повинні бути закінчені всі будівельні роботи на кабельних конструкціях і в виробничих приміщеннях, включаючи оздоблювальні роботи, монтаж вентиляції, освітлення, систем пожежогасіння та водовідведення.

1) Підготовка траси включає:

- установку опорних конструкцій і каркасів протипожежних перегородок в кабельних спорудах;
- установку опорних стійок для кінцевих муфт;
- підготовку перетинів з іншими комунікаціями, проходів для введів в стіни будівель;
- підготовку блоків і траншей;
- підготовку майданчиків для установки барабанів з кабелем і тягової лебідки.

Сварка в кабельних конструкціях повинна бути виконана до прокладки кабелів; цегляна кладка перегородок може бути виконана після прокладки.

2) Підготовка траншей:

- з траншеї повинна бути видалена вода, каміння і сторонні предмети;
- має бути сплановано дно траншеї;
- на дні траншеї або лотків повинна бути зроблена підсипка товщиною 100 мм піщано-гравійною сумішшю, в кабельних колодязях з сполучними муфтами - підсипка товщиною не менше 300 мм;

- уздовж траси повинна бути заготовлена піщано-гравійна суміш для засипки кабелів і залізобетонні плити, передбачені проектом;
- в місцях розташування з'єднувальних муфт повинні бути вириті котловани, з них повинна бути видалена вода, на дні котлованів повинні бути покладені залізобетонні плити;
- на заходах в котловани і колодязі при необхідності повинні бути вириті прямки для укладання кабелів після монтажу муфт;
- при використанні лотків вони повинні бути покладені на дно траншеї на непорушену структуру ґрунту і зістиковано так, щоб не було зсуву лотків відносно один одного в горизонтальній і вертикальній площинах. На кутах повороту стики між лотками повинні бути скріплені бетоном;
- на ділянках з сипучими або вологими ґрунтами стінки траншеї повинні бути розкріплені дерев'яними щитами. Висота щитів повинна бути обрана так, щоб уникнути змиву ґрунту під час дощу. Кріплення не повинні заважати роботам по прокладанню кабелю. Кріплення стін траншеї повинно також виконуватися при проходженні траси лінії під проїжджою частиною і тротуарами, а також в місцях, що не допускають розриття траншеї з укосами (обмежені умови).

Приклади прокладки кабелів в траншеї наведені на рисунку 2.1, 2.2, та 2.3.

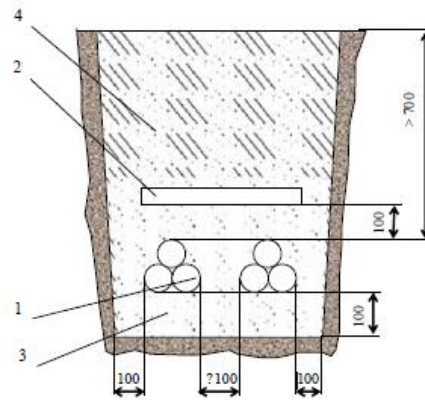


Рисунок 2.1 1 - кабель 10 кВ; 2 - залізобетонна плита; 3 – піщано – гравійна суміш; 4 - засипний ґрунт

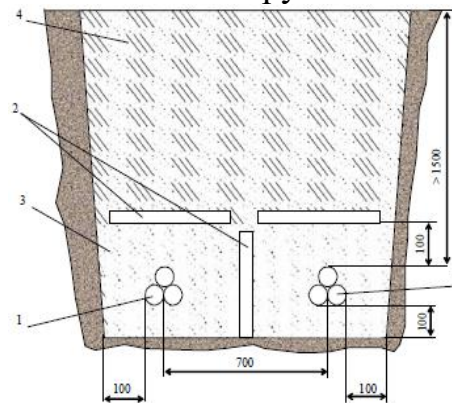


Рисунок 2.2 1 - кабель 110 кВ; 2 - залізобетонна плита; 3 - піщано-гравійна суміш; 4 - засипний ґрунт; 5 - кабель 35 кВ

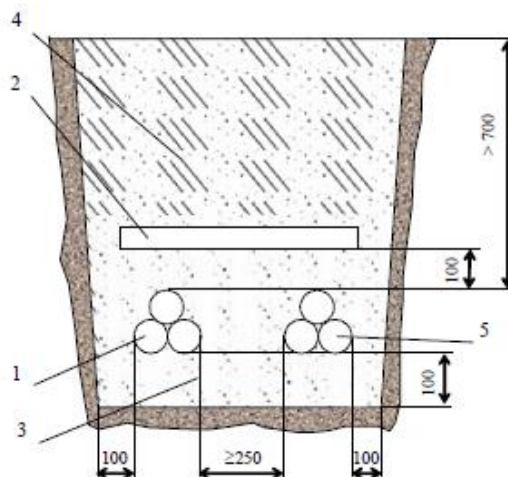


Рисунок 2.3 1 - кабель 20 кВ; 2 - залізобетонна плита; 3 - піщано-гравійна суміш; 4 - засипний ґрунт; 5 - кабель 35 кВ

3) Підготовка труб:

- труби повинні бути покладені прямолінійно, без відхилень від осі. дно траншеї перед входами труб повинно бути нижче труб на 10 - 15 см;

- заходи труб з внутрішньої сторони повинні бути округленими з радіусом не менше 5 мм і не мати виступів, зламів, задирок;
- з'єднання труб повинні мати оброблену і очищену поверхню;
- прямолінійність труб і відсутність пробок повинні бути перевірені за допомогою просвічування електролампю або ліхтарем на іншій стороні переходу;
- після закладки труб вони повинні бути закриті заглушками з обох сторін. Перед прокладанням кабелю заглушки повинні бути зняті, і має бути проведено тампонування труб.
- 4) Підготовка блокової каналізації:
 - повинна бути перевірена глибина закладення блоків від планувальної позначки згідно з проектом і правильність їх укладання;
 - повинна бути забезпечена гідроізоляція стиків;
 - повинна бути перевірена чистота і співвісність каналів. Не допускається наявність виступів в каналах, піску, каменів, сміття, бетонної
 - повинні бути виконані кришки люків колодязів, металеві сходи або скоби для спуску в колодязь троса.
- Підготовка траси:
 - привезти і встановити на трасі барабани з кабелем, механізми і
 - пристосування для прокладки відповідно до ППР.
 - Барабан з кабелем рекомендується доставляти на трасу не більше ніж за один день до початку прокладки, щоб уникнути можливих пошкоджень кабелю.
 - Барабани з кабелем, що підлягають прокладці, повинні бути оглянуті, щоб переконатися в тому, що не порушена обшивка барабанів і герметизація кінців кабелів.
 - встановити на трасі ролики так, щоб кабель не провисав. Відстань між роликами на прямолінійних ділянках траси повинно бути не більше 4м. На поворотах траси встановити кутові ролики, що забезпечують плавний поворот кабелю з радіусом вигину не менше мінімально допустимого і радіальне тиск при протягуванні не більше допустимого. Ролики не повинні мати гострих граней і задирок, які

можуть пошкодити зовнішню оболонку кабелю. Кутові ролики повинні бути ретельно закріплені. Ролики повинні легко обертатися.

- при прокладанні кабелю в блоках, тунелях, колекторах на трасі встановлюються ролики та інше необхідне обладнання (розпірні кріплення, обвідні пристрої, воронки і т.д.) відповідно до ППР. напрямні ролики повинні бути встановлені на входах і виходах з тунелів (колекторів), каналів блоків і у всіх наявних проміжних колодязях.
- на спуску в траншею повинні бути встановлені направляючі ролики, ширина першого ролика повинна бути не менше ширини барабана.
- на торцях труб встановити входні воронки або спеціальні напрямні ролики, на виходах з труб - напрямні ролики, що дозволяють уникнути появи гострих кромek при протягуванні троса;
- встановити у кінця траси або за кабельним колодязем лебідку.
- встановити і перевірити зв'язок між місцями розташування барабанів, лебідки, поворотів, перегородок і переходів траси.
- встановити барабан з кабелем на домкрати, стійки або віддає пристрій так, щоб при розмотування кабель сходив зверху. Перевірити кріплення заставних втулок в щоках барабана, при необхідності підтягнути гайки на шпильках.
- зняти обшивку, видалити з щік барабана цвяхи і скоби, які можуть пошкодити кабель при розмотування. Перевірити кріплення нижнього кінця кабелю, при необхідності закріпити його додатково.
- встановити гальмівні пристрої, призначені для регулювання швидкості обертання барабана при протягуванні і його зупинки, а також для запобігання інерційного розкручування барабана.
- у разі необхідності одночасного тяжіння трьох кабелів (наприклад, при прокладанні їх в загальній трубі), встановити на трасі три барабана з кабелем на віддаючих пристроях. На сході кабелів з барабанів встановлюється пристрій для групування кабелів, через яке пропускаються кінці кабелів. Готується трос (канат) для протягання (один на три кабелю) з протизакручуючим пристроєм і необхідні інструменти і матеріали для зв'язування кабелів в трикутник.

2.2 Вибір номінального перерізу жил

Номінальний переріз струмопровідних жил кабелів вибирається з ряду 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500; 630 (625); 800 мм². діапазон номінальних перетинів в залежності від конструкції і номінальної напруги кабелів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Марка кабеля	Номінальний переріз основних жил, мм ²					
	Номінальна напруга U, кВ					
	6	10	15	20	30	35
Все одножильні кабелі, в т.ч. броньовані алюмінієвим дротом	35-800	35-800	35-800	35-800	50-800	50-800
Трижильні неброньовані кабелі і кабелі з бронею із сталевих стрічок	35-240	35-240	35-185	35-150	50-120	50-120
Трижильні кабелі зі сталеною дрютяною бронею	35-240	35-240	35-185	35-120	50-95	50-95
Трижильні кабелі із загальним екраном	35-240	35-240	35-240	35-240	50-185	50-185

Номінальний переріз струмопровідних жил кабелів вибирається по довгостроково допустимому току і скоригованого з урахуванням умов прокладки і експлуатації кабелю за допомогою поправочних коефіцієнтів. Поправочні коефіцієнти повинні бути прийняті для ділянки траси з найгіршими умовами охолодження, довжина якого перевищує 10 м.

Тривало допустимий струм кабельної лінії визначається виходячи з потужності, що передається по формулі:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}, [A] \quad (2.1)$$

де P - передавана потужність, кВт

U - номінальна лінійна напруга, кВ

φ - кут зсуву фаз між напругою і струмом.

Передавана потужність приймається з урахуванням можливих післяаварійних навантажень та забезпечення необхідного резерву потужності в системі.

При необхідності прокладки декількох паралельних кабельних ланцюгів для передачі потужності P рекомендується проводити техніко-економічні розрахунки з урахуванням витрат на прокладку кабелів, їх монтаж та експлуатацію.

Обраний номінальний переріз жили повинен бути перевірений по допустимому струму при перевантаженнях (в післяаварійному режимі) і по допустимому струму короткого замикання жили.

Номінальний переріз екрану кабелів вибирається по допустимому струму короткого замикання екрана. При експлуатації кабелів в мережах з ізольованою нейтраллю переріз екрана вибирається мінімальне для відповідної струмопровідної жили.

2.3 Приклад вибору номінального перетину струмопровідної жили кабелю і екрану

Забезпечити живлення двох трансформаторів ТМ-4000/10 від підстанції. Лінія складається з двох груп одножильних кабелів АПвЕгП, групи можуть бути розташовані трикутником або в площині. Лінія прокладається в ґрунті (в траншеї) і по території підприємства по естакаді. Відстань між групами кабелів в траншеї 200 мм, а на естакаді дорівнює діаметру групи кабелів, пов'язаних в трикутник. Лінія має ділянку переходу в трубах довжиною 20 м, прокладених в землі, кожен кабель в окремій трубі. Розрахункова температура повітря 30°C , ґрунту 20°C . Глибина прокладки в землі 1 м, питомий тепловий опір ґрунту $1^{\circ}\text{K} \times \text{м} / \text{Вт}$.

Релейний захист відключає струм короткого замикання через 0,2 с, величина струму короткого замикання 24 кА.

Рішення:

Розрахунковий струм кабельної лінії в режимі допустимої перевантаження трансформатора на 40% складе:

$$I_p = \frac{1,4 \cdot 4000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 323,3[\text{A}]; \quad (2.2)$$

Необхідно вибрати номінальний перетин жили кабелю, допустимий струм для якого не менше 324 А.

Для кабелів, прокладених в землі:

а) для способу прокладки трикутником:

У таблиці 2.2 вказано допустимий струм в землі 367 А, якому відповідав би номінальний перетин алюмінієвої жили 240 мм².

Таблиця 2.2 Допустимі струми короткого замикання в жилі

Матеріал жили	Допустимий струм короткого замикання по жилі, кА, (При тривалості к.з. 1 с), для кабелів з номінальним перетином жили, мм ²												
	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630 (625)	800
алюміній	3,3	4,7	6,6	8,9	11,3	14,2	17,5	22,7	28,2	37,6	47	59	75,2
мідь	5	7,2	10	13,6	17,2	21,5	26,5	34,3	42,9	57,2	71,5	90,1	114,4

Допустимий струм для заданих умов прокладки кабелю в траншеї розраховується за допомогою поправочних коефіцієнтів $k_2 = 0,97$, $k_3 = 1,18$,

$k_4 = 0,83$

$$I_{\text{дон1}} = 367 \cdot 0,97 \cdot 1,18 \cdot 0,83 = 348,7 \text{ [A]}; \quad (2.3)$$

тобто перетину жили 240 мм² при вибраних умовах прокладки досить.

б) для прокладки в площині:

допустимий струм для номінального перетину жили 240 мм² в землі 373 А. Допустимий струм для заданих умов прокладки кабелю в траншеї визначається з урахуванням коефіцієнтів $k_2 = 0,97$, $k_3 = 1,18$, $k_4 = 0,83$

$$I_{\text{дон2}} = 373 \cdot 0,97 \cdot 1,18 \cdot 0,83 = 354,4 \text{ [A]}; \quad (2.4)$$

в) для ділянки кабелю, прокладеного в окремих трубах, допустимий струм становить 351 А; поправочні коефіцієнти $k_2 = 0,97$, $k_3 = 1,14$, $k_4 = 0,85$

$$I_{\text{дон3}} = 373 \cdot 0,97 \cdot 1,14 \cdot 0,85 = 329,9 \text{ [A]}; \quad (2.5)$$

г) для кабелю, прокладеного на повітрі (на естакаді), допустимий струм складає 502 А, поправочний коефіцієнт $k_5 = 1,00$

$$I_{\text{дон4}} = 502 \cdot 1,00 = 502 \text{ [A]}; \quad (2.6)$$

Таким чином, вибраний номінальний перетин 240 мм² забезпечує пропускну здатність лінії на всій довжині траси при обраних видах прокладки.

Допустимий односекундний струм короткого замикання для вибраного перерізу жили кабелю 22,7 кА (табл.2.2); відповідний допустимий струм короткого замикання тривалістю 0,2 с складе

$$I_{к.з.} = \frac{22,7}{\sqrt{0,2}} = 50,8 [\text{кА}]; \quad (2.7)$$

З табл.2.3 вибираємо перетин мідного екрану 70 мм²; при тривалості короткого замикання 0,2 с допустимий струм короткого замикання по екрану складе:

$$I_{к.з.е.} = \frac{14,2}{\sqrt{0,2}} = 31,8 [\text{кА}]; \quad (2.8)$$

Таким чином, при зазначених вихідних даних обраний кабель АПвЕгП-10 1х240/70.

Таблиця 2.3 Допустимі односекундні струми короткого замикання екрана, кА

Переріз мідного екрана, мм ²	16	25	35	50	70	95	120
Допустимий односекундний струм короткого замикання екрана, кА	3,3	5,1	7,1	10,2	14	19	24

2.4 Допустимі осьові і радіальні навантаження, що виникають при натягуванні кабелів

1. Допустиме зусилля натягу.

Зусилля, що виникають під час тяжіння кабелю з багатопроволковою алюмінієвою жилою, не повинні перевищувати 30 Н / мм² номінального перетину жили, кабелю з мідною жилою - 50 Н / мм². При розрахунку допустимого зусилля натягу за оболонку трьохжильного кабелю необхідно враховувати перетину трьох жив, при одночасній протяганні трьох одножильних кабелів - перетин однієї жили.

При проектуванні кабельної лінії траса і будівельні довжини кабелів повинні бути обрані таким чином, щоб при протягуванні кабелю не було перевищено допустимий зусилля натягу.

Зусилля, що виникає в кінці прямої траси при натягуванні кабелю, розраховується:

а) для траси без різниці рівнів:

$$F = 9,81 \cdot M \cdot L \cdot \mu \text{ [Н]}; \quad (2.9)$$

де M - вага кабелю, кг / м;

L - довжина кабелю, м;

μ - коефіцієнт тертя.

б) для похилої траси:

$$F = 9,81 \cdot M \cdot L \cdot (\mu \cdot \cos \beta \pm \sin \beta) \text{ [Н]}; \quad (2.10)$$

де β - кут нахилу траси;

+ при протягуванні кабелю від низу до верху;

- при протягуванні зверху вниз.

Вигини траси підвищують зусилля натягу на коефіцієнт, що залежить від кута вигину і коефіцієнта тертя. Зусилля на виході вигину розраховується:

$$F_E = F_A \cdot e^{\mu \alpha} \text{ [Н]}; \quad (2.11)$$

де F_E - зусилля на виході вигину;

F_A - зусилля на вході вигину;

e - основа натурального логарифма, $e = 2,718$;

α - кут вигину, радіан;

μ - коефіцієнт тертя.

2. Допустимий радіальний тиск.

Під час протягування кабелю по вигинах виникає радіально спрямована сила, величина якої залежить від зусилля натягу, радіусу і кута вигину. Радіальний тиск на одиницю довжини розраховується:

$$F_r = \frac{F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{r \cdot \pi \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}} \text{ [Н/м]}; \quad (2.12)$$

де F - зусилля натягу кабелю, Н;

α - кут вигину, °;

r - радіус вигину, м;

$p = 3,142$.

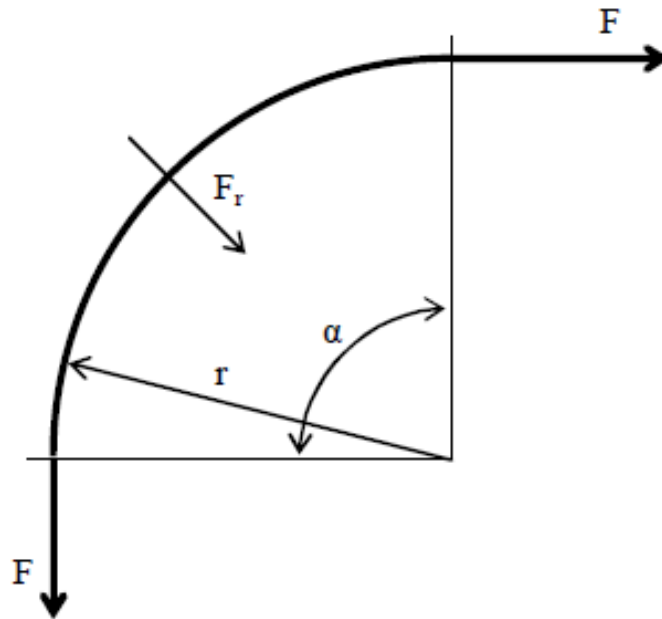


Рис. 2.4 Радіальний тиск на одиницю довжини

При $\alpha = 0 \dots 90^\circ$ можна використовувати спрощену формулу:

$$F_r = \frac{F}{r} \text{ [Н/м]}; \quad (2.13)$$

Максимально допустимий радіальний тиск для неброньованого кабелю становить:

- 10000 Н / м - при протягуванні в трубах;
- 1500 Н / м - при протягуванні через кутовий ролик;
- при використанні системи роликів 7500 Н / м при установці 5 роликів на 1 м довжини і 4500 Н / м при установці 3 роликів на 1 м довжини.

Максимально допустимий радіальний тиск для броньованого кабелю становить:

- 15000 Н / м - при протягуванні в трубах;
- 2500 Н / м - при протягуванні через кутовий ролик;
- при використанні системи роликів: 12500 Н / м при установці 5 роликів на 1 м довжини і 7500 Н / м при установці 3 роликів на 1 м довжини.

Приклад розрахунку.

Кабель АПВЄВ-10 1х500 / 25 простягається по роликам. Довжина траси 350 м. Траса має два вигини на кут 45° і 90° (див. Рис.3.2), радіус вигину 0,9 м, довжина ділянок 0-1 і 1-2 - 100 м, довжина ділянки 2-3 - 150 м. Різниця рівнів між точками 3 і 2 становить +15 м.

Відповідно до таблицями розділу 2 зовнішній діаметр кабелю 44 мм, маса 2585 кг/км = 2,59 кг/м.

Мінімальний радіус вигину для обраного кабелю складе $15 \times 44 = 660$ мм, отже, радіус вигину 0,9 м є допустимим.

Зусилля натягу в кінці ділянки 0-1:

$$F_{0-1} = 9,81 \cdot 2,59 \cdot 0,30 \cdot 100 = 762,2 \text{ [Н]}$$

Зусилля натягу на виході з вигину 1:

$$F_1 = F_{0-1} \cdot e^{0,30(45\pi/180)} = 762,2 \cdot 1,26 = 960,4 \text{ [Н]}$$

Зусилля натягу в кінці ділянки 1-2:

$$F_{1-2} = F_1 + 9,81 \cdot 2,59 \cdot 0,30 \cdot 100 = 960,4 + 762,2 = 1722,6 \text{ [Н]}$$

Зусилля натягу на виході з вигину 2:

$$F_2 = F_{1-2} \cdot e^{0,30(90\pi/180)} = 1722,6 \cdot 1,60 = 2756,2 \text{ [Н]}$$

Кут нахилу ділянки 2-3:

$$\arcsin 15/150 = 5,7^\circ$$

Зусилля натягу в кінці ділянки 2-3:

$$F_{2-3} = 2756,2 + 9,81 \cdot 2,59 \cdot 150 \cdot (0,30 \cdot \cos 5,7 + \sin 5,7) = 4272,4 \text{ [Н]}$$

Допустиме зусилля натягу дорівнює $30 \times 500 = 15000$ Н, тобто обрана траса і метод протягання забезпечить зусилля натягу в межах допустимого.

Радіальний тиск на вигині 1 складе:

$$F_{r1} = \frac{960,4 \cdot \sin \frac{135^\circ}{2}}{0,9 \cdot \pi \cdot \frac{135^\circ}{360^\circ}} = 836,8 \text{ [Н/м]}$$

На вигині 2:

$$F_{r2} = \frac{2756,2 \cdot \sin \frac{90^\circ}{2}}{0,9 \cdot \pi \cdot \frac{90^\circ}{360^\circ}} = 2757,2 \text{ [Н/м]}$$

Отримані значення радіального тиску показують, що на першому вигині досить установки одного кутового ролика (допустиме радіальний тиск 1500 (Н / м), а на другому необхідно встановити систему роликів (допустиме радіальний тиск 4500 Н / м при установці трьох роликів на 1 м довжини).

2.5 Способи прокладки кабельних ліній

1) Прокладка в землі (траншеях).

Глибина закладення кабелю в землі (в траншеї) повинна бути не менше 0,7 м для кабелів на напругу до 20 кВ включно і не менше 1 м для кабелів на більш високу напругу. При цьому під кабелем повинна бути зроблена підсипка товщиною не менше 100 мм, а зверху нього - засипка товщиною не менше 100 мм шаром піщано-гравійної суміші.

На всьому протязі траси кабелі в траншеї повинні бути захищені від пошкоджень: кабелі на напругу 35 кВ - залізобетонними плитами, кабелі на напругу до 35 кВ - залізобетонними плитами або цеглою. При прокладанні на глибині 1 - 1,2 м кабелі на напругу 20 кВ і нижче (крім кабелів міських електромереж) допускається не захищати від механічних пошкоджень. У цьому випадку над кабелями повинні бути прокладені пластмасові сигнальні стрічки на відстані 0,25 м від кабелів.

При засипці кабелі не повинні змінювати свого становища. При необхідності кабелі повинні бути скріплені.

При прокладанні в траншеї кількох кабелів місця з'єднань можуть розташовуватися в один ряд або із зсувом між сусідніми кабелями не менше ніж на 2 м.

При прокладанні кабелю в місцях з'єднань повинен бути залишений запас довжиною, достатньою для монтажу муфти, а також для укладання дуги компенсатора (довжиною на кожному кінці не менше 350 мм для кабелів на напругу до 10 кВ включно і не менше 400 мм для кабелів на більш високу напругу). Укласти запас кабелю у вигляді кілець (витків) забороняється.

В умовах обмеженого простору при великій кількості кабелів допускається розташовувати компенсатори у вертикальній площині нижче рівня прокладки кабелів. Муфта при цьому залишається на рівні прокладки кабелів.

У місцях з'єднання кабелів повинні бути підготовлені котловани, співвісні з траншеєю, шириною не менше 1,5 м для кабелів на напругу до 10 кВ включно і не менше

1,7 м для кабелів на більш високу напругу (для одноланцюгових ліній). Глибина котловану визначається глибиною залягання кабелю в траншеї, довжина - кількістю і розташуванням муфт (для монтажу трьох муфт розбіжно потрібно не менше 5 м для кабелів на напругу до 10 кВ і 7 м - для кабелів на більш високу напругу). Для багатоланцюгових ліній розміри котлованів визначаються при проектуванні з урахуванням конкретних умов.

Не рекомендується розташовувати з'єднання кабелів над і під комунікаціями, а також над перекриттями підземних споруд.

При спорудженні траншей необхідно уникати місць, що містять речовини або сміття, що руйнівні діють на оболонку кабелю, в т.ч. насипний ґрунт, що містить шлак або будівельне сміття, ділянки, розташовані ближче 2 м від вигрібних і сміттєвих ям.

При неможливості обходу цих місць кабель повинен бути прокладений в трубах (азбоцементних, покритих зовні і всередині бітумним складом, або полівінілхлоридних трубах з герметичними стиками), або траншея повинна бути розширена з обох сторін на 0,5 - 0,6 м, заглиблена на 0,3 - 0,4 м і засипана чистим нейтральним ґрунтом.

2) Прокладка в кабельних блоках, трубах і залізобетонних лотках.

При прокладанні в трубах кабелі повинні бути розташовані або по одному кабелю в трубу (канал блоку), або по три кабелі різних фаз однієї кабельної лінії в одну трубу (канал блоку). Прокладка кабелів двох фаз в одну трубу не допускається. Внутрішній діаметр труби або каналу блоку для прокладки одного кабелю повинен бути не менше $1,5 D$, для прокладки трьох кабелів, скріплених в трикутник - не менше $3 D$, де D - зовнішній діаметр кабелю.

Загальна довжина труби (каналу блоку) визначається при проектуванні з урахуванням конструкції траси і гранично допустимих зусиль тяжіння. при розрахунку зусиль тяжіння, що виникають при протягуванні через трубу (канал блоку), необхідно враховувати діаметр кабелю і труби, матеріал і стан внутрішньої поверхні труби.

Для прокладки кабелів застосовуються азбоцементні, пластмасові, керамічні труби. Для забезпечення схоронності оболонки кабель рекомендується протягувати в поліетиленові труби, які для підвищення механічної міцності можуть бути протягнуті в азбоцементні. Застосування труб з магнітних матеріалів (сталі, чавуну) для прокладки однієї фази кабелю забороняється. При перетині кабельної лінії з залізницями, трамвайними шляхами, шосейними магістралями рекомендується розташовувати

азбоцементні, пластмасові або керамічні труби, через які прокладаються кабелі, в загальній металевій трубі. Вільний простір в металевій трубі заповнюється бетоном.

Труби повинні бути з'єднані муфтами, з'єднувальними патрубками або манжетами і, в разі необхідності, скріплені цементним розчином.

При виборі способу з'єднання неметалевих труб забороняється застосовувати муфти, патрубки, манжети з магнітних матеріалів, що охоплюють кабелі однієї фази по замкнутому контуру.

Внутрішній діаметр муфт, патрубків і манжет повинен бути не менше внутрішнього діаметра труб, що з'єднуються.

В процесі з'єднання труб і збірки блоків в труби (канали блоків) рекомендується затягувати дріт, який в подальшому можна буде використовувати для протягування троса, призначеного для прочищення труби (каналу) і протягування кабелю.

До протягування кабелю трубу (канал блоку) необхідно очистити її від залишків бетонного розчину і будівельного сміття. Для цього через трубу (канал блоку) простягають за допомогою лебідки канат з прикріпленням до нього пристосуванням у вигляді сталевих контрольних циліндрів і трьох йоржів зі сталевих дротів. Зовнішній діаметр контрольної поверхні циліндра повинен бути на 15 мм менше внутрішнього діаметра труби (каналу), а діаметр йоржа - на 6 мм більше внутрішнього діаметра труби (каналу). До останнього йоржа прикріплюють сталевий трос, за допомогою якого потім буде простягатися кабель.

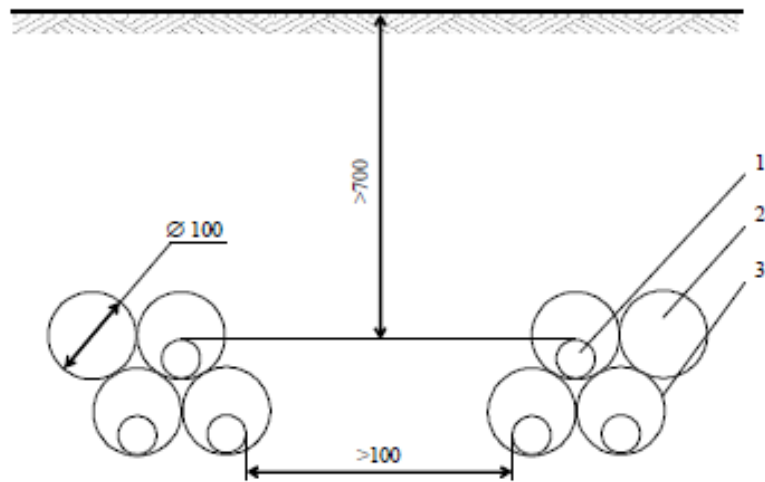
Для зменшення зусилля натягу кабелю через трубу (канал блоку) кабель покривають мастилом або проливають через труби або канали воду.

Мастило не повинне містити речовин, що руйнують оболонку кабелю. Для кабелів з поліетиленовою оболонкою рекомендується застосовувати технічний вазелін, з полівінілхлоридної оболонкою - технічний вазелін, тавотом або солідол. Орієнтовні витрати мастила - 8-10 кг на кожні 100 м кабелю. Слід стежити за тим, щоб до змащень поверхні не прилипали камені, сміття, пісок, які можуть пошкодити оболонку кабелю при протягуванні.

Протягувати кабель через труби і канали блоків рекомендується по можливості плавно і без зупинок.

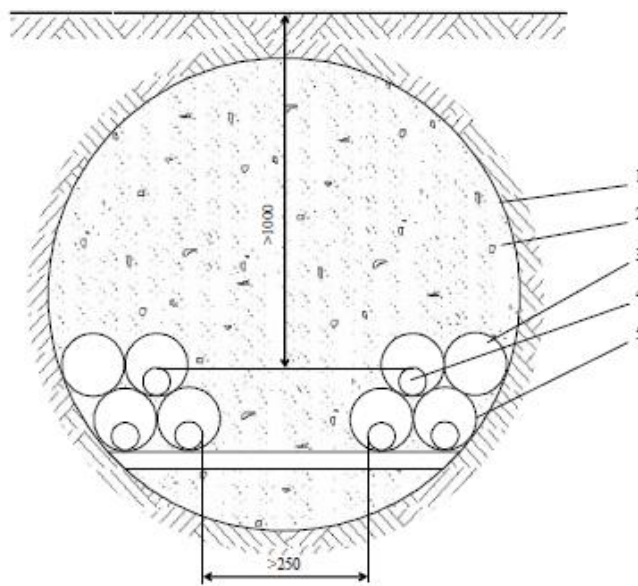
Приклади прокладки кабелів в трубах наведені на рис. 2.5.

Рис. 2.5 Приклад прокладки кабелів в трубах



а)

а) під автомобільними та іншими дорогами; 1 - кабель 10 кВ, 2 - резервна азбоцементна труба; 3 - азбоцементна труба



б)

б) під залізничними коліями; 1 - сталева труба; 2 - бетон; 3 - резервна азбоцементна труба; 4 - кабель 35 кВ; 5 - азбоцементна труба

3) Прокладання в кабельних спорудах і виробничих приміщеннях.

Прокладка кабелів повинна починатися після завершення всіх будівельних робіт.

При прокладанні в кабельних спорудах і виробничих приміщеннях кабелів з поліетиленовою оболонкою в проекті необхідно передбачити додаткові заходи протипожежного захисту, наприклад, нанесення вогнезахисних покриттів.

Кабелі в кабельних спорудах рекомендується прокладати цілими будівельними довжинами, уникаючи, по можливості, застосування в них з'єднувальних муфт.

Опорні конструкції, на які укладають кабелі, повинні мати виконання, що виключає можливість пошкодження оболонок кабелів.

При необхідності установки з'єднувальних муфт в кабельних спорудах (приміщеннях) необхідні окремі полки на опорній конструкції для кожної муфти. Протипожежні кожухи для з'єднувальних муфт кабелів з поліетиленовою ізоляцією не потрібні. На трасі, що складається з прохідного тунелю, що переходить в напівпрохідний тунель або непрохідний канал, з'єднувальні муфти повинні бути розташовані в прохідному тунелі.

Сполучні муфти кабелів, що прокладаються в блоках, повинні бути розташовані в колодязях. Розташування з'єднувальних муфт на естакадах не рекомендується.

Кабелі всередині приміщень і зовні в місцях, де можливі механічні ушкодження (пересування автотранспорту, вантажів і механізмів, доступність для некваліфікованого персоналу) повинні бути захищені до безпечної висоти, але не менше 2 м від рівня землі або підлоги і на глибині 0,3 м в землі.

Проходи кабелів через стіни, перегородки і перекриття повинні бути виконані через відрізки неметалевих труб (азбоцементних, пластмасових і т.д.), відфактуровані отвори в залізобетонних конструкціях або відкриті прорізи.

Зазори в відрізках труб, отворах і отвори після прокладки кабелів повинні бути закладені неспаленим матеріалом по всій товщині стіни або перегородки відповідно до 4.18 ДБН В.1.1-7-2002 "Пожежна безпека об'єктів будівництва".

Зазори в проходах через стіни допускається не закладати, якщо стіни не є протипожежними перешкодами.

Введення кабелів в будівлі, кабельні споруди та інші приміщення повинні бути виконані в азбоцементних, бетонних, керамічних або пластмасових трубах. Кінці труб повинні виступати в траншею зі стіни будівлі або фундаменту (при наявності вимощення - за лінію останньої) не менше ніж на 0,6 м, і мати ухил у бік траншеї.

Повинні бути передбачені заходи, що виключають проникнення з траншей в будівлі, кабельні споруди і приміщення води і дрібних тварин.

Не допускається прокладка кабелю без труб в будівельних підставах.

4) Прокладання при низьких температурах.

При температурі повітря нижче допустимої прокладка кабелів допускається тільки після попереднього підігріву кабелів і при виконанні прокладки в стислі терміни (не більше 30 хв).

При неможливості прокладки кабелю в зазначений термін в процесі прокладки повинен забезпечуватися постійний підігрів кабелю або прокладка повинна проводитися з перервами, під час яких кабель додатково підігривають.

Після прокладки кабель повинен бути негайно засипаний першим шаром розпушеного ґрунту або піщано-гравійної суміші. Остаточну засипку траншею ґрунтом і ущільнювати засипку слід після охолодження кабелю.

Рекомендується підігрів кабелю витримкою в приміщенні, що обігривається або в тепляку або наметі з обігрівом (з температурою до 40 ° С).

Тривалість прогрівання кабелів на барабані в приміщенні, що обігривається або тепляку:

- при температурі повітря в приміщенні або тепляку від 5 до 10°C не менше 72 год;
- при температурі повітря в приміщенні або тепляку від 10 до 25°C
- не менше 24 год;
- при температурі повітря в приміщенні або тепляку від 25 до 40°C - не менше 18 год.

5) Прокладання в вічномерзлих ґрунтах.

Глибина прокладки кабелів в вічномерзлих ґрунтах визначається при проектуванні з урахуванням конкретних ґрунтових і кліматичних умов.

Ґрунт, який використовується для зворотної засипки траншей, повинен бути подрібнений і ущільнений. Наявність в траншеї льоду і снігу не допускається. Ґрунт для насипу слід брати з місць, віддалених від осі траси кабелю не менше ніж на 5 м. Ґрунт в траншеї після осідання повинен бути покритий мохоторф'яним шаром.

В якості додаткових заходів проти виникнення морозобійних тріщин слід застосовувати:

- засипку траншеї з кабелем піщаним або гравійно-гальковим ґрунтом;

- влаштування водовідвідних каналів або прорізів глибиною до 0,6 м, розташованих по обидва боки траси на відстані 2-3 м від її осі;
 - обсів кабельної траси травами і обсадку чагарником.

3 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ

3.1 Основні технічні рішення

Технічні рішення мають відповідати вимогам екологічних, санітарно-гігієнічних, протипожежних та інших діючих норм і правил та забезпечують безпечну для життя і здоров'я людей експлуатацію об'єкта.

Для того щоб виконати реконструкцію РУ-10кВ ПС 110/35/10 для приєднання електроустановок ФЕС, необхідно згідно завдання встановити на 1 та 2 секції РУ-10кВ ПС 110/35/10 комірки 10кВ з вакуумними вимикачами, трансформаторами струму та комплексом релейного захисту на мікропроцесорних пристроях, у яких має бути передбачено протиаварійну автоматику, яка запобігає видачі потужності в мережу при зниженні напруги.

Прокласти КЛ-10кВ від РУ-10кВ ПС 110/35/10кВ до КРПЗ-10кВ ФЕС. Тип, марку та переріз провідників визначити за даними завдання для виконання диплому. При прокладанні КЛ візьмемо кабель з ізоляцією із зшитого поліетилену.

Передача генерованої потужності в мережу може здійснюватися лише в нормальному режимі роботи мережі трьома рівномірно завантаженими КЛ-10кВ від КРПЗ-10кВ ФЕС до 1 та 2 секцій шин ПС 110/35/10 кВ

3.2. РУ-10кВ ПС 110/35/10кВ

Згідно завдання ФЕС буде працювати з видачою потужності на 1 та 2 секції РУ-10 кВ ПС 110/35/10кВ.

Для приєднання електроустановок ФЕС згідно завдання на 1 та 2 секції РУ-10кВ ПС 110/35/10 передбачено встановлення додаткових комірок 10кВ з вакуумними вимикачами та релейним захистом на мікропроцесорних пристроях.

Величина максимальної розрахункової дозволеної потужності становить 16000 кВт та передається рівномірно трьома КЛ-10кВ по 5333,3 кВт.

Розрахунковий струм становить (формула 1.1):

$$I_{\text{розр.макс}} = \frac{P_{\text{розр.макс}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos(\varphi)} = \frac{16000/3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,95} = 324,13 \text{ А.}$$

На 1 секції РУ-10кВ ПС додатково встановлюємо дві комірки №1, №2 КРУН-10.

На 2 секції РУ-10кВ ПС додатково встановлюємо комірку №3 КРУН-10.

Проектовані комірки КРУН-10 аналогічні, та комплектується вакуумним вимикачем ВВ/TEL-10-20/630 У2

Таблиця 3.1 – Паспортні дані КРУН – 10 кВ

Параметр	Значення
Номінальна напруга, кВ	10
Номінальний струм, А	63
Номінальний струм відключення, кА	20
Струм електродинамічної стійкості, кА	51
Струм термічної стійкості, 3сек, кА	20

3.2.1 Вибір вимірювальних трансформаторів струму

Вибір вимірювальних трансформаторів струму проєктованих комірок №1, №2, №3 КРУН-10:

Струм в первинному колі:

$$I_{\text{розр.макс}} = \frac{P_{\text{розр.макс}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos(\varphi)} = \frac{16000/3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,95} = 324,13 \text{ А.}$$

Вибираємо трансформатори струму ТОЛ-10 400/5 0,5S/0,5/10Р.

Струми в вторинному колі:

- при максимальному навантаженні:

$$I_{2\text{макс}} = \frac{I_{\text{розр.макс}}}{k_T} = \frac{324,13}{400/5} = 4,05 \text{ А;}$$

$$40\% \cdot I_{2\text{ном}} = 40\% \cdot 5 = 2 \text{ А;}$$

$$I_{2\text{макс}} = 4,05 \text{ А} > 40\% \cdot I_{2\text{ном}} = 2 \text{ А} - \text{задовольняє умову перевірки.}$$

- при мінімальному навантаженні:

$$P_{\min} = 10\% \cdot P_{\text{розр.макс}} = 0,1 \cdot 5333,3 = 533,33 \text{ кВт};$$

$$I_{\text{розр.мін}} = \frac{P_{\min}}{U_{\text{ВН}} \cdot \sqrt{3}} = \frac{533,33}{10 \cdot \sqrt{3} \cdot \cos(\varphi)} = 32,41 \text{ А};$$

$$I_{2\min} = \frac{I_{\text{розр.мін}}}{k_T} = \frac{32,41}{400/5} = 0,405 \text{ А};$$

$$5\% \cdot I_{2\text{ном}} = 5\% \cdot 5 = 0,25 \text{ А};$$

$$I_{2\min} = 0,405 \text{ А} > 5\% \cdot I_{2\text{ном}} = 0,25 \text{ А} - \text{задовольняє умову перевірки.}$$

3.3 Розрахунок кабельних ліній електропередач

Згідно завдання, маємо будівництво КЛ-10кВ для передачі генерованої потужності в нормальному режимі від електрообладнання ФЕС до РУ-10кВ ПС 110/35/10 кВ. Відповідно завдання, використовуємо кабель з ізоляцією із зшитого поліетилену.

Вибір типу, перерізів струмовідної жили та екрану кабелю, їх перевірка, а також прокладання в ґрунті, муфтування та заземлення екранів виконується згідно ПУЕ-2017 та СОУ-Н МЕВ 40.1-37471933-49:2011.

3.3.1 Вибір перерізу струмопровідних жил

Максимальна розрахункова дозволена потужність становить 16000 кВт, та передається рівномірно по трьох кабельних лініях однакової довжини. Визначаємо максимальний розрахунковий струм нормального режиму (формула 1.1):

$$I_{\text{розр.макс}} = \frac{P_{\text{розр.макс}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos(\varphi)} = \frac{16000/3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,95} = 324,13 \text{ А},$$

де:

$P_{\text{розр.макс}}$ — величина максимального розрахункового (прогнозованого) навантаження;

$U_{\text{ном}}$ — номінальна напруга;

$\cos(\varphi)$ — коефіцієнт потужності.

Приймаємо для прокладання три одножильних кабелі (N)A2XS(FL)2Y 8,7/15(17) кВ перерізом 1х240RM/25, допустимий тривалий струм якого, при прокладанні трикутником в ґрунті, згідно технічної специфікації виробника становить $I_{\text{доп.с}} = 446 \text{ А}$ за стандартних умов.

Розрахуємо допустимий тривалий струм для жили кабелю з врахуванням умов його прокладання (формула 1.4):

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.с}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 = 446 \cdot 1 \cdot 0,97 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,77 = 333 \text{ А};$$

$$I_{\text{доп}} = 333 \text{ А} > I_{\text{розр.макс}} = 324,13 \text{ А}.$$

Отже, переріз алюмінієвої жили 240мм² у заданих умовах прокладання достатній та забезпечує пропускну здатність КЛ на всій довжині траси.

3.3.2 Перевірка на термічну стійкість при струмах КЗ

Допустимий односекундний струм короткого замикання для вибраного перерізу жили кабелю становить $I_{\text{доп.кз}} = 22,6 \text{ кА}$.

Відповідно до завдання, розрахунковий час спрацювання пристроїв релейного захисту становить 0,12 с, час повного вимкнення вакуумного вимикача становить 55 мс, приймаємо час повного відключення живлення КЛ 0,2 с.

Відповідний допустимий струм КЗ тривалістю $t=0,2 \text{ с}$ (формула 1.6):

$$I_{\text{доп.кз}(t)} = \frac{I_{\text{доп.кз}}}{\sqrt{t}} = \frac{22,6}{\sqrt{0,2}} = 50,54 \text{ кА}$$

Максимальний струм КЗ на шинах 10кВ ПС-110/35/10 становить $I_{\text{кз.макс}}^{(3)} = 6,89 \text{ кА}$.

$$I_{\text{доп.кз}(t)} = 50,54 \text{ кА} > I_{\text{кз.макс}}^{(3)} = 6,89 \text{ кА}.$$

Кабель з алюмінієвою струмопровідною жилою перерізом 240 мм² забезпечує протікання струму КЗ протягом часу спрацювання ПРЗА та задовольняє вимоги за допустимим струмом КЗ.

3.3.3 Вибір та перевірка перерізу мідного екрану кабелю

Визначаємо величину двофазного струму КЗ (формула 1.8):

$$I_{\text{кз}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{кз.макс}}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6,89 = 5,97 \text{ кА}$$

Приймаємо переріз мідного екрану 25 мм², як мінімальний переріз екрану для кабелю перерізом робочої жили 240 мм².

Допустимий струм КЗ по екрану тривалістю $t=0,2$ с:

$$I_{\text{кз.екр}(t)} = \frac{I_{\text{кз.екр}}}{\sqrt{t}} = \frac{3,6}{\sqrt{0,2}} = 8,05 \text{ кА}$$

$$I_{\text{кз.екр}(t)} = 8,05 \text{ кА} > I_{\text{кз}}^{(2)} = 5,97 \text{ кА}$$

Отже, кабель (N)A2XS(FL)2Y 8,7/15(17) кВ перерізом 1х240RM/25 вибрано вірно.

3.3.4 Перевірка перерізу кабелю на допустимі втрати напруги та потужності
Втрати напруги в електричних лініях 10 кВ не повинні перевищувати 8%.
Для розрахунку приймаємо коефіцієнт потужності $\cos(\varphi) = 0,95$.

$$Q = P \cdot \tan(\varphi) = 5333,3 \cdot 0,329 = 1752,98 \text{ кВАр.}$$

Питомі активний та реактивний опори для кабелю (N)A2XS(FL)2Y 8,7/15(17) кВ 1х240RM/25 становлять:

$$r_0 = 0,125 \text{ Ом/км;}$$

$$x_0 = 0,101 \text{ Ом/км;}$$

Довжини проєктованих лінії $l = 3,53$ км.

Розраховуємо втрати напруги в кабельній лінії:

$$\Delta U_{(B)} = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0) \cdot l}{U_H} = \frac{(5333,3 \cdot 0,125 + 1752,98 \cdot 0,101) \cdot 3,53}{10} = 297,83 \text{ В;}$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U_{(B)}}{U_H} \cdot 100 = \frac{297,83}{10000} \cdot 100 = 2,98 \text{ \%}.$$

$\Delta U_{\%} < 5 \text{ \%}$, отже марка та переріз кабелю КЛ-10кВ обрано правильно.

Розрахунок втрат активної потужності в кабельній лінії:

$$\Delta P_{(MBT)} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot r_0 \cdot l = \frac{5,33^2 + 1,75^2}{10^2} \cdot 0,125 \cdot 3,53 = 0,139 \text{ МВт;}$$

$$\Delta P_{\%} = \frac{\Delta P_{(MBT)}}{P} \cdot 100 = \frac{0,156}{5,33} \cdot 100 = 2,61 \, \%.$$

3.3.5 З'єднання та окінцювання кабелів

З'єднання та окінцювання кабельних ліній має бути виконано таким чином, щоб кабелі були захищеними від проникнення в них вологи та інших шкідливих речовин з навколишнього середовища і щоб з'єднання та окінцювання витримували випробувальні напруги згідно з чинними нормами експлуатації КЛ. Для цього необхідно застосовувати спеціальні конструкції кабельних муфт.

В даній роботі відбувається прокладання трьох трифазних кабельних ліній однофазним кабелем з алюмінієвою струмовідною жилою, мідним екраном та ізоляцією зі зшитого поліетилену від КРПЗ-10кВ ФЕС до РУ-10кВ ПС 110/35/10 кВ.

Для окінцювання кабелю передбачено використання кінцевих кабельних муфт внутрішнього встановлення для одножильного кабелю з ізоляцією зі зшитого поліетилену виробництва Tyco Electronics Raychem. Один комплект кінцевих муфт включає в себе матеріали для 3-х фаз. Муфти POLT-24D/1XI-L12B розраховані на переріз кабелю 120-240мм² та комплектуються болтовими накінецьниками під болт М12. Для будівництва КЛ за даним проектом необхідно 6 (шість) комплектів кінцевих кабельних муфт POLT-24D/1XI-L12B, або аналогічних.

Для з'єднання кабелю передбачено використання з'єднувальних кабельних муфт для одножильного кабелю з ізоляцією зі зшитого поліетилену виробництва. Один комплект з'єднувальних муфт включає в себе матеріали для однієї фази. Муфти POLJ 24/1x120-24-AW розраховані на кабель з алюмінієвою бронею і дровим та стрічковим екраном з перерізом жили 120-240мм².

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

На електротехнічний персонал під час виконання оперативних та технічних обслуговувань кабельних ліній із ізоляцією зі зшитого поліетилену впливають такі шкідливі виробничі фактори [13]:

а) фізичні:

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

б) хімічні фактори:

- речовини біологічної природи, які отримані хімічним синтезом та/або для контролю яких використовуються методи хімічного аналізу,

- аерозолі фіброгенної дії (пил).

в) фактори трудового процесу:

- важкість праці (статичне навантаження, незручні робочі пози, понад нормоване переміщення у просторі);
- напруженість праці (сенсорні, емоційні перевантаження, режим роботи).

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

До робіт на маслonaповненому обладнанні допускаються особи, які мають відповідну групу з електробезпеки, які вивчили будову та принцип дії регенераційної установки і здали залік. Трансформаторне масло є не тільки легко займистою, але і отруйною рідиною. Тому працівники, пов'язані з обслуговуванням маслonaполненого обладнання, мають право на отримання спецхарчування. Після відключення масляним вимикачем струму КЗ ні в якому разі не можна запалювати сірники або входити з відкритим вогнем в камеру вимикача, так як там може утворитися вибухова суміш. При експлуатації регенераційних установок, що працюють за схемою «кислота-земля», слід вживати заходів обережності щодо

поводження з сірчаною кислотою. Очищення масла під напругою повинна застосовуватися лише в разі неможливості зняття напруги з апарату або в разі, якщо відключення трансформатора буде пов'язано з недовідпуском електроенергії споживачам. До очистки масла під напругою може бути допущений лише персонал, повністю освоїв методику очищення масла із застосуванням адсорберів або центрифуги, після перевірки знань відповідних інструкцій і правил безпеки. Очищення масла під напругою може проводитися на відкритих підстанціях напругою 35 кВ і вище, причому кількість залитого в трансформатор масла повинно бути не менше 500 кг. Крім того, ємність розширювача трансформатора повинна бути такою, щоб після включення адсорбційної установки рівень масла в розширювачі не знизиться по відношенню до верхньої позначки початкового рівня більше ніж на $1/2$. Для виключення розтікання пролитого масла і забезпечення пожежної безпеки під обладнанням (трансформатором або установкою) влаштовують гравійну засипку для збору і регенерації масла. При роботі персоналу з трансформаторним маслом звичайна спецодяг швидко просочується маслом, може викликати роздратування шкіри і легко загорається. Тому персоналу, який обслуговує маслonaповнене обладнання, необхідно або надягати захисний одяг, що має покриття з капронової пластика, або використовувати спецодяг з просоченням розчином діамонійфосфат. Для роботи всередині високовольтного обладнання в масляному господарстві повинен бути комплект одягу з захисне професійного покриттям, гумові маслостійкі рукавички і засоби захисту органів дихання (протигаз або респіратор). Забороняється працювати на регенераційних установках при появі постійного шуму, що виникає при роботі установки. З огляду на складності роботи з маслом, в деяких випадках краще застосовувати сухі трансформатори типу ТСЗ.

4.2 Мікроклімат

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огорожувальними конструкціями виробничих приміщень, що має висоту 2 м над рівнем підлоги або підмостями, на яких знаходяться місця постійного або непостійного перебування працюючих.

Відповідно, до параметрів мікроклімату, що нормуються за ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [13]. відносяться: температура (t , $^{\circ}\text{C}$) і відносна вологість повітря (W , %), швидкість його переміщення (м/с), потужність теплових випромінювань (Вт/м^2).

Допустимі параметри мікроклімату для умов, що розглядаються Пб в теплий та холодний період року, наводяться в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату виробничих приміщень.

Період року	t , $^{\circ}\text{C}$	W , %	V , м/с
Теплий	15-29	70 при 25°C	$< 0,2-0,5$
Холодний	13-23	< 75	$< 0,4$

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату виробничих приміщень, відповідно до ДБНВ.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування, [14]. проектом передбачено:

- 1.Заходи індивідуального захисту від холоду;
- 2.Приміщення для відпочинку та обігріву;
- 3.Регламентацію часу роботи в виробничих приміщеннях, в яких не можливо забезпечити допустимі норми.

При виконанні робіт на відкритих територіях в холодну пору року, в неопалюваних та охолоджених приміщеннях допустимі значення температури приймаються відповідно до Гігієнічних умов праці [15] $I-10,0$.

4.3 Склад повітря робочої зони

Якість повітря за ДСТУ-Н Б А.3.2.1:2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва, [16] у першу чергу, залежить від наявності, рівня небезпечності та кількості шкідливих речовин. Шкідливі речовини можуть потрапляти до організму людини інгаляційними та іншими шляхами надходження (пероральний, шкірно-резорбтивний).

Контроль наявності шкідливих хімічних речовин у повітрі потрібно виконувати на місцях постійного та тимчасового перебування працюючих з урахуванням особливостей технологічного процесу (періодичний, безперервний), температурного режиму, кількості хімічних речовин та їх агрегатного стану в повітрі, летючості, тиску пари, можливості їх перетворення (окислення, гідроліз, деструкція), класу небезпечності та їх біологічної дії.

За ступенем негативного впливу на організм людини шкідливі речовини згідно з ДСТУ-Н Б А.3.2.1:2007 [17] підрозділяють на чотири класи небезпечності: 1-й – надзвичайно небезпечні; 2-й – високонебезпечні; 3-й – помірно небезпечні; 4-й – малонебезпечні.

Характерні забруднюючі речовини для виробничого приміщення наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Можливі забруднювачі повітря та їх ГДК.

Найменування речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Діоксид вуглецю (CO ₂);	3	1	4
Азот діоксид (NO ₂);	0,085	0,085	2

Для забезпечення складу повітря робочої зони, відповідно до ДБНВ.2.5-67:2013, [14] в роботі передбачені такі рішення:

1. У теплий період часу застосовувати природну та примусову вентиляцію виробничих приміщень.

2. Проводити контроль ГДК шкідливих речовин у приміщенні.

3. Застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановлено безпосередньо на ділянках біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення.

4.4 Виробниче освітлення

Штучне освітлення

Штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, охоронне та чергове. Існують дві системи штучного освітлення – загальне та комбіноване. Загальне – освітлення, за якого світильники розміщуються рівномірно у верхній зоні приміщення (загальне рівномірне освітлення) або локалізовано відносно розміщення обладнання (загальне локалізоване освітлення).

Для загального штучного освітлення приміщень потрібно використовувати найбільш енергоекономічні джерела світла, віддаючи перевагу при рівній потужності джерелам світла з більшою світловіддачею та терміном служби, з виконанням вимоги не знижувати якість освітлювального устаткування для зниження енерговитрат. Отже, для загального штучного освітлення доцільно використовувати розрядні та світлодіодні джерела світла, які за однакової потужності з тепловими джерелами (лампи розжарювання), мають більшу світлову віддачу та з більшим терміном експлуатації. Світлова віддача джерел світла, зокрема світлодіодних ламп, для штучного освітлення приміщень при мінімально допустимих індексах кольоропередачі не повинна бути менше визначених за ДБН В.2.5-28:2018 [19].

Рівень ефективності споживання електроенергії електричними лампами та світильниками повинен відповідати вимогам Технічного регламенту енергетичного маркування електричних ламп та світильників [20]. При відсутності відповідного маркування підтвердження має бути отримано за результатами вимірювань.

Визначені нормовані значення штучного освітлення вносимо до таблиці 4.3.

Харак. зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкту з фоном	Харак фону	Штучне при системі комбінованого освітлення	
						всього	у т. ч. від загального
Серед. точності	Вище 0,5 до 1	IV	в	Серед. малий	Серед. темний	400	200

	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
--	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Для тонального та непостійного шуму допустимі значення L та LA на 5 одиниць менші.

Джерелами шуму в умовах, що розглядаються в роботі, є : обладнання, машини, двигуни, механізми та верстати.

Для забезпечення допустимих параметрів шуму (поліпшення шумового клімату) в приміщенні проектом передбачено:

1. Усунення коливань у джерелі виникнення, ретельне балансування обладнання, мас, які обертаються;
2. У цеху двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі;
3. Використовують проти шумні навушники, які закривають вушну раковину;
4. Організаційно-технологічні рішення: своєчасне і якісне проведення планово-попереджувальних ремонтів, контроль за правильною експлуатацією, вибір малошумних технологій.

4.6 Виробничі вібрації

Нормуються за ДСНЗ.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації [22] допустимі величини віброшвидкості (м/с) чи віброприскорення (м/с²), або логарифмічні рівні віброшвидкості $L=20\lg(V1/V0)$, дБ ($V1$ – середньоквадратичне значення віброшвидкості за повний період часу, м/с, $V0 = 5 \cdot 10^{-8}$, м/с – вихідне значення віброшвидкості) залежно від частоти коливань, їх виду (транспортні, транспортно-технологічні, технологічні, вібрації робочого інструменту чи робочих місць), напрямку (X, Y, Z) і часу дії протягом зміни.

Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в роботі, є трансформатори, генератори, електродвигуни.

Для умов, що розглядаються в роботі (вібрації робочого інструменту чи

робочих місць, транспортні, транспортно-технологічні, технологічні) параметри вібрацій не повинні перевищувати наведені в таблиці 4.5 середньоквадратичні значення, $\text{м/с} \cdot 10^{-2}$ та логарифмічні рівні, дБ.

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях.

Вид вібрації	Октавні смуги з середньо геометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях.	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-
Локальна вібрація:	-	-	$\frac{2,8}{115}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$

* В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, $\text{м/с} \cdot 10^{-2}$, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих у роботі передбачено:

1. Відстрочка від режиму резонанс;
2. Динамічне гасіння коливань;
3. Заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій.
4. Засоби індивідуального захисту для ніг, рук та тіла працюючого.

4.7 Пожежна безпека

Належність приміщення чи зони до відповідного класу визначається показниками пожежонебезпечних властивостей речовин і матеріалів, що застосовуються в технологічному процесі чи в оформленні приміщень, кількістю цих речовин і матеріалів, особливостями виробництва. Категорія приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою –

Д. Приміщення підстанції, де здійснюється діагностика вводів, за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д (знижено пожежонебезпечної) [23] - негорючі речовини і матеріали в холодному стані з зонами П-III [номер ПУЕ]. Приміщення підстанції розташовані в будівлі II ступеня вогнестійкості. Межі і ступень вогнестійкості будівельних конструкцій приміщень і будівель у цілому II будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів;

Мінімальної межі вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальної межі поширення вогню по них таблиця 4.6

Таблиця 4.6-мінімальної межі вогнестійкості будівельних конструкцій

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	СТІНИ				КОЛОНИ	сходові площадки, сходи, балки, марші сходових кліт	перекрыття між поверхів (у т.ч. горючі та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, настили, прогоны	балки, ферми, арки, рами
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Таблиця 4.7- відстані між будівлями та іншими об'єктами.

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
I, II	6/9	8/9	10/12

Запобігання пожежі забезпечується наступними заходами :

- а) Запобігання потраплянню горючих речовин у повітря приміщень шляхом герметизації, ущільнення та вентиляції;
- б) використання негорючих та важкозаймистих матеріалів, обладнання, конструкцій, споруд, установок та будівель, споруди, обладнання та будівлі
- в) ізолювати пожежонебезпечні середовища в окремі спеціальні приміщення або відкриті майданчики.

Крім технічних заходів, для забезпечення пожежної безпеки застосовуються такі організаційні заходи :

- а) Навчання працівників правилам безпеки.
- б) Створення комітетів з пожежної безпеки та технічних комітетів;
- в) розробка та впровадження правил і норм пожежної безпеки для приміщень, встановлення пожежної сигналізації.

До комплекту засобів пожежогасіння слід

- включити : а) вогнегасники типу ВВ-8 - 3 шт.;
- б) ящик з піском місткістю 3,0 м³ - 1 шт.,
- в) покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу розміром 2мх2м - 1 шт., г) гаки - 2 шт.;
- д) лопати - 2 шт.; є) ломи - 2 шт.; ж) сокири - 2 шт.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи були досліджені технічні, експлуатаційні та конструктивні особливості кабельних ліній із ізоляцією зі зшитого поліетилену (XLPE), а також розроблено проєктні рішення щодо їх використання в сучасних енергетичних мережах.

У результаті дослідження зроблено наступні висновки:

- Проаналізовано основні переваги ізоляції зі зшитого поліетилену, серед яких: висока електрична міцність, стійкість до часткових розрядів, термічна стабільність, екологічна безпека та тривалий термін експлуатації. Ці властивості роблять XLPE-кабелі оптимальним вибором для мереж середньої та високої напруги.
- Розглянуто особливості конструкції кабелю типу (N)A2XS(FL)2Y, зокрема: алюмінієва струмопровідна жила, екран з мідного дроту або стрічки, ізоляція зі зшитого поліетилену та зовнішня оболонка з ПВХ або поліетилену.
- Визначено принципи вибору перерізу струмопровідної жили, враховуючи номінальний струм, умови прокладання, допустимі втрати напруги та струми короткого замикання. Обраний переріз кабелю забезпечує термічну стійкість та відповідність нормам ПУЕ і ДСТУ.
- Проведено розрахунок допустимих втрат потужності та напруги, що підтвердило доцільність вибору кабелю із заданими параметрами. Втрати не перевищують допустимі значення для мережі 10 кВ.
- Здійснено перевірку перерізу мідного екрану на термічну стійкість у режимах короткого замикання. Отримані результати засвідчили відповідність технічним вимогам і безпечність роботи екранів.
- Окреслено вимоги до монтажу, з'єднання та окінцювання кабелів, підкреслено необхідність застосування термоусаджуваних і епоксидних муфт, що забезпечують герметичність, електричну ізоляцію та механічний захист.

- Наголошено на важливості дотримання умов експлуатації XLPE-кабелів, зокрема: температурного режиму, мінімального радіуса вигину, волого- та герметичності кабельних з'єднань.

Таким чином, виконане дослідження дозволило підтвердити ефективність використання кабельних ліній із ізоляцією зі зшитого поліетилену в сучасних електричних мережах. Запропоновані технічні рішення відповідають вимогам надійності, безпеки та енергоефективності, а також можуть бути застосовані на практиці під час реконструкції або нового будівництва розподільчих мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. Розділ 2. Передавання електроенергії. Глава 2.6. Кабельні лінії електропередавання. – К.: Інтерсервіс, 2017. – 140 с.
2. СОУ-Н МЕВ 40.1-37471933-49:2011. Проєктування кабельних ліній напругою до 330 кВ. Настанова. – К.: Міненерговугілля України, 2011. – 103 с.
3. Бровдій В.Й., Журавель В.І. Електричні станції і підстанції: Підручник. – Львів: Новий Світ – 2000, 2011. – 488 с.
4. Верхола А.П., Прокопенко О.В. Кабельні лінії електропередачі: Навчальний посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2012. – 178 с.
5. Ковальчук В.П., Пінчук В.І., Лежнюк П.Д. Надійність і діагностика електроенергетичних систем: Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 212 с.
6. Ніколаєнко В. В., Собчук Н. В. Особливості проєктування та експлуатації кабельних ліній із ізоляцією зі зшитого поліетилену. – Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2024. – 22 с.
7. Пінчук В.І. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Кабельні мережі». – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 45 с.
8. Каталог кабельної продукції Prysmian Group. Кабелі з ізоляцією зі зшитого поліетилену серій (N)A2XS(FL)2Y. – П.: Prysmian Ukraine, 2022. – 68 с.
9. Каталог муфт і кабельної арматури Tyco Electronics Raychem. Муфти POLT-24D/1XI-L12B, POLJ 24/1x120-24-AW. – К.: TE Connectivity, 2021. – 52 с.
10. Каталог технічної документації Nexans. Вибір перерізу струмовідних жил, втрати напруги та струми КЗ. – К.: Nexans Україна, 2020. – 77 с.
11. Каталог компанії Ensto. Електромонтажне обладнання для КЛ із ізоляцією зі зшитого поліетилену. – К.: Ensto Україна, 2023. – 50 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: «Особливості проєктування та експлуатації кабельних ліній із ізоляцією зі зшитого поліетилену»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота

(кваліфікаційна робота, курсовий проєкт (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (зазначити))

Підрозділ: Кафедра електричних станцій та систем

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ЕСС Собчук Н. В.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

StrikePlagiarism	
Оригінальність	85
Загальна схожість	15

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

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

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

Автор

(підпис)

Ніколаєнко В.В.

(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Вишневський С.Я.

(прізвище, ініціали)

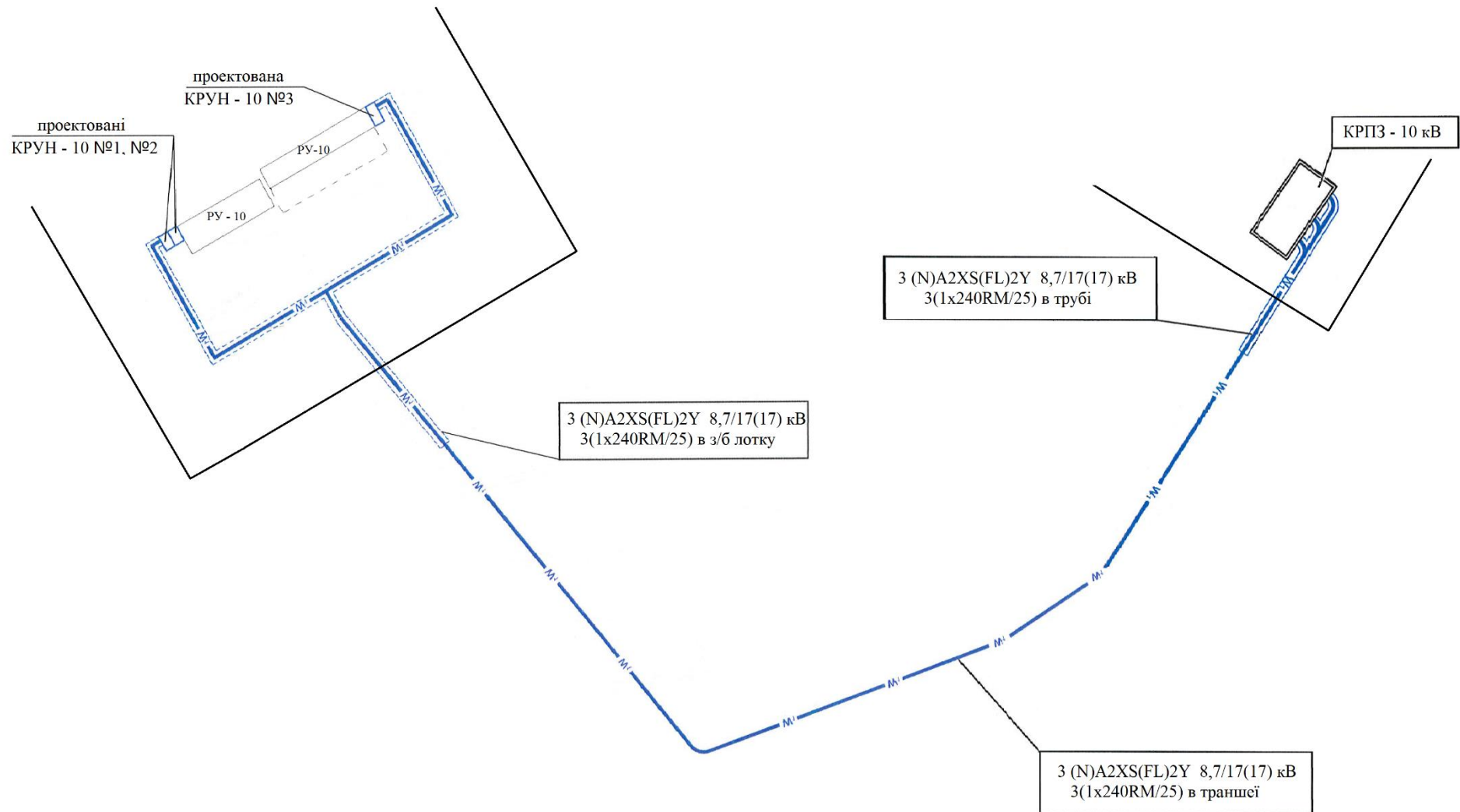
Експерт

(за потреби)

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

Додаток Б – План електромереж



Додаток В – Однолінійна схема проєктованих КРУН-10 кВ

