

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Сумський державний університет**

Центр заочної, вечірньої та дистанційної форми навчання

Кафедра електроенергетики

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ І. Л. Лебединський

" \_\_\_\_ " " \_\_\_\_ " 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на здобуття освітнього ступеня бакалавр**

зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньо-професійної програми «Електротехнічні системи електроспоживання» на тему: «Аналіз методів розрахунків конструкцій повітряних ліній електропередач»

Студента групи ЕТз–91с Тютюнник Олександр Олексійович

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ О.О. Тютюнник

(підпис)

Керівник: завідувач кафедри, к.т.н., доцент Лебединський І.Л. \_\_\_\_\_

(підпис)

## **ЗАВДАННЯ**

**на кваліфікаційну роботу бакалавра**

**Тютюнника Олександра Олексійовича**

1 Тема роботи “ Аналіз методів розрахунків конструкцій повітряних ліній електропередач ”

затверджено наказом по університету № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

2 Термін здачі роботи

3 Вихідні дані до роботи: Конструкція повітряної лінії 6-750 кВ, самонесучий ізолюваний провід, ізоляція повітряних ліній, методи монтажу арматури.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки

- Вступ;
- Аналіз конструкцій повітряних ліній електропередач;
- Методи розрахунків конструкцій повітряних ліній;
- Аналіз технології монтажу ПЛ (СП);
- Розрахункова частина;
- Висновок.

## Календарний план

№п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	До 15.03.2023	
2	Аналіз конструкцій повітряних ліній електропередач	До 01.04.2023	
3	Методи розрахунків конструкцій повітряних ліній	До 05.05.2023	
4	Аналіз технології монтажу ПЛ (СП)	До 15.05.2023	
5	Оформлення графічного матеріалу	До 30.05.2023	
6	Оформлення пояснювальної записки	До 05.06.2023	
7	Здача роботи на перевірку	До 05.06.2023	

Студент гр ЕТз-91с \_\_\_\_\_

Тютюнник О.О.

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Лебединський І.Л.

## РЕФЕРАТ

с .99, рис. 55, табл. 8

Бібліографічний опис: “Аналіз методів розрахунків конструкцій повітряних ліній електропередач” [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спеціальність 141 – “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”; Освітня програма “Електротехнічні системи електроспоживання”/ О.О. Тютюнник; керівник І. Л. Лебединський. - Суми: СумДУ, 2023. – 99 с.

**Ключові слова:** конструкція повітряної лінії, ізоляція електричних мереж, монтаж арматури ЛЕП, СІП, провід, блискавкозахист, опора, методи розрахунку конструкцій проектування повітряних ліній

overhead line design, insulation of electrical networks, installation of power line fittings, overhead line fittings, overhead line fittings, wire, lightning protection, support, methods of design calculation overhead line design

**Короткий огляд** – Розглянуто та проаналізовано основні характеристики конструкцій повітряних ліній (ізолятори, проводи, опори). Наведено метод розрахунку конструкцій повітряних ліній – метод граничних станів. Дослідження методу розрахунку блискавкозахисту порталних опор.

Розглянуто методику розрахунку перерізів жил СІП, котра виконується за допомогою методу економічних показників із подальшою перевіркою за допустимими струмом, механічною міцністю та відхиленню напруги у споживачів. Проведено дослідження розрахункових випадків ураження електричної лінії з тросами блискавкою. Досліджено технології монтажу самонесучих ізольованих проводів, улаштування повітряних ліній СІП, загальні вимоги, розглянуто технології монтажу ПЛІ, послідовність виконання технологічних операцій по монтажу та захисту від атмосферних перенапруг.

## Перелік умовних позначень

АПВ – автоматичне повторне вмикання

ГІН – генератор імпульсної напруги

ДСТУ – державний стандарт України;

ПУЕ – правила улаштування електроустановок;

СП – самонесучий ізольований провід;

ОПН – обмежувач перенапруг нелінійний;

ПЛІ – повітряна ізольована лінія

ПЛ – повітряна лінія

ПЗВП – пристрій захисту від перенапруги

ПЛЗ – повітряна лінія із захищеними проводами

ЛЕП – лінія електропередавання

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕКТРОПЕРЕДАЧ .....	8
1.1 Аналіз проводів систем електропостачання.....	8
1.2 Характеристики опор повітряних ліній електропередачі .....	16
1.3 Характеристики ізоляторів ПЛ.....	18
1.4 Висновки .....	27
2 РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКІВ КОНСТРУКЦІЙ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ.....	29
2.1 Метод розрахунків конструкцій для проектування ПЛ.....	29
2.2 Вибір площі поперечного перерізу жил проводів .....	32
2.3 Розрахунок перерізу фазних жил проводів СІП .....	39
2.4 Дослідження розрахункових випадків ураження електричної лінії з тросами блискавкою .....	44
2.5 Дослідження та розрахунок захисту порталльної опори при допомозі застосуванні одиночного стрижньового блискавковідводу .....	52
2.6 Висновки до другого розділу .....	55
3 РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ МОНТАЖУ ПЛ (СІП) .....	56
3.1 Улаштування повітряних ліній СІП.....	56
3.2 Технологія монтажу ПЛІ.....	61
3.3 Захист повітряних ліній від атмосферних перенапруг.....	76
3.4 Висновки до тетього розділу.....	80
4 РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА .....	81

					<i>БР 5.6.141.476 ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			
Розроб.	Тютюнник				Лит.	Аркуш	Листів
Перевір.	Лебединський					5	99
Реценз.					<i>СумДУ ЕТз-91с</i>		
Н. Контр.	Никифоров						
Затверд.	Лебединський						
<i>Аналіз методів розрахунків конструкцій повітряних ліній електропередач</i>							

4.1	Вихідні дані до виконання механічного розрахунку проводів повітряної лінії електропередавання.....	81
4.2	Розрахунок середньої висоти розташування центру мас проводів та зведеного прогону анкерованої ділянки .....	82
4.3	Розрахунок одиничних та питомих навантажень на проводи повітряної лінії	84
4.4	Визначення вихідного кліматичного режиму .....	88
	ВИСНОВОК.....	90
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	92
	ДОДАТКИ.....	95
	ДОДАТОК А.....	96
	ДОДАТОК Б .....	97
	ДОДАТОК В.....	98

					<i>БР 5.8.141.476 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## ВСТУП

Повітряною лінією (ПЛ) електропередачі називається пристрій для передачі й розподілу електроенергії по проводах, розташованих на відкритому повітрі й прикріплених за допомогою ізоляторів і арматури до опор або кронштейнів, стійкам на будинках та інженерних спорудах (мостах, шляхопроводах і т.п.).

На сьогодні електричні мережі є основною сполучною ланкою для передачі електричної енергії від джерел генеруючих потужності до споживачів. На території України сформовані магістральні електричні мережі з використанням систем напруги 110 – 750 кВ і розподільні електричні мережі з використанням системи напруги 110 – 10 (6) кВ.

Впровадження технічних та організаційних заходів щодо розробки нових та вдосконалення існуючих конструкцій ліній електропередачі на державному рівні дозволяє покращити технікоекономічний стан електричних систем та мереж, а також в цілому підвищити енергетичну безпеку країни. Тому все частіше можна почути про впровадження нових конструкцій ізоляторів (полімерних), проводів (СПП) та іншого.

					<i>БР 5.8.141.476 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7



# 1 РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕКТ-РОПЕРЕДАЧ

## 1.1 Аналіз проводів систем електропостачання

Лінії електропередачі призначені для передавання електричної енергії на віддалену відстань по струмоведучим проводам.

За конструктивним виконанням розрізняють повітряні, кабельні лінії електропередачі, струмопроводи та електропроводки. Останнім часом для побудови розподільчих електричних мереж широкого застосування набули самонесучі ізольовані проводи (СП), які являють собою гібрид між повітряними та кабельними лініями електропередач [2].

Конструкція ліній електропередач має відповідати таким вимогам:

- 1) забезпечувати необхідну пропускну здатність лінії;
- 2) забезпечувати необхідну ізоляцію струмоведучих елементів лінії;
- 3) забезпечувати безпеку експлуатації лінії;
- 4) забезпечувати нормовану надійність експлуатації лінії;
- 5) забезпечувати теплову стійкість елементів лінії;
- 6) забезпечувати корозійну стійкість елементів лінії;
- 7) забезпечувати економічність будівництва та експлуатації лінії.

Для виконання проводів та струмоведучих жил кабелів використовують мідь, алюміній та його сплави, сталь [3].

Мідь характеризується найкращими електрофізичними властивостями. Питомий омичний опір міді складає  $0,0178 \text{ Ом} \cdot \text{м/мм}^2$ , а граничний опір на розрив досягає 360 МПа. Однак мідь це дефіцитний дорогий матеріал. Тому мідь використовують лише для виготовлення внутрішніх електропроводок.

					<i>БР 5.6.14.1.476 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Тютюнник</i>			<i>Аналіз методів розрахунків конструкції повітряних ліній електропередач</i>	<i>Лит.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Лебединський</i>					8	99
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ ЕТз-91с</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Никифоров</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Лебединський</i>						

Використання мідних проводів для виконання повітряних ліній потребує техніко-економічного обґрунтування. Тут мідні проводи в основному використовують в контактних мережах електротранспорту, в мережах шахт, рудників, інколи у повітряних лінії, які проходять поблизу побережжя морів та хімічних виробництв.

Широкого застосування для виготовлення проводів та жил кабелів набув більш розповсюджений у природі алюміній. Його питомий омичний опір складає  $0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{м}/\text{мм}^2$ . Головним недоліком алюмінію є його низька механічна міцність. Межа міцності алюмінієвих проволочок на розрив складає всього 150-160 МПа. Це визначає використання алюмінію для виготовлення електропроводок, струмопроводів, жил кабелів та самонесучих ізольованих проводів. Також алюмінієві проводи використовують у повітряних лініях місцевих розподільчих мереж з номінальною напругою до 10 кВ з невеликими прогонами між опорами.

Сталь має найкращі фізико-механічні властивості. Механічна міцність сталі на розрив досягає 540 МПа. Разом з тим питомий омичний опір сталі складає всього  $0,13 \text{ Ом} \cdot \text{м}/\text{мм}^2$ . До того ж сталь відноситься до групи феромагнетиків, що визначає додаткові втрати енергії на перемагнічення сталевих проводів під час проходження електричного струму. Ще одним важливим недоліком сталі є висока корозійність, що не дозволяє використовувати сталеві проводи без спеціальної обробки на повітряних лініях електропередачі.

Зазначені властивості сталі визначили її застосування для виготовлення опор повітряних ліній, грозозахисних тросів, а також для посилення механічної міцності алюмінієвих проводів у складі сталюалюмінієвих проводів. Інколи сталеві проводи використовують для виконання великих прогонів повітряних ліній, наприклад, переходів повітряних ліній через водні простори. Для виготовлення електропроводок та жил кабелів і самонесучих ізольованих проводів сталь не застосовують.

Повітряні лінії електропередачі призначені для передавання електричної

					<i>БР 5.8.141.476 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

енергії по неізолюваним проводам, розташованим на відкритому повітрі та закріпленим за допомогою ізоляторів та арматури на опорах. Для захисту повітряних ліній від прямого влучання блискавок, їх, зазвичай захищають за допомогою грозозахисного тросу [2].

Характерною особливістю повітряних ліній електропередачі є розташування неізолюваних струмоведучих проводів на відкритому повітрі, внаслідок чого конструктивні елементи повітряних ліній зазнають активного впливу кліматичних навантажень та впливів. Саме це, в основному, визначає конструктивне виконання повітряних ліній та їх проводів. Зокрема, проводи повітряних ліній електропередач повинні забезпечувати високу електричну провідність, механічну та корозійну стійкість та економічність конструкції повітряної лінії.

Для виконання повітряних ліній використовують алюмінієві та сталеві алюмінієві проводи. Інколи, з метою забезпечення надвисокої корозійної стійкості для виконання повітряних ліній використовують мідні проводи, а для забезпечення надвисокої механічної міцності – сталеві проводи. Для виконання грозозахисту повітряних ліній використовують сталеві троси та сталеві алюмінієві проводи з пониженим перерізом алюмінієвого шару.

За своїм конструктивним виконанням проводи повітряних ліній складаються із звитих між собою окремих проволочок, як показано на рис. 1.1. В таких проводах навколо центральної проволочки виконують повив з шести проволочок, закручених у певному напрямі. Кожний наступний повив містить на шість проволочок більше попереднього. Для забезпечення круглої форми проводу проволочки суміжних повивів закручують у протилежні напрями. Кількість шарів проволочок може бути парною або непарною. При цьому проволочки зовнішнього пориву завжди направлені праворуч [4].

					<i>БР 5.8.14.1.4 76 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

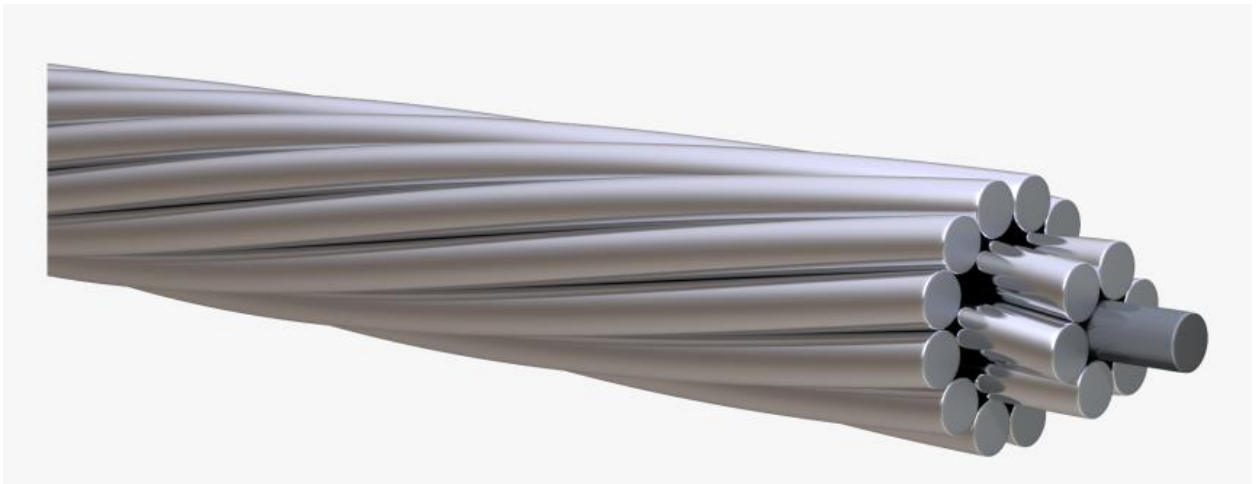


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд багатопроволочних проводів повітряних ліній електропередачі

Для забезпечення високої механічної міцності проводи виконують із осереддям з оцинкованих сталевих проволоч. Такі проводи називають сталееалюмінієвими (див. рис. 1.2). В таких проводах основне механічне навантаження сприймає сталеве осереддя. Зовнішній алюмінієвий шар забезпечує високу електричну провідність проводу та його пропускну здатність.

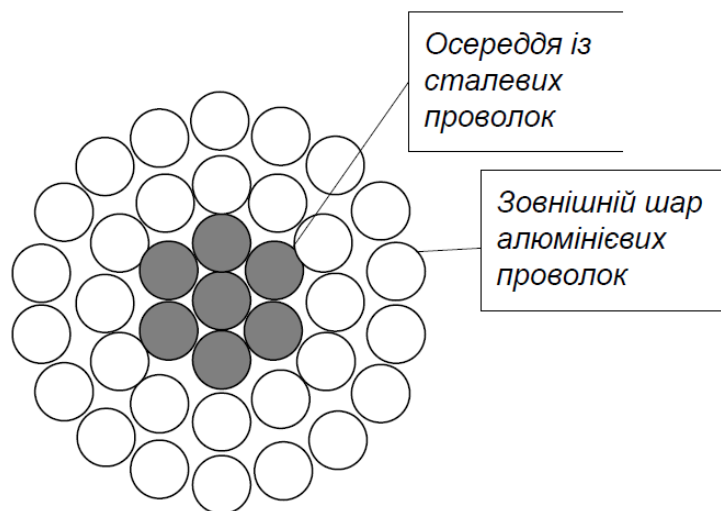


Рисунок 1.2 – Поперечний переріз сталееалюмінієвого проводу

Маркування проводів повітряних ліній складається з літеро-цифрового коду. Літери означають матеріал, з якого виготовлений провід [5].

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Зокрема:

- М – мідний провід;
- А – алюмінієвий провід;
- АН, АЖ – провід зі сплавів алюмінію;
- АС – сталеалюмінієвий провід.

Крім того, літерний код манкіровки проводів може містити інформацію про застосування мастил для забезпечення корозійної стійкості.

Зокрема:

- АКП, АНКП, АЖКП, АСКП – алюмінієвий або сталеалюмінієвий провід, міжпроволочний простір якого заповнений нейтральним мастилом;
- АСКС — сталеалюмінієвий провід, в якому міжпроволочний простір сталевого осереддя заповнений нейтральним мастилом;
- АСК — сталеалюмінієвий провід, в якому міжпроволочний простір сталевого осереддя заповнений нейтральним мастилом та ізолюваний двома поліетиленовими стрічками.

Цифровий код маркування проводу означає його номінальний переріз. Для сталеалюмінієвих проводів маркування містить дві цифри, розділених кошою рисою — номінальний переріз алюмінієвої частини та номінальний переріз сталевого осереддя. Інколи в позначення сталеалюмінієвих проводів останнє значення опускають. Це пояснюють тим, що сталеве осереддя таких проводів призначене лише для забезпечення необхідної механічної міцності. Струмopровідним є лише зовнішній алюмінієвий шар. Тому в задачах дослідження процесів передавання енергії по лініям електропередач має сенс лише значення перерізу зовнішнього алюмінієвого шару.

Чинні нормативні документи, зокрема ГОСТ 839-2019 «Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи», регламентують шкалу номінальних перерізів проводів повітряних ліній, яка складається з наступного ряду: 4, 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300, 330, 400, 500, 600, 700, 800, 1000 мм<sup>2</sup>. Дійсні перерізи проводів можуть дещо відрізнятися від

					<i>БР 5.8.141.476 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

наведених номінальних значень відповідно до кількості па перерізу проволоч, з яких звитий багатопроволочний провід.

Зазначимо, що наведений ряд номінальних перерізів стосується лише мідних проводів (4-400 мм<sup>2</sup>), алюмінієвих проводів (16-800 мм<sup>2</sup>) та алюмінієвого шару сталюалюмінієвих проводів (10-1000 мм<sup>2</sup>).

Для виконання грозозахисту ліній електропередачі використовують сталеві троси або сталюалюмінієві проводи зі зменшеним перерізом алюмінієвої частини.

Останнім часом, для виконання струмоведучих проводів та грозозахисту повітряних ліній використовують спеціальні проводи та троси, суміщені зі оптоволоконним кабелем, розташованим всередині проводів та тросів (див. рис. 1.3), що дозволяє крім передавання електричної енергії та грозозахисту повітряних ліній організувати високошвидкісних оптоволоконні канали зв'язку.

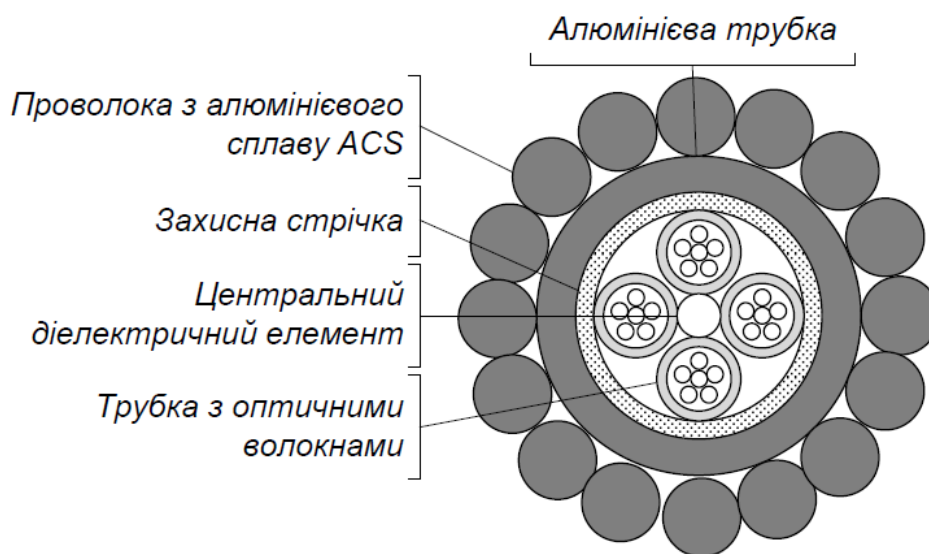


Рисунок 1.3 – Конструкція оптичного кабелю у грозозахисному тросі OPGW

Одним з перспективних напрямків в сфері проектування ПЛ є застосування самонесучих ізолюваних проводів (СІП), які пропонують застосовувати в мережах 0,4-1 кВ і 6-20 кВ, замість традиційно використовуваних неізолюваних проводів. СІП – це скручені в джгут ізолювані проводи, ізоляція яких

										Арк.
										13
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 5.8.14.1.476 ПЗ					

виконана зі світлостабілізованого поліетилену [6].

Основні переваги даних проводів полягають у наступному:

- зменшується час на проведення монтажних робіт;
- підвищується механічна міцність проводів і, відповідно, зменшується імовірність їхнього обриву;
- відсутня можливість схрещення проводів;
- зменшується ймовірність утворення ожеледі на проводах;
- зменшуються втрати в ПЛ за рахунок зменшення реактивного опору ізолюваного проводу;
- з'являється можливість виконувати нові відгалуження під напругою;
- обмежується можливість несанкціонованого споживання електроенергії;
- зменшується зона відчуження лінії електропередачі;
- підвищується пожежонебезпека ПЛ;
- виключається можливість випадкового дотику людей до проводів, які знаходяться під напругою.

Сьогодні фірми Nokia Cables (Фінляндія), Alkatel (Франція) випускають якісні СП різних конструкцій. Більш сучасна конструкція СП, розроблена в Німеччині [6]. У ній фазні й нульові провода виконують несучі функції. Чотирихпровідна система проводів позначається як СП-4, СПс-4, СПн-4, СП-2AF. Конструкція проводів СП-4 наведена на рис. 1.4.

					<i>БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

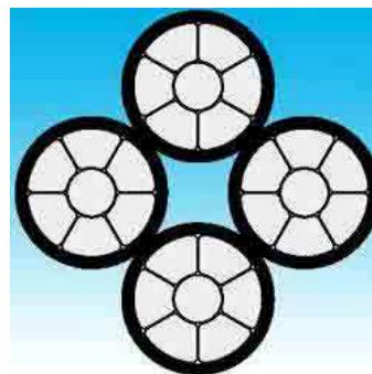


Рисунок 1.4 – Конструкція проводів СПП-4

Це проводи без несучого троса, що містять чотири провідники з ущільнених алюмінієвих жил рівного перерізу, які скручені між собою. Ізоляція в цих проводах виготовлена з термопластичного атмосферостійкого поліетилену високого тиску. Кріплення проводів здійснюють відразу за всі чотири провідника, що забезпечує збільшення сумарної розривної міцності проводу. При виготовленні СПП-4 використовують нову технологію скрутки проводів, що забезпечує самоскидання налиплого мокрого снігу й ожеледі. Крім СПП-4 випускають також марки: СППс-4 з ізоляцією зі зшитого поліетилену й СППн-4 з ізоляцією з полімерної композиції, яка не поширює горіння. Проводи з ізоляцією із зшитого поліетилену марки СППс-4 мають більшу припустиму температуру на струмоведучій жилі, в порівнянні із проводами СПП-4 і СППн-4. Це дозволяє передавати по них приблизно на 30% більшу потужність. Крім того, ці проводи мають більшу стійкість у режимі короткого замикання. Проводи СППн-4 доцільно застосовувати в тих випадках, коли необхідно забезпечити підвищені вимоги з пожежної безпеки. У порівнянні з неізольованими «голими» проводами надійність і безпека лінії, оснащеної СПП, підвищується до рівня надійності кабельних ліній. Одним з елементів ПЛ є грозозахисні троси. Їх застосовують на ПЛ із металевими й залізобетонними опорами напруженою 35 кВ тільки на підходах до підстанцій, а при напрузі 110-500 кВ – по всій довжині лінії. Як грозозахисні троси в основному застосовують сталеві

					БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



троси марки ТК-9,1 або ТК- 11,0

## 1.2 Характеристики опор повітряних ліній електропередачі

Проводи повітряних ліній закріплюють на опорах, які складаються з вертикальних стояків, горизонтальних траверс та фундаментів. Основними матеріалами для виготовлення опор є залізобетон та сталь [2].

Загальний вигляд залізобетонної опори наведено на рис. 1.5. Така опора складається з вертикальної залізобетонної стійки, заглибленої та закріпленої в ґрунті та металевих траверс, на яких закріплюють фазні проводи.

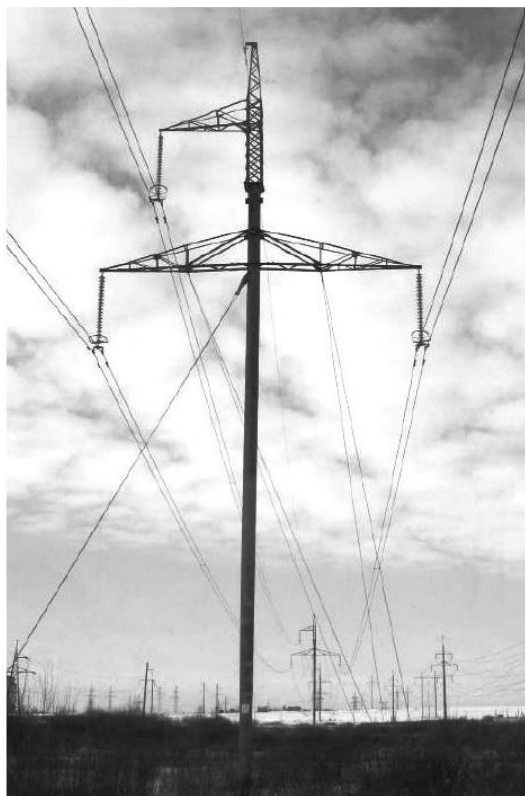


Рисунок 1.5 – Залізобетонна проміжна опора ПЛ 330 кВ



Рисунок 1.6– Металева анкерна кутова опора ПЛ 35 кВ

Залізобетонні опори характеризуються простотою виготовлення, дешевою та простотою обслуговування. Разом з тим їх застосування обмежують

					БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

такі фактори, як велика вага опор та труднощі, пов'язані із транспортуванням. Металева опора представлена на рис. 1.6. Така опора складається з сталевих ферм, скріплених болтовими або зварними з'єднаннями. Металеві опори закріплюють в ґрунті на залізобетонних фундаментах.

Сталеві опори дорожчі за залізобетонні, потребують регулярного обслуговування, пов'язаного з антикорозійними заходами. Проте такі опори складаються з окремих елементів, які збирають на місці монтажу, що дозволяє створювати конструкції будь-якої необхідної форми.

В умовах важкодоступних трас повітряних ліній інколи застосовують металеві опори з алюмінієвих сплавів. Такі опори не потребують антикорозійного захисту. Проте висока вартість таких опор суттєво обмежує їх застосування [7].

Останнім часом почали застосовувати багатогранні металеві опори, виконані в габаритах залізобетонних опор із гнучого металу (див. рис. 1.7). Такі опори характеризуються простотою виготовлення та монтажу, компактністю, малою вагою тощо.



Рисунок 1.7 – Анкерна багатогранна металева опора ПЛ 110 кВ

					<i>БР 5.8.14.1.476 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

За конструктивним виконанням розрізняють проміжні та анкерні опори. Проміжні опори встановлюють на прямих ділянках повітряних ліній. Такі опори призначені для підтримки проводів повітряної лінії з метою забезпечення нормованих габаритних відстаней між проводами лінії та землею. На рис. 1.5 представлена проміжна залізобетонна опора повітряної лінії напругою 330 кВ. Анкерні опори призначені для натягування проводів повітряної лінії з метою забезпечення нормованих значень тяжіння в матеріалі проводів лінії.

Анкерні опори встановлюють на кінцях лінії, на кутах поворотів, на прямих, обмежуючі анкерні ділянки, а також в місцях, передбачених нормами проектування лінії, наприклад, обмежуючі перехід лінії через електрифіковану залізницю. На рис. 1.7 представлено анкерну кінцеву багатогранну металеву опору повітряної лінії 110 кВ, а на рис. 1.6 – анкерну кутову опору повітряної лінії 35 кВ [8].

Крім зазначених в конструкціях повітряних ліній застосовують інші спеціальні типи опор, зокрема, кінцеві опори, які встановлюють на кінцях повітряної лінії; кутові опори, які встановлюють на кутах поворотів лінії; відпайкові опори, для створення вузлів робочої схеми електричної мережі без застосування розподільчих пристроїв; транспозиційні опори для зміни чергування фазних проводів лінії у просторі; перехідні опори для виконання переходів через водні простори тощо.

### 1.3 Характеристики ізоляторів ПЛ

Основні параметри лінійних ізоляторів, що їх нині випускають, повинні відповідати номенклатурі показників якості, що містять у собі показники: призначення, економічного використання матеріалів, надійності, технологічності, однорідності й економічні показники [9]. Класифікація лінійних ізоляторів наведена на рис. 1.8.

					<i>БР 5.8.14.1.476 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

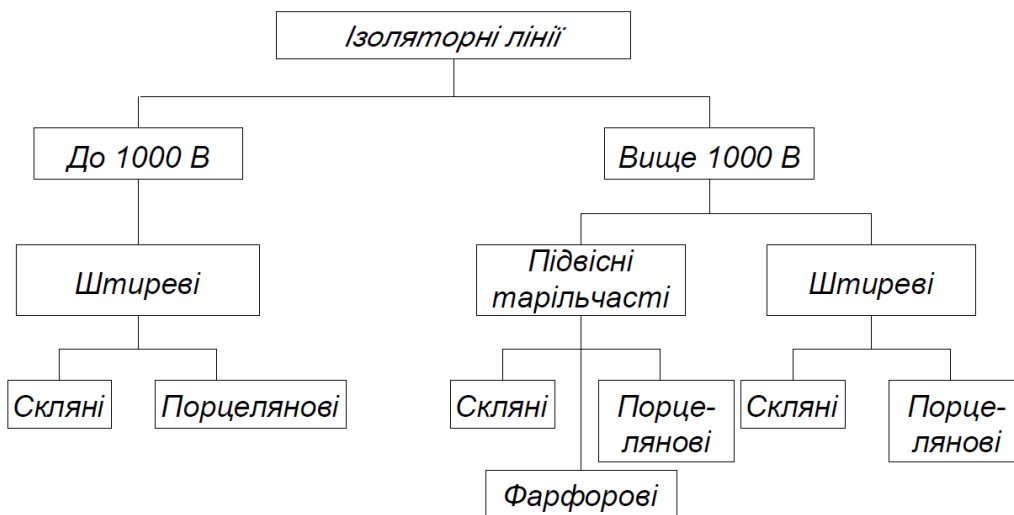


Рисунок 1.8 – Класифікація лінійних ізоляторів

Основна маса лінійних ізоляторів, які в цей час експлуатують на ПЛ, виготовлені з електротехнічної порцеляни або спеціального загартованого скла. Крім основної функції – забезпечення необхідної електричної міцності, лінійні ізолятори повинні мати достатню механічну міцність, щоб у процесі експлуатації забезпечити збереження ліній електропередачі під дією механічних навантажень від маси проводів і впливу кліматичних факторів. Електричні й механічні характеристики скляних ізоляторів, як правило, вище, ніж у порцелянових, що дає можливість виготовляти їх з меншими габаритними розмірами й масою. Крім того, в скляних ізоляторах повільніше протікають процеси старіння, ніж у порцелянових [6].

Залежно від способу кріплення на опорі, ізолятори діляться на штирові й підвісні. Штирові ізолятори застосовують на ПЛ напругою до 35 кВ (рис. 1.9). У позначенні ізоляторів, буквами позначають їхнє конструктивне виконання (Ш – штировий), матеріал, з якого він виготовлений (Ф – порцеляна, С – скло), призначення (Т – телеграфний, Н – низьковольтний), типорозмір (А, Б, В, Г). Цифрами позначають номінальну напругу, на яку розрахований ізолятор, або внутрішній діаметр різьби для низьковольтних ізоляторів. Наприклад, ізолятори, які застосовують на ПЛ до 1 кВ, мають позначення ТФ-20 – (ізолятор телеграфний, порцеляновий із внутрішнім діаметром 20мм), НС-

18 – (низьковольтний скляний ізолятор із внутрішнім діаметром 18 мм).

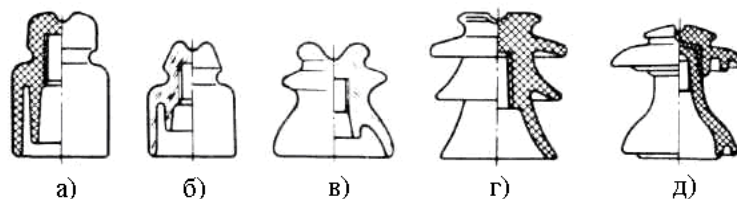


Рисунок 1.9 – Штирові ізолятори:

а) ТФ-20, б) НС-18, в) ШС-10-Г, г) ШФ-20-В, д) ШФ-35-Б

Підвісні ізолятори в основному рекомендують застосовувати на ПЛ 35 кВ і вище. Однак, їх можуть застосовувати й на ПЛ 6-10 кВ у тих випадках, коли навантаження на штирові ізолятори перевищують їхню механічну міцність. Основними конструктивними елементами підвісних ізоляторів є скляна або порцелянова “тарілка”, чавунна шапка й металевий стрижень. Між собою ці елементи з'єднуються за допомогою портландцементу марки не нижче 500. У цей час підвісні ізолятори із загартованого скла поступово витісняють порцелянові ізолятори. Пов'язано це із властивістю скла руйнуватися при електричному пробі на дрібні частини. Інші елементи ізолятора, що залишилися цілими, зберігають до 75% механічної міцності. У процесі експлуатації такі ушкоджені ізолятори легко виявити з поверхні землі, що істотно скорочує час на пошук і усунення пошкоджень ПЛ. Ескізи деяких конструкцій підвісних ізоляторів наведені на рис. 1.10.

У позначенні підвісних ізоляторів використовуються букви (П – підвісний, Ф – порцеляновий, С – скляний, Г – грязестійкий), а також цифри й букви, які вказують відповідно гарантовану механічну міцність у кілоньютонах (кН) і типорозмір [6].

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20



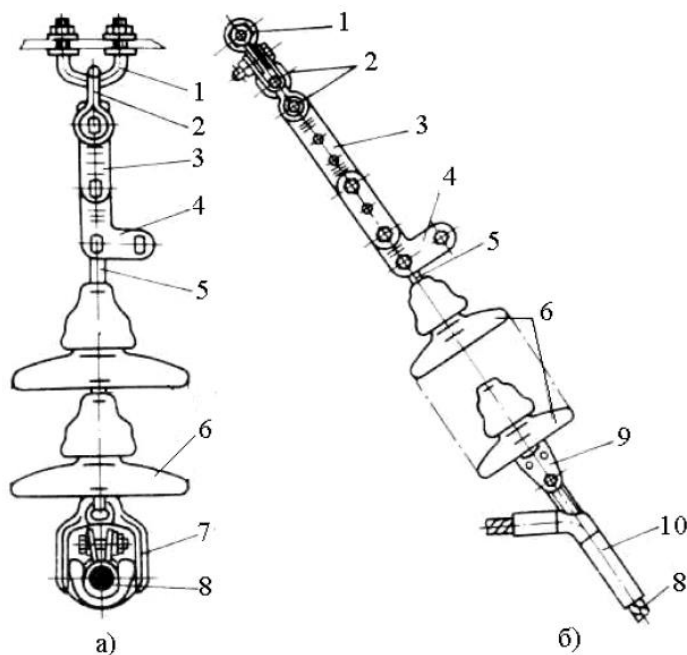


Рисунок 1.11 – Гірлянди підвісних ізоляторів: а) підтримуюча, б) натяжна;  
 1 – вузол кріплення, 2 – скоба, 3, 4 – проміжні й монтажні ланки, 5 – серга,  
 6 – ізолятори, 7,10 – підтримуючі й натяжний затискачі, 8 – провід, 9 – вушко

Лінійні ізолятори до напруги 500 кВ включно виконані у вигляді одного елемента, на напругу 750 кВ і 1150 кВ застосовують гірлянду, що складається із двох ізоляторів на напругу 330 кВ і 500кВ відповідно.

Основними перевагами композитних ізоляторів у порівнянні з ізоляторами з кераміки й скла є:

- істотне зменшення ваги ізолятора;
- підвищення механічних і електричних характеристик;
- висока працездатність в умовах забрудненої атмосфери;
- можливість створення компактних електроустановок;
- зручність транспортування й монтажу;
- підвищені антивандальні властивості.

Незважаючи на зовнішню простоту, композитні ізолятори являють собою досить складну конструкцію, що піддається комбінованим механічним і електричним навантаженням, а також впливу навколишнього середовища.

									Арк.
									22
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 5.8.141.476 ПЗ				

В 1992 році був уперше розроблений стандарт, що поширювався на лінійні підвісні й натяжні ізолятори, а також міжфазні розпірки ПЛ. Відповідно до даного стандарту створювалася основна маса полімерних композитних ізоляторів останнього часу. Виходячи з визначення, наведеного в цьому стандарті, композитні ізолятори являють собою конструкцію, що складається з окремих елементів (спідниць) змонтованих на стрижні із проміжним шаром або без нього, або з оболонки, відлитой цільною безпосередньо на стрижні [7]. Один з варіантів конструкції композиційного ізолятора показаний на рис. 1.12.

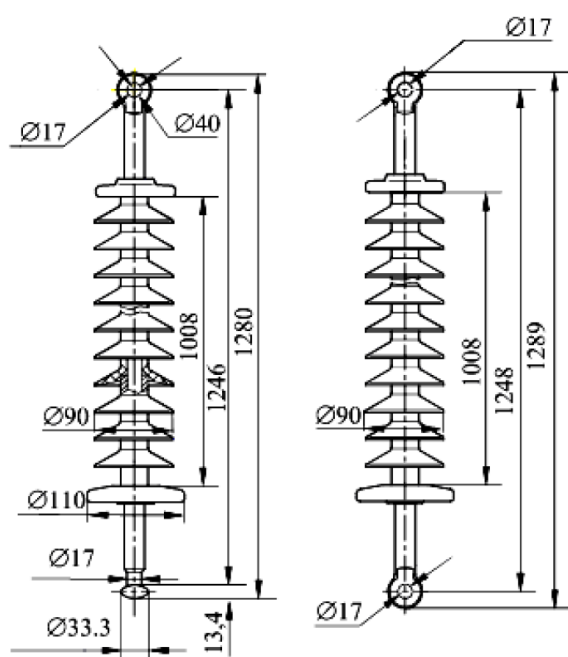


Рисунок 1.12 – Конструкція композиційного ізолятора ЛК-70/ 110-3

У позначенні ізолятора використовують букви конструкції, що позначають вид, (Л – лінійний, стрижневий, підвісний), матеріал захисної оболонки (К – кремнійорганічна гума) і цифри, які означають клас ізолятора ( 3-7 ступінь забруднення атмосфери).

Стрижень ізоляторів виконує подвійну роль, забезпечуючи задані ізоляційні механічні характеристики. У лінійних підвісних ізоляторах центральний стрижень складається з аксіально-орієнтованих (уздовж осі ізолятора) скляних ниток, скріплених разом за допомогою епоксидної смоли. Сімдесят

										Арк.
										23
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 5.8.14.1.476 ПЗ					



п'ять відсотків ваги стрижня становлять нитки малолужного скла типу Е. Діаметр ниток лежить у межах від 5 до 20 мкм. Смола може бути поліефірною або епоксидною. Епоксидна смола має більш високі механічні характеристики, але через більш низьку вартість найчастіше застосовують поліефірні смоли. Склопластикові стрижні різних діаметрів і довжини виготовляють шляхом протягання через нагріту формуючу філь'єру склоровинга, попередньо просоченого епоксидним компаундом [6].

Оболонка, що є ізолюючим елементом, забезпечує необхідну довжину шляху витоку й захищає стрижень від атмосферних впливів. У цей час для виготовлення оболонки широко використовують наступні матеріали: епоксидні смоли(компаунди); вуглеводні еластomers; силіконові еластomers . Однак окремі підприємства виготовляють ізолятори й з іншими матеріалами захисної оболонки.

Проміжний шар, який виготовляють з ізолюючого матеріалу, необхідний для поліпшення адгезії матеріалу оболонки й матеріалу стрижня, а також для ізоляції поверхні розділу різних полімерних матеріалів.

“Спідниця” є виступаючим елементом оболонки, призначеним для збільшення довжини шляху витоку.

Конфігурація “спідниць”, що використовують в композитних ізоляторах, досить різноманітна. На перших ізоляторах “спідниці” робили ребристими за зразком порцелянових довгостержневих підвісних ізоляторів. Застосовувалась також конусна форма “спідниць” для забезпечення великої довжини шляху витоку. “Спідниці” такої конфігурації легко віддаляються з виготовлюваної форми, коли відливаються поштучно. Однак з переходом від модульних виливків до цільновідливної оболонки форма застосовуваних “спідниць” стала у більшості фірм слабкоконічною. Основною причиною переходу до такої форми “спідниці” було забезпечення вилучення її без ушкоджень із відливальної форми. В останні роки найчастіше застосовують гладкі профілі “спідниць”, які краще очищаються від забруднення вітром і опадами.

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

У цей час більшість передових закордонних фірм для підвищення терміну служби ізоляторів, особливо для більш високих напруг, відмовилося від модульної відливки й перейшли на відливки оболонки, які вулканізуються на стрижні цілком за один технологічний цикл. Причин для такого переходу існує декілька. У модульних оболонках, через корону в просторі між “спідницями” і ерозії, викликані поверхневими розрядами, часто утворюються мікропровідні канали між окремими “спідницями”, що призводить до виходу їх з роботи. Відомі випадки, коли такі канали проникали безпосередньо до склопластикового стрижня й були причиною його трекінгу. Крім того, у модульних конструкціях для заповнення повітряних порожнин між “спідницями” використовують сполучні компаунди (силіконова мазь, силіконовий гель), які виділяють масло, що сприяє нагромадженню забруднень на стиках між “спідницями”. Герметики типу епоксидних смол не утворюють постійного зв'язку з еластичними матеріалами, тому модульні з'єднання механічно розділяються за короткий проміжок часу через вплив вологи [6].

Окремо сформовані “спідниці” або групи “спідниць”, які насаджуються на стрижень ізолятора, звичайно мають менший внутрішній діаметр, чим діаметр стрижня. Установку таких “спідниць” на стрижень найчастіше виконують шляхом натяжки, при цьому знижується кількість компаунду, необхідного для заповнення повітряного проміжку між стрижнем і оболонкою. Це призводить до механічних навантажень у “спідницях” і зменшує термін служби ізоляторів.

Металева арматура (наконечники) призначена для з'єднання композитного ізолятора із проводом, несучою конструкцією (наприклад, опорою ПЛ), елементом електроустаткування (наприклад, шиною або з іншим ізолятором).

Наконечники композитних ізоляторів виготовляють з литого, штампованого алюмінію, кованого чавуну або сталі. Для забезпечення необхідної механічної міцності наконечники прикріплюють до стрижня різними способами – обпресуванням, заливанням епоксидним компаундом, або з використанням

					БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

металевого клина. Коли обпресування виконують рівномірно по колу наконечники, ізолятор має більшу розривну міцність на одиницю поперечного перерізу сердечника, ніж при використанні клеєного конічного о наконечники. Однак, якщо пресформа зношена або використовується тільки двостороннє обпресування шестигранною матрицею, може відбутися злам стрижня ізолятора. Найбільш удале закладення стрижня ізолятора в наконечник відбувається під час обпресування круглою матрицею методом витяжки. У цьому випадку в стрижні ізолятора не утворюються мікротріщини. Ці тріщини, як правило, не можуть бути виявлені під час приймальних випробувань, а дефект проявляється вже в експлуатації.

У клинових конструкціях наконечників створюються механічні навантаження, що передаються до центра стрижня. Вони можуть привести до утворення в сердечнику тріщини при досить малих крутних навантаженнях. Ізолятори з такими наконечниками потребують особливої обережності під час монтажу й експлуатації [6].

При перекритті ізолятора електричною дугою на наконечниках, де розташовуються опорні точки дуги, концентрується тепло. У конструкціях з обтисненням при нагріванні наконечник розширюються, тому їхнє з'єднання із стрижнем послабляється. У клейових епоксидних конструкціях розкладання клейової частини є типовою причиною пошкодження. У клиновій конструкції нагрівання стрижня призводить до пошкодження у результаті розклинення. На багатьох конструкціях наконечників встановлюються додаткові металеві диски (кільця) що захищають наконечники від концентрованої в опорних точках теплової енергії дуги. Ізолятори більш високих класів напруги забезпечуються захисною арматурою для вирівнювання розподілу напруги. Однак у деяких випадках ця арматура може сильно ушкоджуватися від дії силової дуги. Якщо таке кільце не замінити відразу після його ушкодження, це може призвести в дуже короткий час до серйозного “коронного” ушкодження в ізоляторі.

До недоліків композиційних лінійних стрижневих підвісних ізоляторів

					БР 5.8.14.1.4 76 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

слід віднести:

- 1) неможливість роботи стрижня при складних навантажувальних режимах, що представляють собою розтягання у сполученні із крутінням, сти-ском або вигином;
- 2) неявність місць перекриття, пробою, трекінгу й ерозії стрижня;
- 3) необхідність повної заміни при пошкодженні;
- 4) необхідність транспортування й зберігання за допомогою нестан-дартної тари.

Однак, аналіз даних, отриманих у процесі експлуатації цих ізоляторів, до зволяють зробити висновок, що ізолюючі конструкції на основі композиційних ізоляторів цілком задовольняють вимогам щодо забезпечення надійно-сті ліній електропередачі. Це визначає доцільність їхнього застосування, як для ремонтних цілей, так і для нового будівництва, особливо в мережах напру-гою 110 кВ, що перебувають у зонах інтенсивного забруднення, а також у ме-режах напругою 330 і 750 кВ і вище [6].

#### 1.4 Висновки

Розглянуто основні елементи повітряних ліній електропередач. Для пре-давання електричної енергії на відстань застосовуються лінії провoda. За конс-труктивним виконанням розрізняють повітряні, кабельні лінії електропере-дачі, струмопроводи та електропроводки. Останнім часом набули популярно-сті самонесучі ізолюючі проводи (СПП). Струмопровідні жили бувають мідні, алюмінієві, сталеві. Найкраща провідність у мідних, але так як даний матеріал є дорогим застосовують проводи з алюмінієвими жилами. Для забезпечення високої механічної міцності проводи виконують із осереддям з оцинкованих сталевих проволоч.

Для прокладання проводів застосовують опори сталеві та залізобетонні.

					<i>БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

За конструктивним виконанням розрізняють проміжні та анкерні опори. Проміжні опори встановлюють на прямих ділянках повітряних ліній. Анкерні опори призначені для натягування проводів повітряної лінії з метою забезпечення нормованих значень тяжіння в матеріалі проводів лінії.

Ізолятори є одними з найбільш важливих елементами повітряних ліній. Правильний вибір ізоляції та її висока якість є основними умовами, виконання яких забезпечує надійну експлуатацію ліній. На відміну від ізоляторів, які використовують в інших електроустановках, наприклад в електричних апаратах, ізолятори повітряних ліній називають лінійними.

Лінійні ізолятори повітряних ліній призначені для ізолювання проводів від опор та інших конструкцій кріплення, а також для кріплення проводів та тросів до опор. Кожен ізолятор складається з ізоляційного елемента та металеві арматури для кріплення проводів та тросів до ізоляторів, а ізоляторів до опор. Матеріал ізоляторів повинен витримувати діяння змінних температур, опадів, сонця тощо, а також бути хімічно стійким по відношенню до агресивного впливу у вигляді диму та пари, яка містить кислоти, луги чи відкладення морських солей. Таким матеріалом в основному є загартоване скло, фарфор та полімери.

					<i>БР 5.8.141.476 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

## 2 РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКІВ КОНСТРУКЦІЙ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ

### 2.1 Метод розрахунків конструкцій для проектування ПЛ

Сили, які впливають опори повітряних ліній електропередачі та його основу, називаються навантаженнями. Розрахунок металевих опор проводиться за методом граничних станів, тобто враховуються стани, при досягненні яких конструкція опори перестає задовольняти вимогам, що висуваються до неї, за умовами експлуатації [10].

Можливість виникнення граничного стану залежить від:

1. Механічних властивостей матеріалів конструкцій чи фізичних властивостей ґрунту.
2. Умов роботи конструкцій.
3. Зміни навантажень.

Міра зміни навантажень називається коефіцієнтом навантаження  $n$ . Навантаження, відповідні умови експлуатації опори, називаються нормативними навантаженнями. Відповідно до [11] розрізняють три режими, які можуть бути в процесі монтажу та експлуатації повітряних ліній.

Режим 1 – нормальний. Нормальним режимом називається робота лінії при не обірваних проводах та тросах. У цьому режимі на опори та їх підстави діють такі види навантажень (рис. 2.1 а, б) [6, 12]:

постійні: власна вага опор  $G_{оп}$ , ізоляторів  $G_T$  [12], проводів  $G_{п}$  і тросів  $G_T$  без ожеледиці [12]; навантаження від тяжіння проводів  $\Delta T_{п}$  і тросів  $\Delta T_T$  при середньорічній температурі та відсутності ожеледиці та вітру;

					<b>БР 5.6.14.1.476 ПЗ</b>							
Змн.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Аналіз методів розрахунків конструкцій повітряних ліній електропередач			Лит.	Аркуш	Листів		
Розроб.	Тютюнник									29	99	
Перевір.	Лебединський							СумДУ ЕТз-91с				
Реценз.												
Н. Контр.	Никифоров											
Затверд.	Лебединський											

– короточасні: від тиску вітру на дроти  $Q_{\text{п}}$ , троси  $Q_{\text{т}}$  та опори; від ваги ожеlediці на провoдах та тросax.

Робота лінії в нормальному режимі відбувається протягом більшої частини часу їх експлуатації, тому навантаження, що приймаються в нормальному режимі, називають основними.

Режим 2 – аварійний. Аварійним режимом роботи називається робота лінії при обриві дротів та тросів. Тривалість впливу навантажень аварійного режиму порівняно невелика, тому в розрахунках за аварійним режимом, розрахункові навантаження та нормативні тяжіння проводів, множаться коефіцієнти. Схеми навантажень на опори наведено на рис. 2.2 а, б.

Режим 3 – монтажний. Монтажним режимом роботи називається робота конструкції в умовах монтажу опор, проводів та тросів. Поєднання навантажень в монтажному режимі відносять до основних.

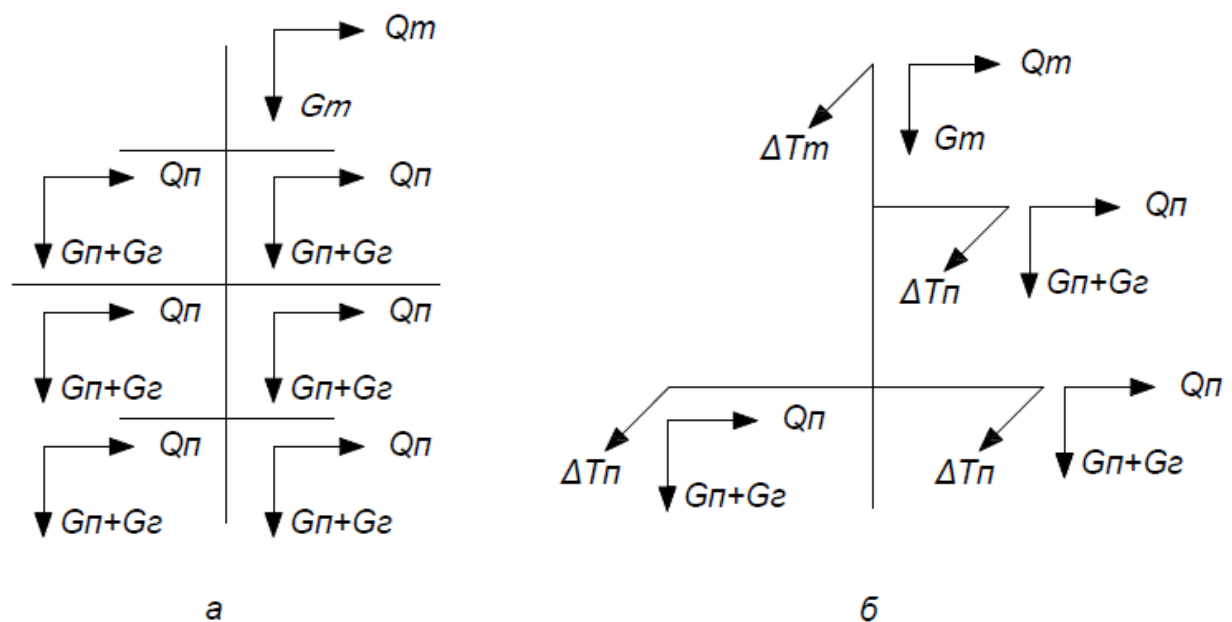


Рисунок 2.1 – Схеми навантажень на опору в нормальному режимі роботи повітряної лінії: а – на проміжну дволанцюгову; б – на анкерну

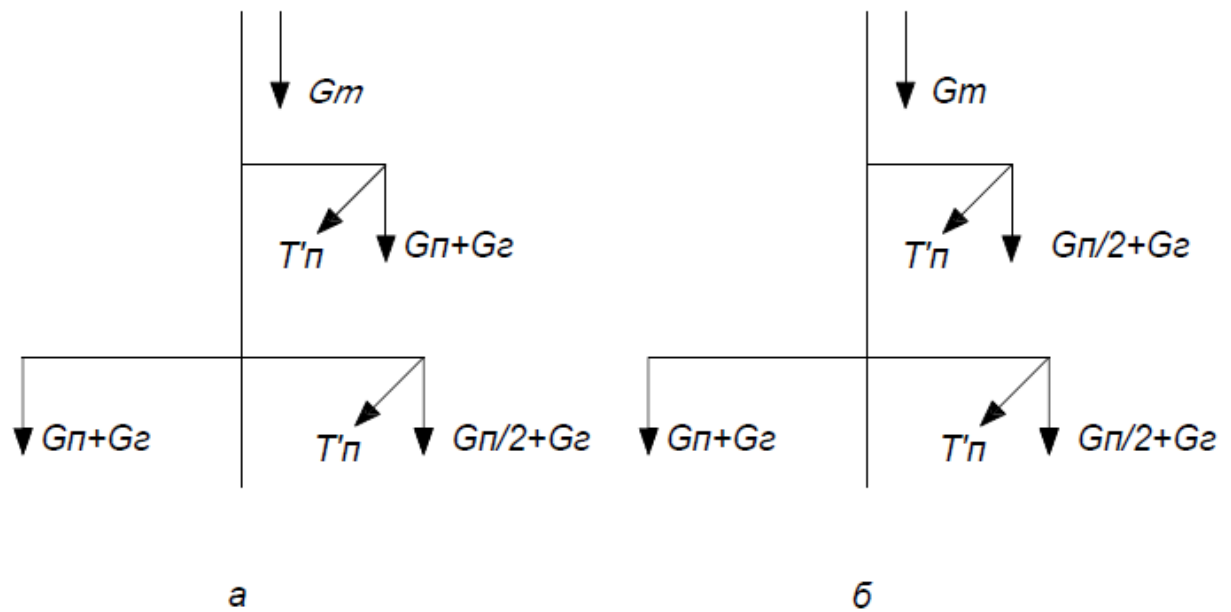


Рисунок 2.2 – Схеми навантажень на опорі в аварійному режимі роботи повітряної лінії: а – на проміжну одноланцюгову; б – на анкерну

Опори повітряних ліній електропередачі відрізняються від інших інженерних споруд, оскільки розміри інженерних споруд визначаються вертикальними навантаженнями від власної ваги і корисними технологічними навантаженнями, для яких призначені споруди. Основними навантаженнями, що визначають розміри елементів опор та фундаментів, є горизонтальні, а додатковими – вертикальні.

Горизонтальні навантаження складаються з [12]:

1. Вітрового навантаження на конструкцію опори. Для нормальних сталевих опор висотою до 50 м повне вітрове навантаження визначається за такою формулою (2.1):

$$P_{оп} = C_x \cdot Q_n \cdot S \cdot \beta, \quad (2.1)$$

де  $S$  – площа проєкції конструкції по зовнішньому обміру з навітряного боку на площину, перпендикулярну до вітру,  $m^2$ .

$\beta$  – коефіцієнт, що враховує динамічний вплив поривів вітру: для сталевих



вих опор  $\beta = 1$ ; для опор на відтяжках  $\beta = 1,65$ ; для дерев'яних та залізобетонних опор  $\beta = 1,65$ .

Навантаження від тяжіння проводів та тросів визначають за виразом (2.2):

$$T = F \cdot \sigma \quad (2.2)$$

де  $F$  – переріз дроту,  $\text{мм}^2$ ;

$\sigma$  – напруга у дроті, що визначається з механічного розрахунку,  $\text{даН/мм}^2$ .

До вертикальних навантажень відносять [12]:

- 1) власну вагу опори;
- 2) вага гірлянд ізоляторів з арматурою;
- 3) вага проводів та тросів;
- 4) вага монтера з монтажними пристроями.

Нормативна вага монтажних пристроїв та монтера з інструментом приймається: для всіх опор повітряних ліній 500 кВ – 250 даН; для проміжних опор ліній 35-330 кВ із підвісними ізоляторами – 150 даН; для анкерних опор – 200 даН; для всіх опор ліній зі штировими ізоляторами – 100 даН.

## 2.2 Вибір площі поперечного перерізу жил проводів

Вибір перерізу провідників повітряних і кабельних ліній, як правило, проводять виходячи з економічних умов, яким відповідають методи економічної густини струму й економічних струмових інтервалів. При цьому необхідно враховувати ряд технічних обмежень, що мають переважно конкретну область застосування [13].

Вибір перерізів з економічної густини струму ведеться для нормального робочого режиму максимальних навантажень розглянутої електричної мережі,

					<i>БР 5.8.141.476 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

для якого й визначається розрахунковий струм  $I_{нб}$ . Далі, виходячи з передбачуваного конструктивного виконання лінії, марки проводу або кабелю і часу використання максимальних навантажень, вибирають значення економічної густини струму  $J_e$ . (табл. 2.1).

Поперечний переріз провідника, визначений за формулою (2.3):

$$F_e = \frac{I_{нб}}{J_e} \quad (2.3)$$

Таблиця 2.1 – Економічна густина струму, А/мм<sup>2</sup>

Тип провідника	$T_{нб}$ , год/рік		
	1000-3000	3001-5000	Більше 5000
Неізольовані дроти:			
мідні	2,5	2,1	1,8
алюмінієві	1,3	1,1	1,0
Кабелі з паперовою ізоляцією з жилами:			
мідними	3,0	2,5	2,0
алюмінієвими	1,6	1,4	1,2
Кабелі з гумовою і пластмасовою ізоляцією з жилами:			
мідними	3,5	3,1	2,7
алюмінієвими	1,9	1,7	1,6

У повітряних і кабельних лініях з проміжними відборами потужності для сусідніх ділянок допускається брати однаковий переріз провідника, відповідний економічному для найбільш протяжної ділянки, якщо їх розрахункові перерізи розрізняються на один ступінь за шкалою стандартних перерізів.

При визначенні розрахункового струму  $I_{нб}$  у замкнених мережах потрібно враховувати таке. Для мереж напругою 110 кВ і вище нормальним робочим режимом є замкнений. Розрахунок розподілу у них потужностей, за яким знаходять струми  $I_{нб}$ , береться з припущенням однорідності мережі [13].

Для замкнених за конфігурацією мереж 6–35 кВ нормальним робочим режимом є розімкнений. При цьому розмикання здійснюють, як правило, на ділянці, що забезпечує мінімум втрат потужності у мережі, який визначають так. Знаходять розподіл потужностей у замкненому режимі мережі, вважаючи її однорідною. Потім виявляють лінію, за якою проходить найменша активна потужність, і вимикають її.

Вибір перерізів за економічною густиною струму береться у лініях із напругою не вище ніж 220 кВ. Із ліній цього класу напруги виняток становлять: мережі промислових підприємств до 1 кВ при часу використання найбільшого навантаження до 4 000–5 000 год; відгалуження до окремих електроприймачів напругою до 1 кВ й освітлювальні мережі; мережі тимчасових споруд, а також пристрої з терміном служби 3–5 років. Вибір перерізів проводів у повітряних лініях 35 кВ і вище пропонують проводити не за економічною густиною струму, а згідно економічних інтервалів струму (потужності). Його проводять за розрахунковим навантаженням струму, яке визначають для нормального робочого режиму максимальних навантажень і враховують зміни навантаження за роками експлуатації лінії і кількості годин використання найбільшого навантаження  $T_{нб}$  (2.4):

$$I_p = I_{нб} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_T, \quad (2.4)$$

де  $I_{нб}$  – струм у лінії на п'ятий рік її експлуатації у нормальному режимі, відповідному максимуму навантаження енергосистеми;

$\alpha_i$  – коефіцієнт, що враховує зміну навантаження погодам експлуатації лінії, для ліній 110–220 кВ береться таким, що дорівнює 1,05;

$\alpha_T$  – коефіцієнт, що враховує число використання найбільшого навантаження лінії  $I_{нб}$ , і коефіцієнт її потрапляння в максимум енергосистеми  $k_M$  (табл. 2.2).

Економічні інтервали струму для вибору перерізів подають у вигляді

					<i>БР 5.8.14.1.4 76 ПЗ</i>	Арк.
						34
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

таблиць залежно від напруги, розрахункового навантаження струму  $I_p$ , району щодо ожеледі, матеріалу опор і кількості ланцюгів у лінії [13].

Економічні інтервали струмів підраховані для перерізів, придатних за умовами корони. Тому перевіряти за умовою корони потрібно лише повітряні лінії 110 кВ і вище, що прокладаються на висоті понад 1 500 м над рівнем моря.

Таблиця 2.2 – Усереднені значення коефіцієнта  $\alpha_T$

Напруга ВЛ, кВ	$k_M$	$T_{нб}, год$		
		<4000	4000-6000	>6000
35–330	1,0	0,8	1,0	1,3
	0,8	0,9	1,2	1,6
	0,6	1,1	1,5	2,2

Вибрані згідно економічних інтервалів струмів повітряні лінії 35 кВ не потрібно перевіряти за допустимими втратами напруги, оскільки підвищувати рівень напруги у них за рахунок збільшення перерізу економічно недоцільно. У деяких лініях переріз не вибирають згідно економічних умов. У них основними умовами виступають втрата напруги  $F_{\Delta U}$  і нагрівання тривало допустимим струмом  $F_{I_{доп}}$ .

Тут потрібно оцінити нерівність  $F_{\Delta U} > < F_{I_{доп}}$  і вибрати більший переріз.

Для кабельних ліній, як правило  $F_{I_{доп}} > F_{\Delta U}$ . Для повітряних ліній із великими навантаженнями і відносно великими довжинами (сільські мережі)  $F_{\Delta U} > F_{I_{доп}}$ .

Надійність роботи електричних мереж залежить від температури нагрівання проводів і кабелів. Тому у всіх без винятку електричних мережах проводи та кабелі повинні вибиратися або, якщо вони обрані за іншими умовами, перевірятися за умовами допустимого нагрівання. Провідник підходить за допустимим нагріванням, якщо дотримується умова (2.5):

$$I_{нб} \leq I_{доп} \quad (2.5)$$

де  $I_{\text{доп}}$  – допустимий струм провідника, що враховує реальні умови його прокладання та охолодження й аварійного перевантаження;

$I_{\text{нб}}$  – максимальний струм із нормального, післяаварійного і ремонтного режимів.

При розрахунку повітряних ліній  $I_{\text{доп}}$  береться таким, що дорівнює допустимому табличному значенню для провідника розглянутого перерізу. Для кабельних ліній допустимий струм визначають за виразом (2.6):

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.Т}} \cdot k_{\text{П}} \cdot k_{\text{Т}} \cdot k_{\text{АВ}}, \quad (2.6)$$

де  $I_{\text{доп.Т}}$  – допустимий табличний струм для цього кабелю (2.7);

$k_{\text{П}}$  – поправковий коефіцієнт, що враховує число поруч прокладених працюючих кабелів;

$k_{\text{Т}}$  – поправковий коефіцієнт на температуру навколишнього середовища, виходячи з умов прокладання;

$k_{\text{АВ}}$  – коефіцієнт перевантаження у післяаварійному режимі

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{НОМ.ЗАХ.АП}}}{k} \quad (2.7)$$

де  $I_{\text{НОМ.ЗАХ.АП}}$  – номінальний струм захисного апарата;

$k$  – коефіцієнт, що дорівнює 0,8 для міських мереж і 3 для промислових підприємств і силових установок.

У мережах напругою 0,38 – 20 кВ вибраний чи такий, що вибирають переріз повинен задовольняти умові (2.8):

$$\Delta U_{\text{нб}} \leq \Delta U_{\text{доп}} \quad (2.8)$$

де  $\Delta U_{\text{доп}}$  – допустима втрата напруги, що забезпечує необхідні відхилення напруги;

					<i>БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$\Delta U_{\text{нб}}$  – втрата напруги від джерела до найвіддаленішої точки мережі.

Необхідність перевірки цієї умови викликана:

– по-перше, вимогою забезпечення відхилень напруги у споживачів відповідно державного стандарту;

– по-друге, істотним впливом перерізу провідника на втрати напруги через те, що в розглянутих мережах  $r_0 > x_0$ .

При виборі перерізів за допустимою втратою напруги можуть братися до уваги додаткові умови: незмінність перерізу, але всієї лінії з декількома навантаженнями  $F = \text{const}$ , мінімум витрат металу  $m_F = \text{min}$  і мінімум втрат потужності  $\Delta P = \text{min}$ .

Необхідність виконання першої умови характерна для міських мереж, що мають велику кількість навантажень, достатньо близько розміщених один до одного. Другу додаткову умову використовують у сільських мережах, де через малі навантаження економія металу часто важливіша, ніж економія, наприклад, втрат електроенергії. Остання умова, відповідність постійній густині струму, є найбільш характерною для промислових мереж, що мають досить великі навантаження за малих відстанях їх передачі.

Розглянемо алгоритм вибору перерізів провідників за допустимою втратою напруги з урахуванням необхідності виконання додаткових умов.

У всіх випадках рішення починається з вибору величини питомого індуктивного опору  $x_0$  залежності від конструктивного виконання мережі та номінальної напруги. Потім визначається реактивна складова втрати напруги (2.9):

$$\Delta U_p = \frac{x_0 \sum Q_{iL} \cdot l}{U_H} \quad (2.9)$$

Далі знаходимо активну складову допустимої втрати напруги (2.10):

$$\Delta U_{A,\text{доп}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_p \quad (2.10)$$

					БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Ця частина розрахунку є однаковою для всіх додаткових умов, а подальші розрахунки з визначення перерізів провідників для них різні.

При виборі додаткової умови  $F = \text{const}$  переріз провідника визначають за формулою (2.11):

$$F = \frac{\sum P_{iЛ} \cdot l}{\gamma \Delta U_{A, \text{доп}} \Delta U_H}, \quad (2.11)$$

де  $\gamma$  – питома провідність матеріалу провідника (для алюмінієвих і сталееалюмінієвих провідників) (2.12):

$$\gamma = 32 \frac{\text{М}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2} \quad (2.12)$$

Для додаткової умови  $\Delta P = \text{min}$  спочатку розраховують густину струму, однаковою для всіх ділянок

$$j_{\Delta U} = \frac{\gamma \Delta U_{A, \text{доп}}}{\sqrt{3} \sum l_{iЛ} \cdot \cos \varphi_{iЛ}}, \quad (2.13)$$

а потім для кожної ділянки визначають розрахункові перерізи

$$F_{iЛ} = \frac{l_{iЛ}}{j_{\Delta U}}, \quad (2.14)$$

І, нарешті, для умови  $m_F = \text{min}$  у випадку  $n$  навантажень спочатку знаходять переріз останньої ділянки лінії  $(n - 1) - n$

$$F_{(n-1)-n} = \frac{\sqrt{P_{(n-1)-n}}}{\gamma U_{A, \text{доп}} \Delta U_H} \sum l_{iЛ} \cdot \sqrt{P_{iЛ}} \quad (2.15)$$

Далі послідовно визначають перерізи попередніх ділянок лінії (2.16):

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$F_{(n-2)-(n-1)} = F_{(n-1)-n} \sqrt{\frac{P_{(n-2)-(n-1)}}{P_{(n-2)-n}}} \quad (2.16)$$

Подальший розрахунок для всіх додаткових умов однаковий. Знайдені розрахункові перерізи округлюють до найближчих стандартних значень. Для них знаходять параметри  $r_0$  і  $x_0$  і розраховують дійсну втрату напруги до найвіддаленішої точки (2.17):

$$\Delta U_{\text{НБ}} = \frac{\sum P_{i\text{Л}} R_{i\text{Л}} + \sum Q_{i\text{Л}} X_{i\text{Л}}}{U_{\text{Н}}} \quad (2.17)$$

Якщо виконується умова,  $\Delta U_{\text{НБ}} \leq \Delta U_{\text{доп}}$ , то знайдені перерізи підходять. В іншому разі необхідна зміна вибраних перерізів.

Переріз проводів у повітряних лініях напругою 110 кВ і вище повинен бути не менший за мінімально допустиме значення за умовою виключення корони.

Для ліній також встановлені мінімальні перерізи, що можна застосовувати за умовою механічної міцності. Для ліній напругою до 1 кВ такими є алюмінієві дроти перерізом 16 мм<sup>2</sup> і сталєалюмінієві 10 мм<sup>2</sup>, а для ліній напругою вище 1 кВ відповідно 35 і 25 мм<sup>2</sup> [12].

### 2.3 Розрахунок перерізу фазних жил проводів СІП

В зв'язку з перевиданням ПУЕ[12] змінились обов'язкові умови улаштування електричних мереж напругою 0,38 кВ: необхідність заміни оголених проводів на ізольовані. На сьогоднішній день самоутримні ізольовані проводи витісняють з ужитку своїх попередників - оголені проводи. Це обумовлено безпекою їх застосування і простотою установки. Переваги проводів СІП перед неізольованими проводами:

1. На порядок більша стійкість перед можливістю к. з. і обмерзання;

					БР 5.8.14.1.476 ПЗ	Арк.
						39
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



2. Можливість прокладки серед зелених насаджень;
3. Більша безпека при обриві проводу;
4. Можливість підключення абонента під напругою;
5. Відсутній характерний для неізолюваних проводів ризик перехрещення проводів;
6. Зменшення падіння напруги, зниження втрат електроенергії (низький індуктивний опір в порівнянні з традиційними ПЛ);
7. Зменшується ширина просіки в лісі та смуги відчуження землі в місті;
8. Застосування СПП знижує експлуатаційні витрати до 80 %;
9. Наявність великого вибору фурнітури в зіставленні «ціна-якість»;
10. Ускладнюється можливість незаконних підключень для крадіжок електроенергії;
11. Спрощений та прискорений монтаж СПП.

Більшою мірою СПП використовується з метою створення ЛЕП магістралей, необхідні вони і в домашньому використанні.

СПП – це самоутримний ізолюваний провід. Самоутримний провід СПП не допускає можливість утворення зледеніння, має підвищену стійкість до шквалів і поривів вітру і виключає можливість короткого замикання при зхльостуванні проводів. Провода СПП використовуються в освітлювальних лініях електропередач на номінальну напругу від 0,38 кВ до 1 кВ, допускають менші струмові навантаження, ніж неізолювані дроти. Вони охолоджуються повітрям менш ефективно, оскільки мають ізоляцію і скручені в джгут. Провід з ізоляцією із зшитого поліетилену в 1,15 – 1,2 рази дорожче проводів з ізоляцією з термопластичного поліетилену [15].

Однак, СПП з ізоляцією із зшитого поліетилену мають в 1,3 – 1,4 рази більшу пропускну здатність, ніж провoda такого ж перерізу з ізоляцією з термопластичного поліетилену. Очевидно, що вибір перерізу СПП слід проводити на основі техніко-економічного порівняння варіантів з різною ізоляцією.

					БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

## Вибір перерізів ізольованих проводів СІП

Визначення перерізів проводів ліній напругою 0,38 – 10 кВ виконується на підставі розрахунку економічних показників із подальшою перевіркою за допустимим струмом, механічною міцністю та відхиленню напруги у споживачів. Економічно доцільний переріз проводів вибирається за допомогою методу економічної щільності струму і методу економічних інтервалів. Перевагою методу економічної щільності струму є його простота. Переріз проводів в цьому методі визначається за формулою (2.18) [17]:

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{діл}}}{j_{\text{ек}}}, \quad (2.18)$$

де  $I_{\text{діл}}$  – розрахунковий максимальний струм, А;

$j_{\text{ек}}$  – нормоване значення економічної щільності струму навантаження, А/мм<sup>2</sup>.

Економічна щільність струму залежно від матеріалу провідника і кількості годин максимуму навантаження протягом року визначається обирається з документу ПУЕ [12]. Отриманий унаслідок розрахунку переріз, округляється до найближчого більшого стандартного.

В основу методу покладено допущення, що витрати на будівництво лінії прямо пропорційні перерізу використовуваних провідників. Однак на сучасному етапі у процесі будівництва ЛЕП використовуються уніфіковані елементи, що дає змогу використовувати їх для різних перерізів проводів. Крім того, істотно змінилися ціни на головні елементи повітряних ліній. У зв'язку з цим використання даних за документом ПУЕ [12] призводить у низці випадків до великої похибки.

Метод економічних інтервалів дає змогу врахувати багато економічних і технічних факторів. Застосовується цей метод для визначення перерізу проводів ліній напругою до 750 кВ. Переваги цього методу виявляються в тому

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

разі, якщо номограми економічних інтервалів побудовані виходячи з конкретних умов будівництва ЛЕП. Для стандартних перерізів проводів, які застосовуються на певну номінальну напругу, визначаються приведені витрати залежно від величини максимального струму лінії, розрахованого відповідно до зміни навантаження по роках експлуатації лінії.

Переріз проводів розподільчих мереж напругою 0,38 – 10 кВ доцільно визначати використовуючи метод економічних інтервалів або метод економічної щільності струму. У розподільних мережах 35 кВ переріз визначають використовуючи метод економічної щільності струму [17].

Переріз ізолюваних проводів СІП до 1 кВ рекомендується вибирати в залежності від числа годин використання максимуму навантаження за економічною щільністю струму і за допустимим нагрівом. Якщо число годин використання максимуму навантаження досягає 4000 – 5000 год, то переріз вибирають з міркувань економічної щільності струму і нагрівання. При меншій тривалості максимуму навантаження – за нагріванням. Однак, у тому разі, коли переріз вибраний за цими умовами виявиться меншим, ніж переріз необхідний за іншими технічними умовами, наприклад, механічною міцністю або втратами напруги, величина перерізу вибирається більшою для забезпечення цих умов.

Ізоляція проводів СІП виготовляється з термопластичного або із зшитого поліетилену. Допустима температура жил проводів із зазначеними ізоляціями істотно відрізняється. Це потрібно враховувати при визначенні перерізів СІП за нагріванням. Допустимі температури жил проводів з різною ізоляцією приведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Допустимі температури жил проводів СІП

Режим експлуатації	Допустимі температури, °С, для проводів
--------------------	---

	СП-1, СП-1А, СП-4 (термопластичний поліетилен)	СП-2, СП-2А, СП-3 (зшитий поліетилен)
Нормальний режим	70	90
Режим перевантаження	80	130
Режим короткого замикання тривалістю до 5 с	135	250

Ізоляція з термопластичного поліетилену має нижчі параметри, ніж ізоляція із зшитого поліетилену. У нормальному режимі допустима температура струмопровідної жили з ізоляцією з термопластичного поліетилену обмежена 70 °С, тоді як температура жили з ізоляцією із зшитого поліетилену становить 90 °С. Тривало допустимі струми, при яких температура не перевищує допустиму для різних конструкцій СП на напругу до 1 кВ, наведено в додатку В та Г. Режим перевантаження СП допускається до 8 годин на добу, не більше 100 годин на рік і не більше 1000 годин за весь термін служби проводу (2.19):

$$k = 1/\sqrt{t}, \quad (2.19)$$

де  $t$  – тривалість КЗ, с.

Перевірка перерізів СП на допустимі втрати напруги проводиться на підставі даних про погонні параметри дроту. Омічні опори проводів СП наведено в таблиці додатка А та Б.

Вибір перерізів СП, які застосовуються в мережах з напругою вище 1 кВ проводиться за економічною щільністю струму з подальшою перевіркою на відповідність вимогам допустимого нагріву, термічної стійкості до струмів КЗ, допустимої втрати напруги та механічної міцності.

					БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

## 2.4 Дослідження розрахункових випадків ураження електричної лінії з тросами блискавкою

Прорив блискавки через тросовий захист. Імовірність прориву блискавки через тросовий захист ( $P_\alpha$ ) знаходять по емпіричній формулі (2.20) [18]:

$$\lg P_\alpha = \frac{\alpha \sqrt{h_{\text{оп}}}}{90} - 4 \quad (2.20)$$

де  $h_{\text{оп}}$  – висота опори, м;

$\alpha$  – захисний кут троса, тобто кут між вертикаллю, що проходить через трос, і прямий, що з'єднує трос із проводом, град (рис. 2.3).

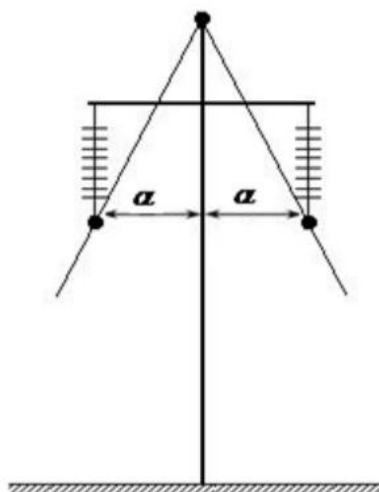


Рисунок 2.3 – Визначення захисного кута троса

Тоді число відключень лінії за рахунок ударів блискавки в проводі ЛЕП визначатиметься як (2.21):

$$n_{\text{пр}} = n_{\text{уда}} P_{\text{пр}} \eta_1, \quad (2.21)$$

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

де  $P_{\text{пр}}$  – імовірність перекриття ізоляції на опорі при ударі блискавки в провід;

$\eta_1$  – імовірність установаження силової дуги при перекритті ізоляції опори.  $P_{\text{пр}}$  визначається по критичному струмі блискавки, що приводить до перекриття гірлянди ізоляторів (2.22):

$$P_{\text{пр}} = P(I_{\text{кр}}) \quad (2.22)$$

Удар блискавки в опору. Число ударів блискавки в опору визначається по формулі (2.23):

$$n_{\text{оп}} = n_{\text{уд}} \frac{4h_{\text{оп}}}{l_{\text{пр}}} \quad (2.23)$$

де  $n_{\text{уд}}$  – число ударів блискавки в лінію;

$l_{\text{пр}}$  – довжина прольоту.

Зворотне перекриття лінійної ізоляції з опори на провід фази може відбутися, якщо напруга на ізоляції досягне її імпульсної розрядної напруги або перевищить його.

Напруга на ізоляції лінії дорівнює різниці потенціалів на опорі і проводі:  $U_{\text{із}} = U_{\text{оп}} - U_{\text{пр}}$ . При розрахунку потенціалу опори в схемі заміщення (рис 2.4) представляють зосередженою індуктивністю  $L_{\text{оп}} = L_0 h_{\text{оп}}$  й імпульсним опором заземлення  $R_i$ . Питома індуктивність опори  $L_0$  становить 0,5 мкГн/м для двостоячих, 0,6 мкГн/м для одностоячих металевих і залізобетонних опор й 0,7 мкГн/м для дерев'яних опор із двома заземлюючими спусками [18].

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

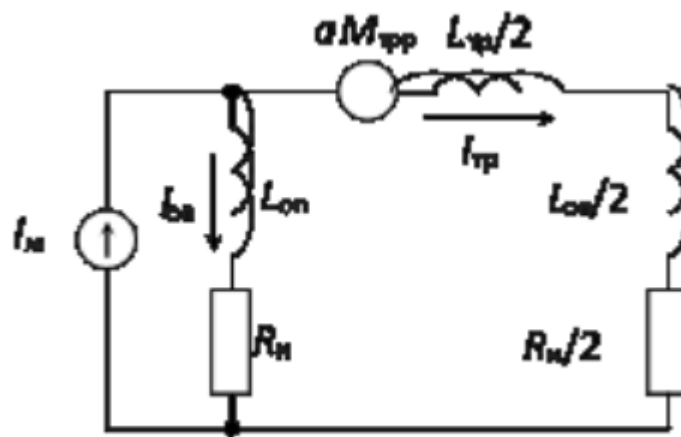


Рисунок 2.4 – Схема заміщення для розрахунку напруги на вершині опори лінії з тросами при ударів в неї блискавки

Потенціал ураженої опори, крім спадань напруги на опорі заземлення й індуктивності опори, визначається також складовим, обумовленим індуктивним зв'язком між каналом блискавки зі струмом  $i_M(t)$  і тілом опори. Коефіцієнт взаємної індукції приблизно дорівнює (2.24):

$$M_{оп} = M_0 h_{оп}, \quad (2.24)$$

де  $M_0 \approx 0,2$  мкГн/м. Таким чином, потенціал вершини опор (2.25):

$$U_{оп} = i_{оп}(t)R_i + L_{оп} \frac{di_{оп}}{dt} + M_{оп} \frac{di_M}{dt} \quad (2.25)$$

Струм в опорі в межах фронту визначається як (2.26):

$$i_{оп} = at \left[ \frac{0,5L_{тр} - M_{тр}}{0,5L_{тр} - L_{оп}} \right] \frac{1 - e^{-at}}{at}, \quad (2.26)$$

де

$$a = \frac{R_i}{0,5L_{тр} + L_{оп}};$$

$$\frac{l_{\text{тр}}}{v} = \left( 0,18 \ln \frac{2h_{\text{тр}}}{r_{\text{тр}}} \right)$$

$$L_{\text{тр}} = Z_{\text{тр}}$$

У цих формулах  $Z_{\text{тр}}$  – хвильовий опір троса,  $L_{\text{тр}}$  – індуктивність троса,  $h_{\text{тр}}$  – середня висота підвісу троса,  $r_{\text{тр}}$  – радіус троса,  $v$  – швидкість руху хвилі напруги уздовж троса.

Похідна струму в опорі за часом становить (2.27):

$$\frac{di_{\text{оп}}}{dt} = a \left( \frac{0,5L_{\text{тр}} - M_{\text{тр}}}{0,5L_{\text{тр}} + L_{\text{оп}}} \right) e^{-at} \quad (2.27)$$

Потенціал проводу має три складові: робоча напруга; напруга, індуктивна на проводі зарядом лідера блискавки (електростатична складова індуктованих перенапруг); напруга, індуктивна на проводі в результаті поширення по тросі імпульсів напруги.

Розрахункове значення робочої напруги приймається рівним середньому значенню за напівперіод (2.28):

$$U_{\text{роб}} = \frac{2}{\pi} \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}} \sqrt{2} \approx 0,5 U_{\text{ном}} \quad (2.28)$$

Електрична складова індукованої перенапруги при ударі в опорі може бути приблизно розрахована по формулі (2.29):

$$U_{\text{інд}} \approx E_{\text{ср}} h_{\text{ср}} (1 - k) \quad (2.29)$$

де  $E_{\text{ср}} \approx 10$  кВ/см – середня напруженість електричного поля в проміжку між каналом лідера блискавки й опорною перед головним розрядом;  
 $k$  – коефіцієнт електромагнітного зв'язку між проводом і тросом, що враховує

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
						47
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



екрануючу дію троса.

Напруга  $U_{\text{інд}}$  має полярність, зворотну полярності потенціалу вершини опори. Проходження струму по тросі викликає поява на проводі напруги  $kU_{\text{оп}}$  того ж знака, що й потенціал опори. Ця складова зменшує напругу на ізоляції лінії. Таким чином, напруга на лінійній ізоляції, рівна різниці потенціалів вершини опори і проводу, у момент максимуму струму блискавки визначається як [18]

$$U_{\text{інд}} = U_{\text{оп}} - U_{\text{пр}} = U_{\text{оп}} - (-U_{\text{раб}} - U_{\text{інд}} - kU_{\text{оп}}) = U_{\text{оп}}(1 - k) + U_{\text{роб}} + U_{\text{інд}}$$

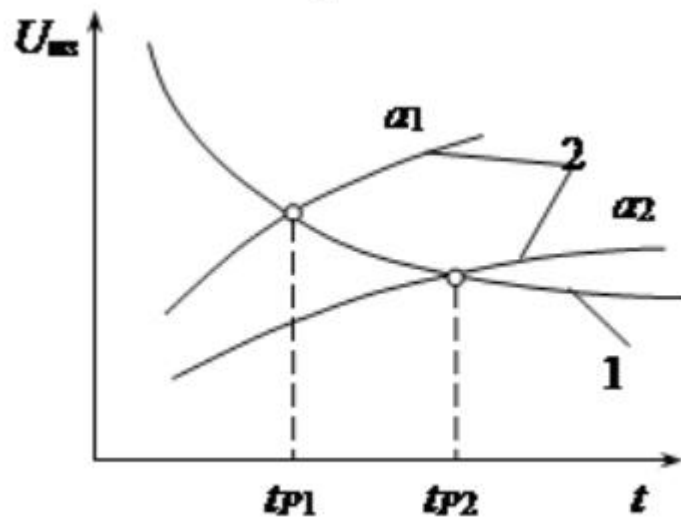


Рисунок 2.5 – Визначення часу пробією лінійної ізоляції при різних крутизнах лінійної ізоляції при різних крутизнах фронту струму ( $\alpha_1 > \alpha_2$ ) 1 – вольт-секундна характеристика ізоляції; 2 – напруги на ізоляції

Цю напругу необхідно зрівняти з напругою перекриття гірлянди при передрозрядному часі, рівному тривалості фронту імпульсу струму блискавки  $\tau_{\text{ф}}$ . Значення  $U_{\text{із}}$  залежить від крутості фронту струму блискавки, що при заданому часі  $\tau_{\text{ф}}$  визначає максимальне значення струму блискавки  $I_{\text{м}} = a\tau_{\text{ф}}$ .

Якщо побудувати залежності напруги на ізоляції від часу  $U_{\text{із}}(t)$  при різних крутизнах фронту а (рис. 2.4), то точка перетину цих кривих з вольт-секу-

одною характеристикою ізоляції визначає тривалість фронту струму блискавки  $\tau_\phi = t_p$  і мінімальне значення амплітуди струму  $I_M = a\tau_\phi$ , при якому відбудеться перекриття ізоляції.

За цими значеннями можна побудувати криву небезпечних параметрів (рис. 2.5), що ділить координатну площину  $(a, I_M)$  на область безпечних параметрів струму блискавки (1) і область небезпечних параметрів (2). Ця крива обмежує область сполучень крутості і струму блискавки, при яких відбувається перекриття ізоляції лінії. Наприклад, при крутості  $a_1$  перекриття ізоляції відбувається при струмах, більших  $I_{M1}$ , при крутості  $a_2$  – при струмах, більших  $I_{M2}$ , і т.д. По кривій небезпечних параметрів можна побудувати криву ймовірності небезпечних параметрів (рис. 2.6). По цьому рисунку ймовірність перекриття ізоляції визначається як [18] (2.30):

$$P_{\text{оп}} = \iint_D f(I_M, a) dI_M da \quad (2.30)$$

де  $f(I_M, a)$  – двовимірна функція щільності ймовірності максимального значення і крутості струму блискавки, а інтегрування здійснюється по всій області  $D$ .

Область  $D$  – це заштрихована область на рис. 2.6. При практичних розрахунках максимальні значення струму  $I_M$  і крутості фронту струму блискавки  $a$  приймають незалежними випадковими величинами, ймовірності яких визначаються по відповідних формулах. У цьому випадку попередня формула приймає вид (2.31):

$$P_{\text{оп}} = \int_0^1 P(I_M) dP(a) = \int_0^1 P(a) dP(I_M) \quad (2.31)$$

тобто ймовірність перекриття визначається заштрихованою площею на рис. 2.7, що обмежена кривою ймовірності небезпечних параметрів.

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
						49
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

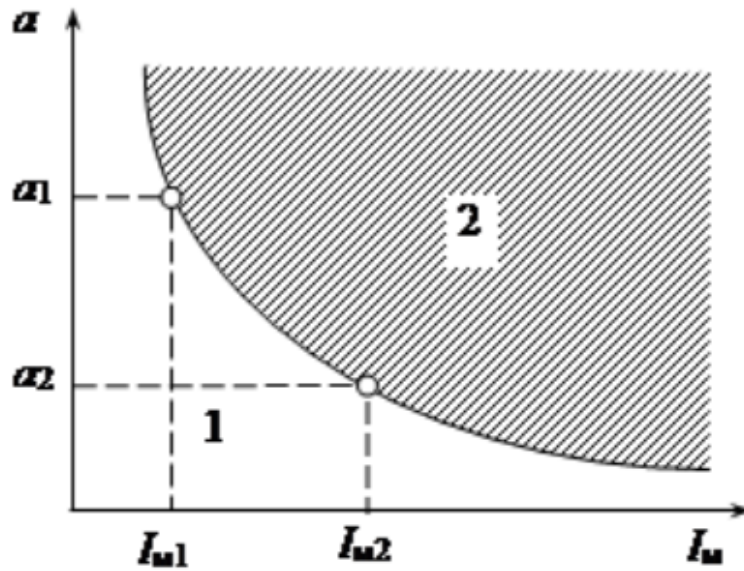


Рисунок 2.6 – Крива небезпечних параметрів

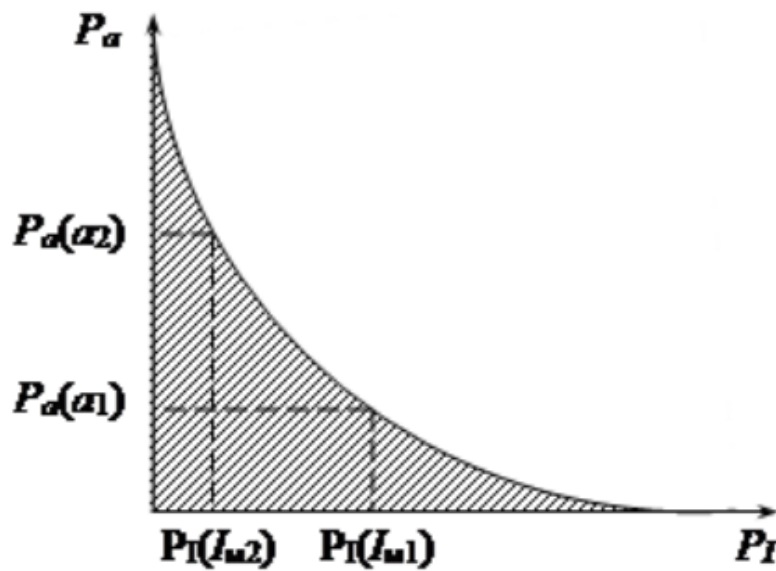


Рисунок 2.7 – Крива небезпечних параметрів

Спрощено ймовірність перекриття ізоляції при ударі блискавки в опору можна визначити за значенням критичного струму (2.32):

$$I_{кр} = \frac{U_{50\%}}{R_i + \delta h_{оп}} \quad (2.32)$$

де  $\delta=0,15$  для ліній із двома тросами і  $\delta=0,3$  для ліній з одним тросом.

Тоді

$$P_{оп} = P(I_{кр})$$

Очевидно, що при двох тросах частка струму в опорі менша, ніж при одному тросі, і критичне значення струму блискавки вище. Збільшення висоти опори, а виходить, і її індуктивності приводить до росту напруги на гірлянді ізоляторів і внаслідок цього до зменшення критичного струму, що також показує вищенаведена формула [18].

Спрощена методика може бути використана для оцінки числа відключень ліній напругою до 500 кВ при опорах заземлень опор до 30 Ом.

Удар блискавки в трос у середині прольоту. Прийmemo для розрахунку косокутну форму струму блискавки й побудуємо імпульс напруги в точці удару блискавки в трос. Вважаємо також, що імпульсний опір заземлення опор значно менше хвильового опору троса, тобто від опор хвилі будуть відбиватися зі зворотним знаком. До приходу імпульсів, відбитих від опорів заземлення сусідніх опор, напруга на тросі визначатиметься по формулі (2.33):

$$U_{тр}(t) = I_M(t) \frac{Z_{тр}}{2} = at \frac{Z_{тр}}{2} \quad (2.33)$$

Через інтервал часу  $\tau = l_{пр}/v$ , де  $l_{пр}$  – довжина прольоту, до місця удару одночасно підійдуть імпульсні хвилі, відбиті зі зміною знака від опорів заземлення двох найближчих опор, і ріст напруги припиниться. Підставивши у формулу час  $e = \tau$ , знайдемо максимальну напругу на тросі (2.34):

$$U_{тр.max} = aZ_{тр}l_{тр}/(2v) \quad (2.34)$$

Напруга між тросом і проводом з обліком індуктивної на проводі напруги дорівнює (2.35):

					БР 5.8.14.1.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$U_{\text{тр.-пр}} = (1 - k)aZ_{\text{тр}}l_{\text{тр}}/(2v) \quad (2.35)$$

Удар блискавки в трос у середині прольоту є розрахунковим випадком для вибору відстані між тросом і проводом. Пробій проміжку трос-провід можливе, якщо середня напруженість досягне значення 500 кВ/м. Знаючи відстань між тросом і проводом, можна знайти пробивну напругу, а потім критичну крутість струму блискавки ( $a_{\text{кр}}$ ), при якій відбудеться пробій проміжку трос-провід. Імовірність пробою цього проміжку  $P_{\text{тр}}$  визначається по ймовірності виникнення струму блискавки із крутістю рівної або більшої  $a_{\text{кр}}$  (2.36):

$$P_{\text{тр}} = P(a \geq a_{\text{кр}}) = e^{(-0,08a_{\text{кр}})} \quad (2.36)$$

Досвід експлуатації показує, що ймовірність пробою мала, якщо відстань трос-провід по вертикалі становить не менш 2 % довжини прольоту, наприклад 8 м при довжині прольоту 400 м.

Питоме число відключень ліній із тросами обчислюється в загальному випадку по формулі [18] (2.37):

$$n_{\text{откл}} = 4h_{\text{тр}} \left\{ P_{\alpha} P_{\text{пр}} \eta_1 + (1 - P_{\alpha}) \cdot \left[ \frac{4h_{\text{оп}}}{l} P_{\text{оп}} h_1 + \left( 1 - \frac{4h_{\text{оп}}}{l} \right) P_{\text{тр}} h_2 \right] \right\} \quad (2.37)$$

## 2.5 Дослідження та розрахунок захисту порталної опори при допомозі застосуванні одиночного стрижньового блискавковідводу

Ефективність блискавкозахисту визначають окремо для таких розрахункових випадків ураження лінії (рис. 2.8):

- 1) удар блискавки в провід з подальшим перекриттям з проводу на опору або між проводами;
- 2) удар блискавки у вершину опори з подальшим перекриттям з

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

опори на провід;

3) удар блискавки в трос з подальшим перекриттям з троса на провід або на землю;

4) удар блискавки поблизу лінії електропередачі, що супроводжується появою перекриття внаслідок індукованих перенапруг.

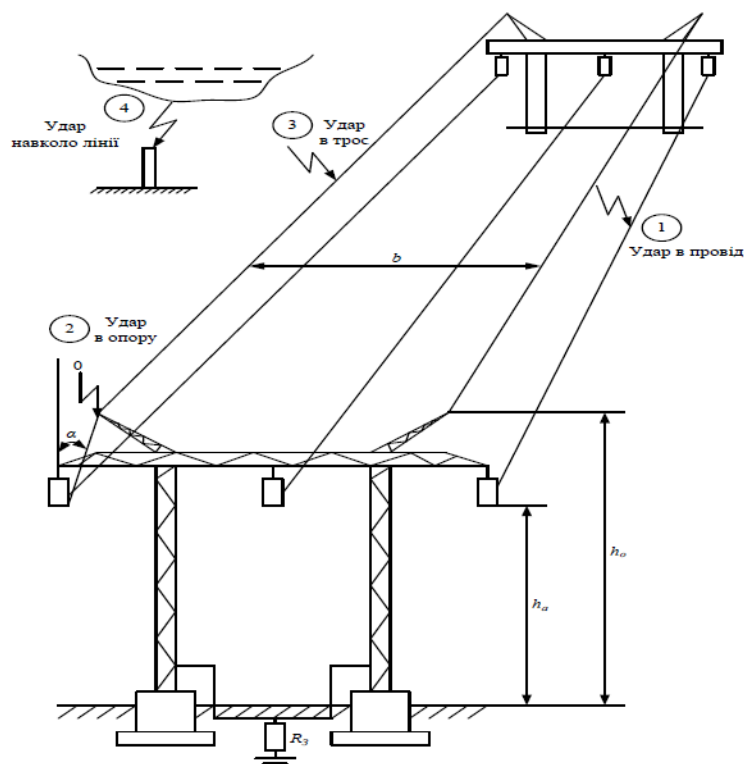


Рисунок 2.8 – Випадки ураження лінії з тросами блискавкою

На порталних опорах, що мають велику відстань між крайніми фазами, достатньо малий кут захисту забезпечується шляхом підвішування двох тросів, розташованих на однаковій висоті.

Якщо троси заземлені на кожній опорі, то виникають замкнені контури, в яких під впливом магнітного поля робочого струму наводяться е.р.с. і починають протікати вихрові струми. Для зменшення пов'язаних із цим втрат електричної енергії троси безпосередньо приєднують до заземленої опори лише на кінці анкерної ділянки, а на проміжних опорах підвішують на одному – двох ізоляторах, зашунтованих іскровим проміжком. Під час грозових перенапруг

									Арк.
									53
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

ці іскрові проміжки пробиваються, і трос виявляється практично заземленим на кожній опорі.

Для ефективного відведення струму блискавки в землю і запобігання зворотним перекиданням ізоляції опори лінії забезпечуються відповідними заземлювачами, що знижують імпульсний опір заземлення кожної опори до значення  $R_{із} < 10 \dots 20 \text{ Ом}$ . Вищі значення опору заземлення опор допускаються лише для ліній, розташованих в районах з високим питомим опором ґрунту ( $\rho > 1000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ). У ґрунтах з  $\rho > 1000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  бажано застосовувати ефективні глибинні заземлювачі або, в крайньому випадку, багатопроменеві заземлювачі довжиною 20 – 30 м [19].

При застосуванні одиночного стрижньового струмоприймача можна використовувати сталевий дріт діаметром 6 мм [20].

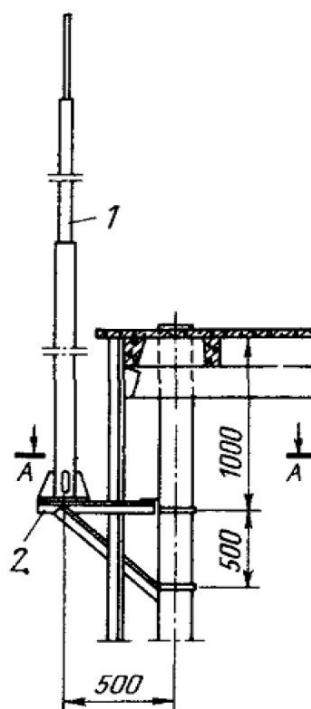


Рисунок 2.9 – Конструкції кріплення блискавкоприймачів типу СМ на стійці опори: 1 – стрижньовий блискавкоприймач типу СМ; 2 – конструкція для кріплення блискавко приймача

Радіус захисту визначають за такими співвідношеннями (2.38):

									Арк.
									54
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$r_x = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2 + 1} \quad (2.38)$$

Висота одиночного стрижньового блискавковідводу для порталльної опори вводу повітряної лінії (2.39):

$$h = \frac{r_x + 1,25 \cdot h_x}{1,5} \quad (2.39)$$

## 2.6 Висновки до другого розділу

Вибір опори повітряної лінії (ПЛ) виконується за методом граничних станів, при досягненні яких конструкція опори перестає задовольняти умовам, що висуваються до неї. Розрахунок відбувається при нормальному, аварійному та монтажному режимах.

Вибір перерізів проводів у повітряних лініях 35 кВ і вище проводиться не за економічною густиною струму, а згідно економічних інтервалів струму (потужності). Його проводять за розрахунковим навантаженням струму, яке визначають для нормального робочого режиму максимальних навантажень і враховують зміни навантаження за роками експлуатації лінії і кількості годин використання найбільшого навантаження

Визначення перерізів СП виконується на підставі розрахунку економічних показників із подальшою перевіркою. Економічно доцільний переріз проводів вибирається за допомогою методу економічної щільності струму і методу економічних інтервалів.

При прямому ударі блискавки у ВЛ із тросом її відключення може відбутися по наступних причинах: 1) прорив блискавки через тросовий захист; 2) удар блискавки в опору і зворотне перекриття ізоляції з опори на провід; 3) удар блискавки в трос у середину прольоту і пробій повітряного проміжку трос-провід.

					БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55



### 3 РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ МОНТАЖУ ПЛ (СП)

#### 3.1 Улаштування повітряних ліній СП

Повітряною ізолюваною лінією електропередачі (ПЛ) є споруда для передавання електричної енергії самоутримними ізолюваними проводами, розташованими просто неба і закріпленими за допомогою спеціальної арматури на опорах або кронштейнах, на стінах будівель і інженерних спорудах.

Основу ПЛ становить магістраль – ділянка від живильної трансформаторної підстанції до найбільш віддаленої кінцевої опори. До магістралі приєднуються лінійні відгалуження і відгалуження до введів в будівлі (споруди).

Лінійне відгалуження – це частина лінії, яка має один і більше прогонів та приєднана одним кінцем до магістралі [21].

Відгалуження до введів в будівлю (споруду) - провід від опори, на якій виконано відгалуження, до конструкції вводу на будівлі (споруді).

Повітряна ізолювана лінія електропередачі включає в себе наступні основні елементи (рис.3.1):

- опори – 1;
- самоутримний ізолюваний провід – 2;
- елементи оснащення опор (гаки, траверси, кронштейни) – 3;
- арматура для кріплення проводів СП на опорах:
- натяжні затискачі – 4; - підтримуючі затискачі – 5;
- арматура для електричних з'єднань (комутації) проводів СП:
- відгалуджувальні проколюючі затискачі – 6;
- з'єднувальні затискачі, що пресуються – 7;
- елементи для тимчасових підключень і заземлень – 8;
- пристрої захисту лінії від грозової і комутаційної перенапруги, струмів короткого замикання – 9.

					<i>БР 5.6.14.1.476 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Тютюнник</i>			<i>Аналіз методів розрахунків конструкції повітряних ліній електропередач</i>	<i>Лит.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Лебединський</i>					56	99
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ ЕТз-91с</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Никифоров</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Лебединський</i>						

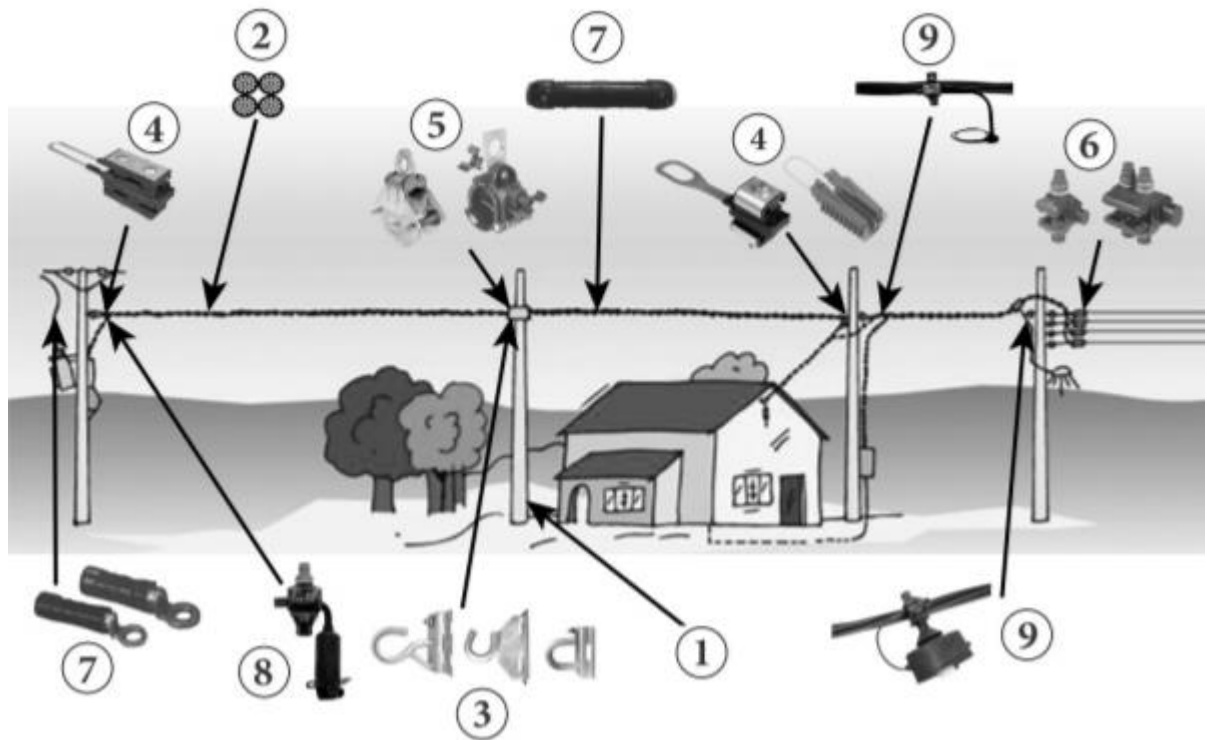


Рисунок 3.1 – Основні елементи ПЛЛ

Самоутримний ізолюваний провід (СІП) без несучого троса являє собою скручені в джгут чотири або дві ізолювані жили, які не вимагають застосування спеціального утримуючого троса. Механічне навантаження натягу лінії в такому проводі сприймається всіма провідниками джгута рівномірно.

Всі струмопровідні жили СІП (фазні і нейтральна) мають один поперечний переріз і однакову конструкцію, виготовляються з алюмінію, багатодротові, кручені, ущільнені, з маркуванням фаз.

Основною особливістю такого проводу є ізоляція жил, яка згідно з вимогами ПУЕ-2017 [12] (п. 2.4.2) і ДСТУ 4743: 2007 (п. 5.1.1.9) повинна бути виконана із зшитого світлостабілізованого поліетилену. Цей матеріал володіє наступними відмітними властивостями:

- стійкістю до ультрафіолетового опромінення і кліматичних впливів (перепадів температур, атмосферних опадів, агресивних середовищ);
- високою механічною міцністю;
- підвищеною допустимою температурою нагріву при експлуатації.

									Арк.
									57
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 5.8.141.476 ПЗ				

На території України виробництво СІП має бути організовано на підставі норм ДСТУ 4743:2007. Цей стандарт встановлює основні вимоги до конструкції і технічних характеристик проводів СІП, їх експлуатаційним властивостям і методам випробувань. Позначення, встановлене стандартом для самоутримного ізолюваного проводу ПЛІ 0,38 кВ без несучого троса – СІП-4 (СІПн-4, СІПг-4) (літерами «н» та «г» маркується провід стійкий до поширення полум'я і з поздовжньою герметизацією, відповідно). Проте багато виробників кабельно-провідникової продукції використовують власне маркування такого проводу. Це пов'язано з тим, що технічні умови на випуск їх продукції були затверджені ще до прийняття стандарту. Наприклад ТУ заводу ПАТ «ОДЕСКАБЕЛЬ» визначають маркування цього типу проводу як СІП-5 і СІП-5нг (для версії з ізоляцією стійкою до поширення полум'я), а маркою СІП-4 позначають провід в ізоляції з термопластичного поліетилену. Поширено так само маркування AsXS(n), яке «прийшло» в Україну з польського національного стандарту і використовується заводами ТОВ "ТФ КАБЕЛЬ УКРАЇНА" та ПАТ «ОДЕСКАБЕЛЬ».

Номинальні струми і струми КЗ проводів з ізоляцією з «зшитого» поліетилену істотно вище, ніж у проводів з термопластичної ізоляцією. Індикативним показником може служити максимально допустима робоча температура проводу і допустима температура проводу при КЗ до 2500С (для термопластичної ізоляції цей показник не перевищує 1250С).

Як приклад розглянемо характеристики проводу марки AsXS(n) виробництва ПАТ «ОДЕСКАБЕЛЬ» (табл.3.1):

- номінальна робоча напруга змінного струму – 0,6/1 кВ;
- допустима температура нагріву струмопровідних жил: при нормальному режимі експлуатації – до +900С; в режимі короткого замикання – до +2500С.
- допустимий радіус вигину – не більш 18х діам. жили.

Таблиця 3.1 – Характеристики СІП

					БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Кількість проводів і номінальний переріз, мм <sup>2</sup>	Зовнішній діаметр пучка проводу, мм	Розрахункова маса не менше, кг/км	Мінімальне руйнівне навантаження*, кН	Допустимий струм навантаження, А	Електричний опір жили, Ом/км
2x16	15	136	2,5	93	1,910
2x25	17,4	196	4,0	112	1,200
2x35	19	251	5,5	138	0,868
4x16	17,2	271	2,5	93	1,910
4x25	21	392	4,0	112	1,200
4x35	23	500	5,5	138	0,868
4x50	28	732	7,8	168	0,641
4x70	32,1	1050	10,7	213	0,443
4x95	36	1300	13,7	258	0,320
4x120	39,7	1676	19,1	296	0,254

\* Розривна міцність проводу СПІ без несучого троса визначається підсумовуванням мінімальної розривної міцності всіх жил з подальшим розподілом на понижуючий коефіцієнт  $K = 1,2$ .

Самонесучі ізолювані проводи закріплюються на опорах ПЛІ без застосування ізоляторів за допомогою спеціальної арматури. Арматура для ліній СПІ повинна бути розрахована з урахуванням максимально-допустимих механічних і електричних навантажень, кліматичних впливів для всіх призначених режимів і зон експлуатації ПЛІ [19].

Для будівництва ПЛІ напругою до 1 кВ застосовуються, як правило, залізобетонні або металеві опори. Для застосування на території України опори повинні бути розраховані на 1-5 райони з ожеледних навантажень і на 1-5 райони з навантажень від тиску вітру згідно з вимогами ПУЕ-2017 [12].

За своїм призначенням опори можуть бути наступних типів:

1) проміжні опори – встановлюються на прямих ділянках траси і в нормальному режимі роботи не сприймають зусиль, спрямованих вздовж лінії;

										Арк.
										59
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ					

2) анкерні опори – застосовуються для обмеження анкерного прогону, а також в місцях зміни кількості, марок і перерізу проводів. Ці опори в нормальному режимі роботи повинні сприймати зусилля від різниці натягу проводів, спрямованого вздовж лінії;

3) кутові опори – встановлюються в місцях зміни напрямку траси лінії і в нормальному режимі роботи повинні сприймати сумарне навантаження від натягу проводів суміжних прогонів. Кутові опори в свою чергу можуть бути проміжного та анкерного типів;

5) кінцеві опори – встановлюються на початку і в кінці лінії, а також в місцях кабельних вставок. Такі опори відносяться до опор анкерного типу і в нормальному режимі роботи повинні сприймати однобічний натяг усіх проводів;

б) відгалужувальні опори – застосовуються для виконання відгалуження від лінії;

7) перехресні опори – для здійснення перетину ліній двох і більше напрямків.

Відгалужувальні і перехресні опори в свою чергу за призначенням можуть бути всіх зазначених вище типів.

Незалежно від типу опори можуть бути вільностоячими, з підкосами або з відтяжками.

Умовне позначення опор має наступний літерно-цифровий шифр: П1(1хСВ95-2)-1, де:

– П – призначення опори (П – проміжна; КП – кутова проміжна; А – анкерна; ПА – перехідна анкерна; К – кінцева; ПК – перехідна кінцева; КА – кутова анкерна; ВП – відгалужувальна проміжна; ВА – відгалужувальна анкерна; ВКА – відгалужувальна кутова анкерна);

– 1 – кількість кіл (1, 2, 3 або 4);

– 1 – кількість стійок (1, 2 або 3);

– СВ95-2 – тип стійки (СВ95-2; СВ105-3.6; СВ105-5; СК105-8; СК105-10; СК105-12; СК105-14);

					БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ	Арк.
						60
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 1 – варіант виконання кріплення проводу (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 або ЛО – лінії освітлення).

### 3.2 Технологія монтажу ПЛІ

#### Влаштування опор

Влаштування опор повинно проводитися згідно з проектом. У якості опор можуть бути використані наступні стійки [19]:

- залізобетонні вібровані типу СВ 95-2 та СВ 105-...;
- залізобетонні центрифуговані типу СК 105-...;

Закріплення стійок опор в ґрунті виконується в свердлені котловани або в ґрунті порушеної структури глибиною 2,0 м, 2,5 м або 2,7 м. Засипка пазух котлованів виконується з ущільненням трамбуванням шарами не більше 200 мм. Застосовуються такі варіанти і способи закріплення опор в ґрунті:

- закріплення в свердленому котловані на 2,0 м або на 2,5 м з засипанням пазух (рис.3.2);

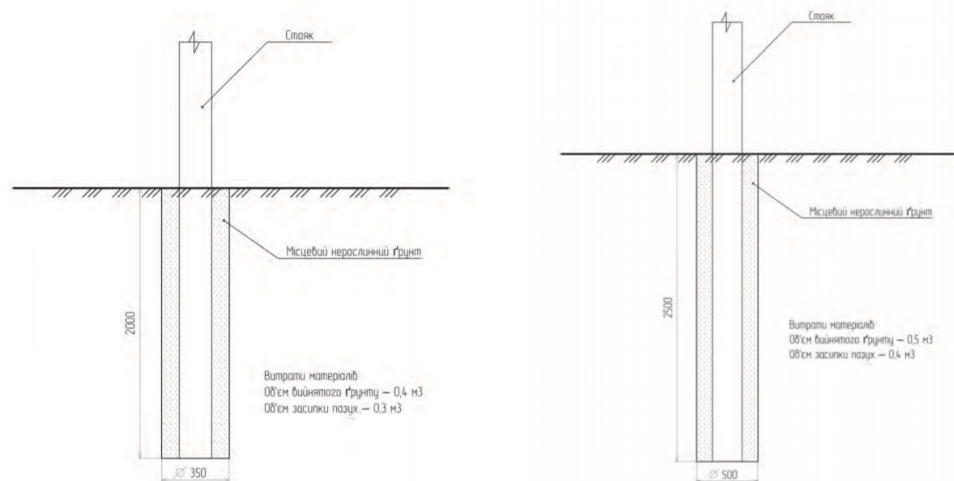


Рисунок 3.2 – Спосіб закріплення опор в свердленому котловані

- закріплення в ґрунті порушеної структури на 2,0 м або на 2,5 м з засипанням пазух (рис.3.3);

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61



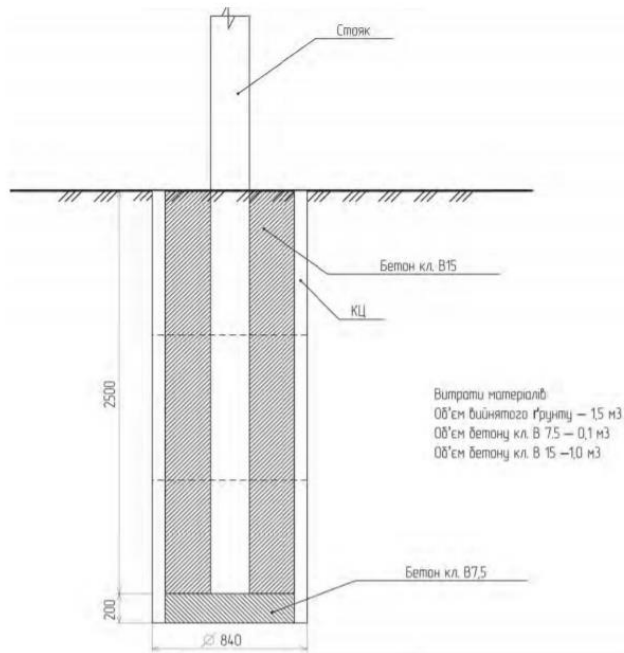


Рисунок 3.5 – Спосіб закріплення опор в свердленому котловані з бетонуванням

– закріплення в свердленому котловані на 2,5 м з ригелем АР7 з засипанням пазух (рис.3.6);

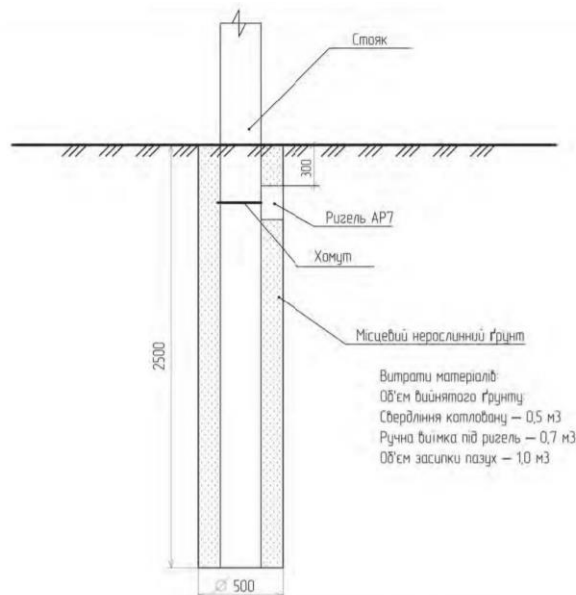


Рисунок 3.6 – Спосіб закріплення опор в свердленому котловані з ригелем АР7

					<i>БР 5.8.141.476 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63



– закріплення в свердленому котловані на 2,0 (2,5)\* м з підкосом з засипанням пазух (рис.3.7);

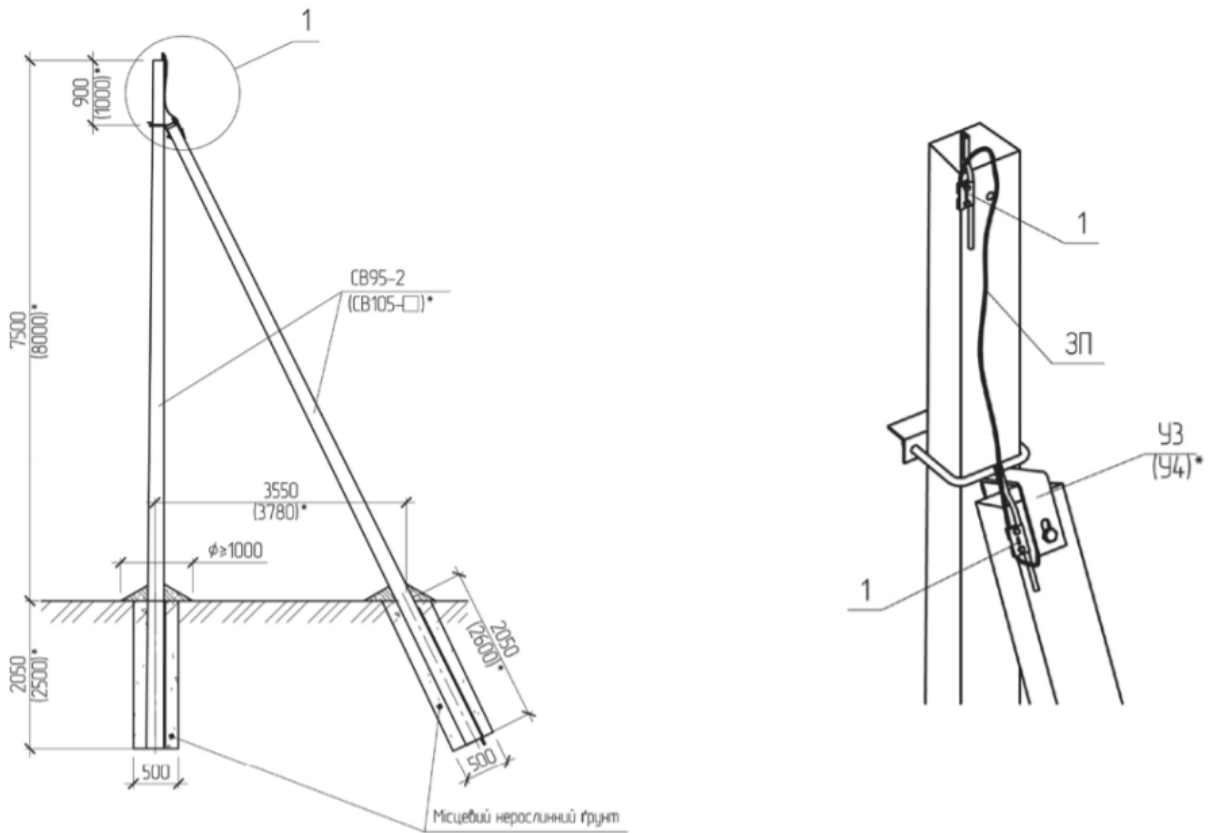


Рисунок 3.7 – Спосіб закріплення опор в свердленому котловані з підкосом з засипанням пазух

– закріплення в свердленому котловані на 2,0 (2,5)\* м з двома підкосами з засипанням пазух (рис.3.8);

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

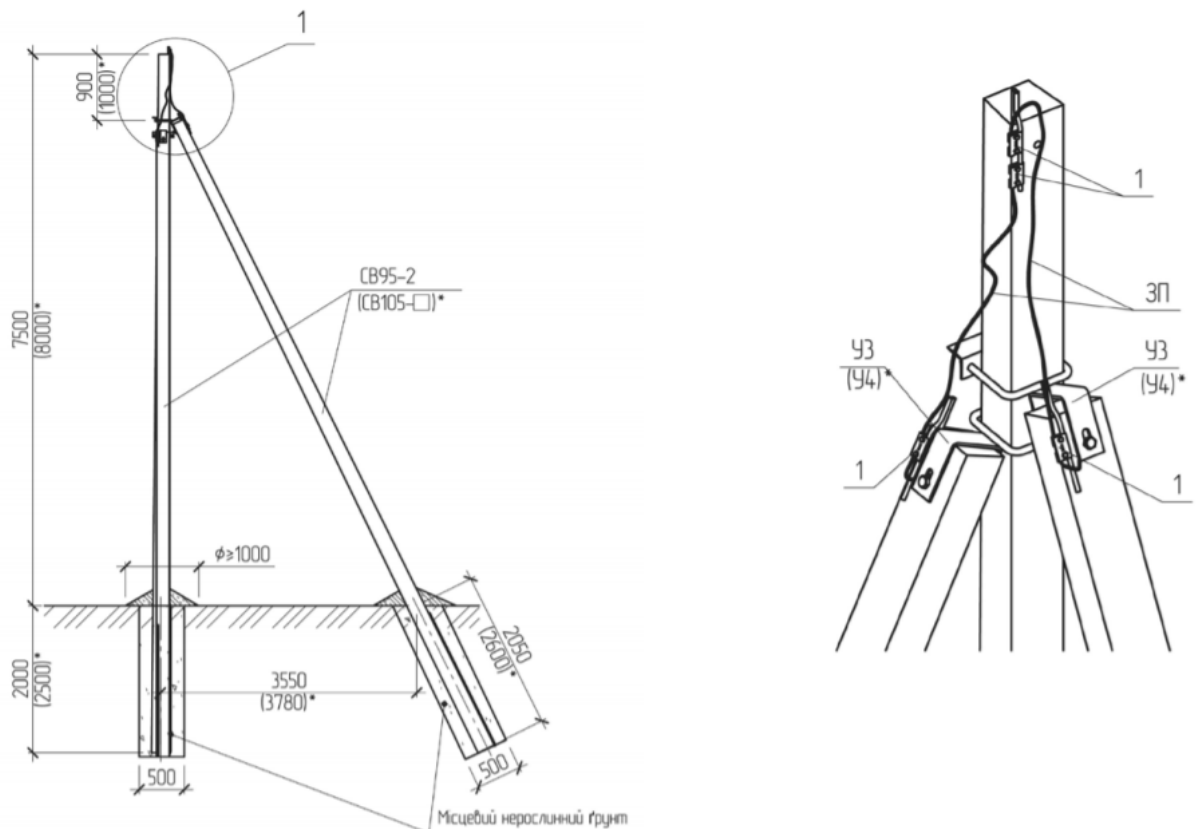


Рисунок 3.8 – Спосіб закріплення опор в свердленому котловані з двома підкосами з засипанням пазух

Умовне позначення способу закріплення опор у ґрунті має наступний літерноцифровий шифр: ЗГ1х2,5БТ, де:

- ЗГ- закріплення в ґрунті;
- 1 – кількість стійок;
- 2,5 – заглиблення;
- БТ – спосіб заповнення пазух котловану (НГ – ґрунт в свердленому котловані; БТ – бетонування; ЗК – бетонуванням в залізобетонних кільцях; РГ – ригель; ПГ – ґрунт в ґрунті порушеної структури).

Монтаж кріпильних елементів (гаків, траверс) Монтаж гаків на опорах потрібно виконувати так, щоб забезпечити максимально пряме проходження проводу і правильний розподіл навантажень від натягу проводу на металоконструкції. При влаштуванні на опорах гаки необхідно розташовувати таким чином [19]:

									Арк.
									65
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

1. На анкерних, кутових анкерних та кінцевих опорах - гаки розташовуються в напрямку натягу проводу (в напрямку на поруч розташовану опору) (рис.3.9).

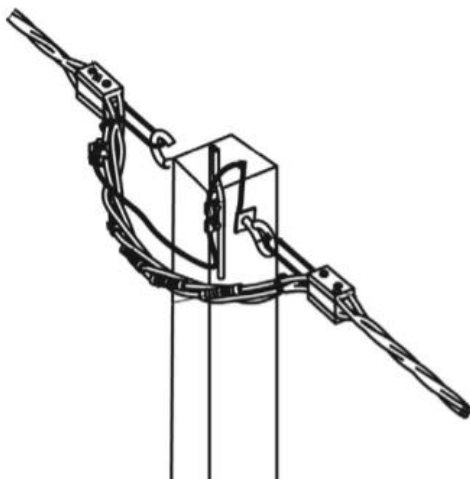


Рисунок 3.9 – Монтаж гаків на опорах на анкерних, кутових анкерних та кінцевих опорах

2. На проміжних опорах прямолінійних ділянках – гаки розташовуються збоку опори перпендикулярно напрямку проводів лінії (рис.3.10).

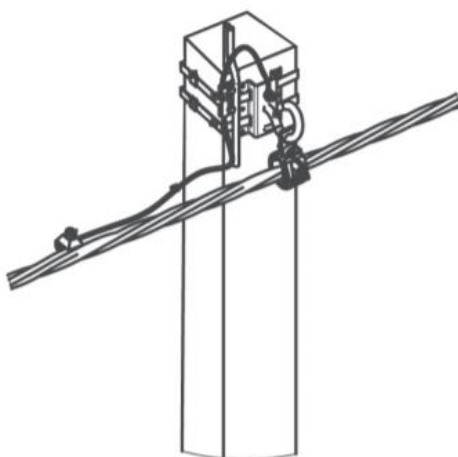


Рисунок 3.10 – Монтаж гаків на проміжних опорах прямолінійних ділянках

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

3. На кутових проміжних опорах:
- гак повинен бути розташований по бісектрисі кута  $\alpha$ , утвореного напрямками проводу на дві поруч влаштовані опори (рис.3.11, А);
  - гак повинен розташовуватися з внутрішньої сторони опори (рис.3.11, Б).

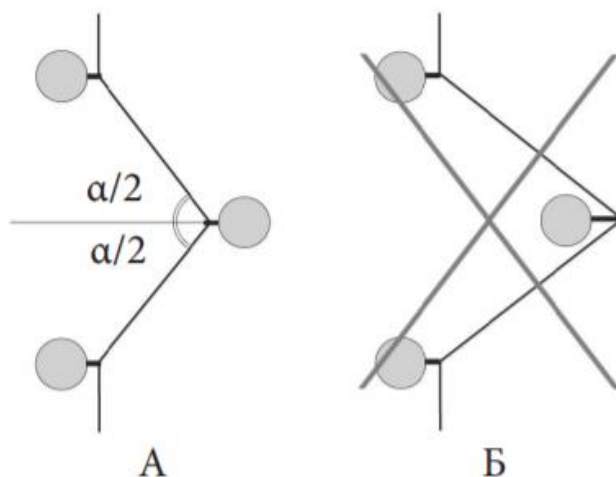


Рисунок 3.11 – Монтаж гаків на кутових проміжних опорах

4. На відгалужувальних опорах – гак монтується в напрямку лінії відгалуження (рис.3.12).

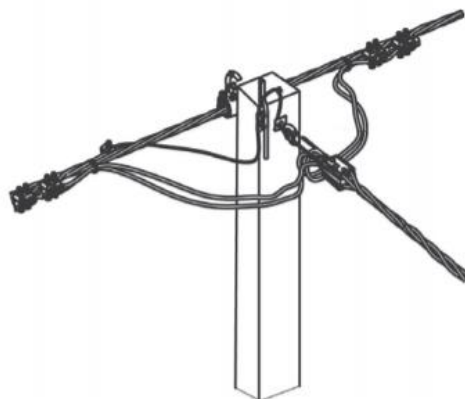


Рисунок 3.12 – Монтаж гаків на відгалужувальних опорах

З метою виконання зазначених вище вимог розташування гаків на опорах округлої (СК) або прямокутної (СВ) форми рекомендується:

1) на опорах СК застосовувати гаки типу GHSO, які мають опорну поверхню незначної площі. Це дозволяє влаштовувати гаки на поверхні опори в необхідному напрямку для збереження стійкості до вертикальних, горизонтальних і поперечних навантажень (рис.3.13).

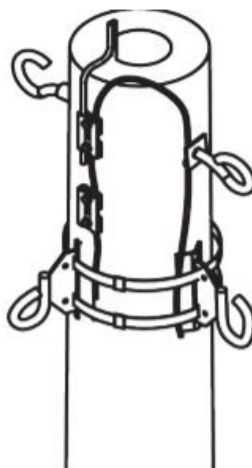


Рисунок 3.13 – Розташування гаків на опорах округлої СК

2) на опорах СВ застосовувати гаки типу CSC16r, які мають опорну поверхню збільшеної площі і спеціального профілю. Це дозволяє надійно зафіксувати гак на плоскій поверхні або на куту опори в необхідному напрямку (рис.3.14).

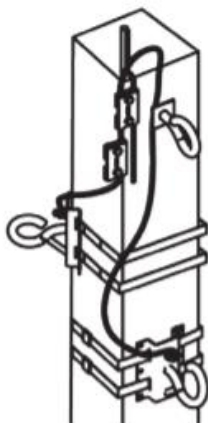


Рисунок 3.14 – Розташування гаків на опорах округлої СВ

					БР 5.8.14.1.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Закріплення гаків на опорах виконується за допомогою бандажної стрічки з нержавіючої сталі типу ІF, кінці якої фіксуються за допомогою скріпи СF. Натяг стрічки для надійної фіксації гаків і її обрізка до необхідної довжини виконується за допомогою спеціального пристрою PINF або PCL [14].

Перелік необхідного інструменту та обладнання:

- пристрій для натягування бандажної стрічки PINF або PCL;
- молоток;
- ножиці по металу

Монтаж гаків з кріпленням бандажної сталеву стрічкою:

1. Відрізати необхідну кількість стрічки рис. 3.15:



Рисунок 3.15 – Монтаж гаку

2. Ввести кінець стрічки в паз скріпи на 5-10 см, загнути стрічку під скрепу і сплюснути місце вигину рис. 3.16:

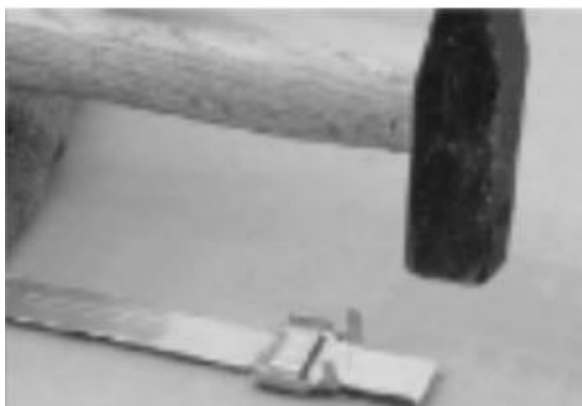


Рисунок 3.16 – Монтаж гаку

					БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

3. Протягнути стрічку в отвір гака, обвести стрічку навколо опори і знову ввести вільний кінець стрічки в паз скрепи.



Рисунок 3.17 – Монтаж гаку

4. Закріпити вільний кінець стрічки в притискному пристрої PINF або PCL і натягнути стрічку рис. 3.18:



Рисунок 3.18 – Монтаж гаку

5. Утримуючи за корпус пристрій, загнути стрічку в сторону скрепи і відрізати зайву ділянку стрічки рис. 3.19:

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70



Рисунок 3.19 – Монтаж гаку

6. Загнути і обжати «вусики» скрепи молотком рис. 3.20:



Рисунок 3.20 – Монтаж гаку

При монтажі гаків на анкерних опорах верхній хомут виконується в два обхвати. На анкерній опорі на одній збірці з кріпленням бандажної стрічкою допускається установка не більше двох гаків.

Особливістю монтажу ПЛІ є розкочування СІП із застосуванням монтажних роликів і троса. Така технологія забезпечує захист від механічних пошкоджень ізоляції проводу СІП при проведенні монтажних робіт і високу надійність ПЛІ протягом всього терміну служби.

При розкочуванні ПЛІ необхідно враховувати, що будівельна довжина СІП (відстань між двома анкерними опорами) не повинна перевищувати 400

					<i>БР 5.8.141.476 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71



М.

При виконанні робіт по монтажу ПЛІ необхідно дотримуватися вимог ГКД 34.20.260-2002.

Перелік необхідного інструменту та обладнання:

- монтажні ролики типу PDP1000 або PDP1002;
- монтажні ролики типу KL-4;
- кабельна панчоха LD42...;
- вертлюг LD2420;
- лебідки ручні P1500 з функцією реверсу;
- динамометр ТМ-5 або ТМ-10;
- монтажні затискачі АВС-...-GRIP;
- кабелеріз MRK34;
- трос-лідер;
- розкочувальний пристрій.
- пристосування для натягування монтажного троса-лідера

Перед розкочуванням СІП (рис. 3.21) на заздалегідь встановлені на опорах гаки підвішуються монтажні ролики (3), в них заправляється монтажний трос-лідер (5) (ці операції можна поєднати з монтажем гаків). З одного боку будівельної ділянки на відстані 10-15 м від першої опори встановлюється розкочувальний пристрій (1) з барабаном СІП так, щоб провід при розкочуванні сходив зверху барабана. З іншого боку ділянки встановлюється пристосування для натягування монтажного троса-лідера (6).

					<i>БР 5.8.14.1.476 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72



кабельну панчошу з вертлюгом і залишити достатній запас проводу (близько 0,5 м) для електричного з'єднання в анкерній петлі з наступною будівельною ділянкою (рис. 3.22).



Рисунок 3.22 – Кабельна панчоха та вертлюг

З'єднання будівельних ділянок ПЛІ найчастіше виконується в петлях анкерних опор. Також воно може бути виконано в прольоті ПЛІ [19].

Для з'єднання СП в прольоті використовуються з'єднувальні затискачі, що пресуються типу МЖРТ...N, які забезпечують з'єднання з механічною міцністю не менше 90% розривної міцності проводу. В одному прольоті ПЛІ допускається не більше одного з'єднання СП.

З'єднання в петлях анкерних опор виконується з'єднувальними затискачами, що пресуються типу МЖРТ.

Перелік необхідного інструменту та обладнання:

- кабелеріз MRK34;
- прес гідравлічний Р-НVD 50;
- матриці для опресування D5 E... під гідравлічний прес Р-НVD 50;
- щітка металева.

Монтаж з'єднувальних затискачів, що пресуються:

1. Перевірити по маркуванню, що затискач підходить для перерізу даного проводу рис. 3.23:

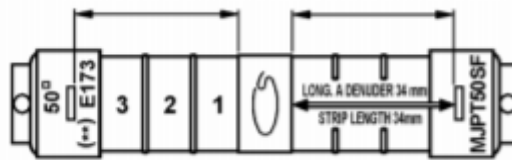


Рисунок 3.23 – Монтаж затискачів

2. Видалити ізоляцію на кінцях з'єднувальних провідників відповідно до розмірів на затискачу рис. 3.24:

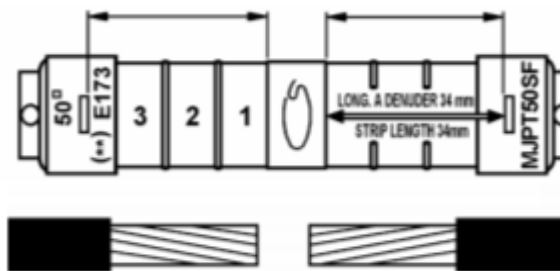


Рисунок 3.24 – Монтаж затискачів

3. Зачистити жили провідників металевою щіткою від оксидів алюмінію і покрити нейтральним мастилом рис. 3.25:

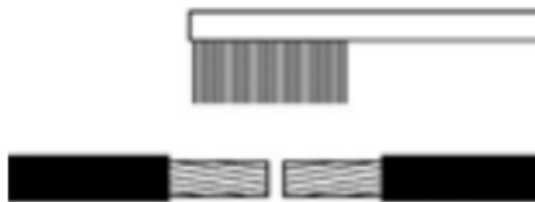


Рисунок 3.25 – Монтаж затискачів

4. Вставити зачищені кінці провідників в затискач до упору рис. 3.26:



Рисунок 3.26 – Монтаж затискачів

5. Згідно позначенню на затискачі вибрати шестигранні матриці і встановити їх в прес, рис. 3.27:

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75



Рисунок 3.27 – Монтаж затискачів

6. Відповідно до зазначеної на затискачі послідовності виконати опресування ручним або електричним пресом (з зусиллям опресування 50 кН).

При монтажі з'єднувальних затискачів, що пресуються (рис.3.28) необхідно забезпечити їх поетапне розташування на проводі, як показано на зображенні. Для рівномірного розподілу монтажного натягу на всі жили проводу СПВ відстань між найближчими затискачами має бути однаковою і дорівнювати 10-20 см. На тій же відстані від крайніх затискачів, для попередження розкручування проводу СПВ, повинні бути встановлені стяжні ремінці CCD [19].



Рисунок 3.28 – Розташування з'єднувальних затискачів, що пресуються

Приєднання проводів відгалужень до магістралей ПЛЛ проводиться за допомогою проколюючих з'єднувальних затискачів. Також за допомогою цих затискачів може бути виконано з'єднання будівельних ділянок ПЛЛ в петлях анкерних опор.

### 3.3 Захист повітряних ліній від атмосферних перенапруг

Обмежувачі перенапруг нелінійні (ОПН) призначені для використання в

					БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

якості основних засобів захисту електрообладнання станцій і мереж від комутаційних і атмосферних перенапруг на класи напруг від 0,38 до 110 кВ для мереж змінного струму і на напругу від 3,3 до 27,5 кВ для рухомого складу і систем електропостачання енергооб'єктів, промислової частоти 48-62 Гц [18].

При їх розробці були використані останні технологічні досягнення і досвід експлуатації ОПН у вітчизняній і зарубіжній практиці. Обмежувачі рекомендується застосовувати замість вентильних розрядників відповідних класів напруги при проектуванні, експлуатації, технічному переозброєнні і реконструкції електроустановок.

ОПН-КР призначені для надійного захисту електрообладнання в мережах класу напруги 6-10 кВ з ізолюваною або резонансно заземленою нейтраллю. Рекомендуються для використання в розподільних мережах для захисту трансформаторів і двигунів. Виготовляються для внутрішньої установки (УХЛ2 по ГОСТ 15150) і призначені для експлуатації на висоті над рівнем моря до 1000 м при температурі навколишнього середовища від мінус °С до плюс 55 °С і вологості навколишнього середовища:

- середньорічне значення 80% при 15 °С;
- верхнє значення 100% при 25 °С.

ОПН-РТ призначені для гарантованого захисту найбільш відповідального електроустаткування в мережах класу напруги 3-10 кВ з ізолюваною або резонанснозаземленою нейтраллю.

Типи ОПН-РТ рекомендується застосовувати в умовах частих і інтенсивних впливів перенапруг для захисту трансформаторів електродугових печей, ізоляції кабельних мереж, електричних генераторів, двигунів і т.п. Призначені для експлуатації на висоті над рівнем моря до 1000 м при температурі навколишнього середовища від мінус 60 °С до плюс 55 °С для внутрішньої установки (УХЛ2 по ГОСТ 15150). Вологість навколишнього середовища в експлуатації:

- середньорічне значення 80% при 15 °С;
- верхнє значення 100% при 25 °С.

					<i>БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

ОПН - 35,110, призначені для захисту електрообладнання підстанцій та повітряних ліній електропередачі від грозових і комутаційних перенапруг в мережах класу напруги 35 кВ з ізольованою або компенсованою нейтраллю і 110 кВ з ефективно заземленою нейтраллю. Призначені для експлуатації на висоті над рівнем моря до 1000 м при температурі навколишнього середовища від мінус 60 ° С до плюс 55 ° С в умовах зовнішньої установки (УХЛ1 по ГОСТ 15150). Вологість навколишнього середовища в експлуатації:

- середньорічне значення 80% при 15 °С;
- верхнє значення 100% при 25 °С.

ОПН-6, 10 призначені для захисту електрообладнання розподільних пристроїв і апаратів від грозових і комутаційних перенапруг в повітряних мережах класу напруги 6-10 кВ з ізольованою або резонансно заземленою нейтраллю. Обмежувачі можуть бути використані всюди, де раніше передбачалося застосування вентильних розрядників РВО. Призначені для експлуатації на висоті над рівнем моря до 1000 м при температурі навколишнього середовища від - 60 °С до + 55 °С в умовах зовнішньої установки (УХЛ1 по ГОСТ 15150). Вологість навколишнього середовища в експлуатації:

- середньорічне значення 80% при 15 °С;
- верхнє значення 100% при 25 °С.

Поряд з відомими перевагами металооксидних обмежувачів перенапруг, таких, як відсутність супроводжуючого струму після загасання хвилі перенапруги, Ви постійно з'єднані з мережі, що захищається, здатність поглинати великі енергії, тощо. ОПН мають додатковим набором привабливих характеристик завдяки застосуванню металооксидних резисторів з незмінними характеристиками в поєднанні із застосуванням унікальної технології складання в полімерний корпус:

- не потребує обслуговування протягом усього терміну служби;
- необмежений комутаційний ресурс;
- глибокий рівень обмеження перенапруг;
- широкий номенклатурний ряд робочих напруг;

					<i>БР 5.8.14.1.4 76 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

- стабільність нестаріючих характеристик;
- вибухобезпечність і сейсмостійкість;
- висока надійність в експлуатації;
- стійкість до атмосферних забруднень;
- зручність вбудовування в розподільчі пристрої.

При експлуатації ОПН не потрібно застосування лічильника спрацьовування, в наслідок необмеженого комутаційного ресурсу.

Зовнішній вигляд обмежувачів перенапруг усіх типів серії TEL представлений на ілюстрації нижче [18].

Обмежувачі перенапруг виготовляються з порцелянової і полімерної зовнішньої ізоляцією. ОПН з порцелянової ізоляцією є високовольтний апарат в порцеляновій покривці на основі оксидно-цинкових високонелінейних варисторів, без іскрових проміжків. ОПН з полімерною ізоляцією виконані у вигляді одиничного нелінійного варистора, обпресувано в оболонку з полімерного матеріалу.

Застосування полімерів для виробництва зовнішньої ізоляції ОПН дозволило розробити обмежувачі, здатні експлуатуватися як в районах з високою забрудненістю, так і в сейсмонебезпечних районах і в умовах сильної вібрації і частих ударів. Полімерні корпусу забезпечують вибухобезпечність ОПН, оскільки при підвищенні тиску всередині корпусу розкриваються отвори в склопластиковій трубці, заповнені гумовим покриттям, і відбувається зниження тиску. Розлітаються тільки гумові пробки, не викликаючи яких-небудь пошкоджень.

Обмежувачі в полімерних корпусах менше пошкоджуються при транспортуванні, зберіганні і монтажі. Обмежувачі серії ОПНп 6-110 кВ виготовляються двох типів: опорному і підвісному. Залежно від типу виконання виконуються і комплектація апаратів фланцями відповідної конструкції. Що не має аналогів у вітчизняній та світовій практиці метод безшовного пресування кремнійорганічних гум гарячої вулканізації дозволяє формувати надійне захисне

					<i>БР 5.8.14.1.476 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79



покриття з кремнійорганічної гуми з будь-якої необхідної на практиці розвиненістю зовнішньої поверхні (довжиною шляху витоку). Одночасно заповнення внутрішньої порожнини компаундом, що володіє високою адгезією, і з склопластиком і з керамікою, підвищує номінальний розрядний струм і пропускну здатність ОПН при грозових імпульсах струму.

### 3.4 Висновки до третього розділу

Для передавання електричної енергії все частіше почали застосувати повітряні ізольовані лінії електропередач (ПЛЛ). Передача відбувається за допомогою СПП, закріпленими спеціальною арматурою на опорах або кронштейнах.

Для ПЛЛ існує своя технологія монтажу, що включає в себе: влаштування опор, монтаж кріпильних елементів (гаків, траверс), розкочування СПП, натяг ділянки ПЛЛ і анкерне закріплення, монтаж підтримуючих затискачів, облаштування електричних підключень і з'єднань, встановлення заземлення та захист ПЛЛ від перенапруги.

Основним захистом ПЛЛ від атмосферних перенапруг є обмежувачі перенапруги нелінійні (ОПН) на класи напруг від 0,38 до 110 кВ.

					<i>БР 5.8.141.476 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

## 4 РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 4.1 Вихідні дані до виконання механічного розрахунку проводів повітряної лінії електропередавання

Завдання даного розділу полягає у визначенні систематичного розрахунку проводів повітряної лінії електропередавання напругою 110 кВ, яка виконана сталевалюмінієвими проводами марки АС-240/39, змонтованих на проміжних опорах ПМ-110-5ф з використанням стрижневих ізоляторів ЛК 70/110 - 3. Траса повітряної лінії проходить по ненаселеній місцевості І типу по максимальній температурі та 9 район по мінімальній температурі, середньорічна температура по 2 району, яку віднесено до 3 району за ожеледдю, 2 район за вітровим навантаженням, 3 район за вітровим натиском під час ожеледі. Анкерована ділянка містить п'ять прогонів довжинами 270, 280, 250, 260, 280 м.

Відповідно до умов завдання технічні та експлуатаційні характеристики проводу АС-240/39 такі:

Розрахунковий перетин	$F = 274,7 \text{ мм}^2$
Зовнішній діаметр	$d = 21,6 \text{ мм}$
Погонна маса	$M_0 = 952 \frac{\text{кг}}{\text{км}}$
Модуль пружності	$E = 82,5 \text{ ГПа}$
Коефіцієнт теплового здовження	$\alpha = 19,2 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$

					<i>БР 5.6.141.476 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Аналіз методів розрахунків конструкції повітряних ліній електропередач</i>	<i>Лит.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Листів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Тютюнник</i>					81	99
<i>Перевір.</i>		<i>Лебединський</i>				<i>СумДУ ЕТз-91с</i>		
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Никифоров</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Лебединський</i>						

Допустимі напруження наступні:

В режимі максимальних навантажень  $\sigma_{\max} = 135 \text{ МПа}$

В експлуатаційному режимі  $\sigma_e = 90 \text{ МПа}$

Довжини прогонів:

$l_1 = 270 \text{ м}; l_2 = 280 \text{ м}; l_3 = 250 \text{ м}; l_4 = 260 \text{ м}; l_5 = 280 \text{ м}.$

Умови в районі траси лінії характеризуються наступними характеристичними значеннями кліматичних навантажень:

Товщина стінки ожеледі  $b = 16 \text{ мм}$

Швидкісний натиск вітру  $q = 450 \text{ Па}$

Натиск вітру під час ожеледі  $q' = 250 \text{ Па}$

Температурні режими проводу наступні:

Максимальна температура  $t_{\max} = 36^\circ \text{C}$

Мінімальна температура  $t_{\min} = -40^\circ \text{C}$

Температура під час ожеледі  $t_o = -5^\circ \text{C}$

Середньорічна температура  $t_c = 7^\circ \text{C}$

Температура монтажного режиму  $t_{\text{монт}} = -15^\circ \text{C}$

#### 4.2 Розрахунок середньої висоти розташування центру мас проводів та зведеного прогону анкерованої ділянки

Конструктивні розміри проміжної опори ПМ-1105ф та лінійного ізолятора ЛК 700/110-3 зазначеного на рис 4.1 та 4.2.

Конструктивні розміри опори ПМ-110-5ф становлять:

Висота нижніх траверс  $h_1 = 15 \text{ м}$

Висота верхньої траверси  $h_3 = h_1 + 6 = 21 \text{ м}$

					БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Будівельна висота ізоляційного підвісу ЛК 70/110-3

$$\lambda = 1,28 \text{ м}$$

Відповідно до схеми опори на рис. 4.1 висота закріплення проводів на опорі становлять:

$$h_o = 15 - 1,28 = 13,72 \text{ м}$$

$$h_{\text{сеп}} = \frac{2h_1 + h_3}{3} - \lambda = \frac{2 \cdot 15 + 21}{3} - 1,28 = 15,72 \text{ м}$$

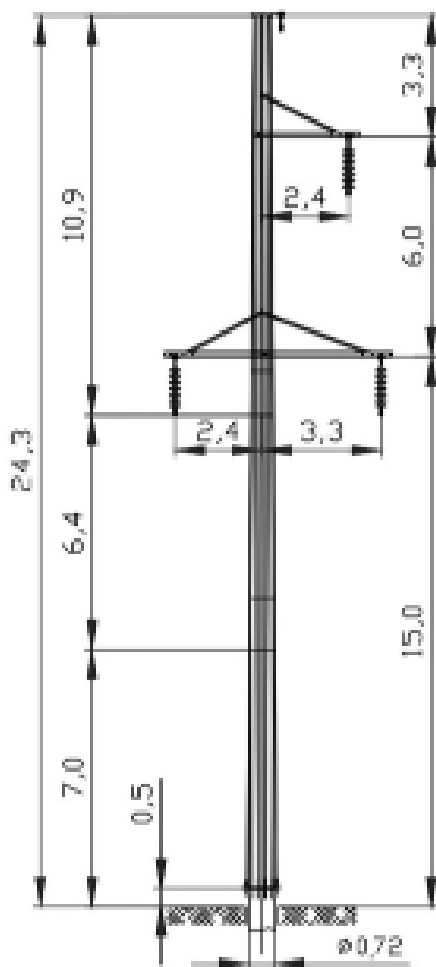


Рисунок 4.1 – Проміжна опора ПМ-110-5ф

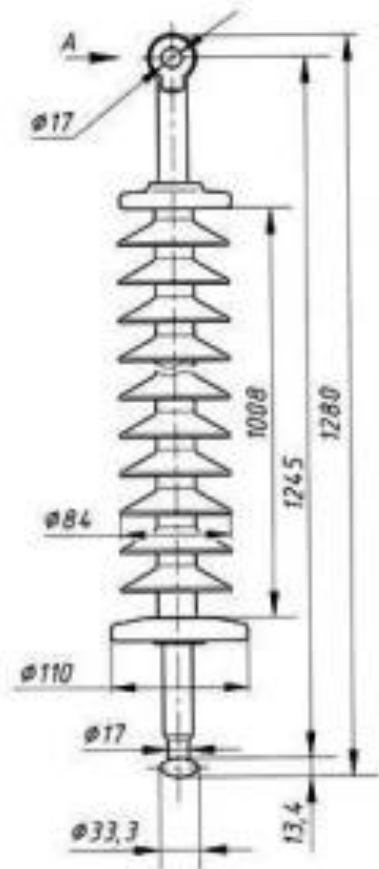


Рисунок 4.2 – Ізоляційний підвіс ЛК 70/110-3

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР 5.8.14.1.476 ПЗ

Арк.

83

Нормована габаритна відстань між проводом та землею лінії напруги 110 кВ для ненаселеної місцевості становить [12]

$$\Gamma = 6 \text{ м}$$

Таким чином, габаритна стріла провисання проводу становить [20]

$$f_z = h_0 - \Gamma = 13,72 - 6 = 7,72 \text{ м}$$

Тоді, висота розташування зведеного центру мас всіх фазних проводів у прогоні дорівнює:

$$h_c = h_{\text{сер}} - \frac{2}{3} f_z = 15,72 - \frac{2}{3} 7,72 = 10,57 \text{ м}$$

Визначимо довжину зведеного прогону без урахування перепадів висот точок закріплення проводу на опорах [20].

$$l_{\text{зв}} = \sqrt{\frac{l_1^3 + l_2^3 + l_3^3 + l_4^3 + l_5^3}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5}} = 268,7 \text{ м}$$

#### 4.3 Розрахунок одиничних та питомих навантажень на проводи повітряної лінії

Навантаження від власної ваги проводу

Одиничні та питомі навантаження від власної ваги проводу становлять:

$$p_1 = g \cdot M_0 = 9,336 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

					БР 5.8.14.1.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

$$\gamma_1 = \frac{p_1}{F} = 33,99 \frac{\text{кПа}}{\text{м}}$$

Навантаження від ваги відкладень ожеледі

Густина льоду:  $\rho = 0,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

Коефіцієнт надійності за вагою ожеледі становить:  $\gamma_{fm} = 0,7$

Визначаємо поправковий коефіцієнт за висотою розташування проводу:

$h$	$k$	$k = k_0 + \frac{(h_c - h_0)(k_1 - k_0)}{h_1 - h_0} = 1,01$
10	1,0	
20	1,2	

Визначаємо поправковий коефіцієнт щодо діаметру проводу [20]

$D$	$k$	$\mu = \mu_0 + \frac{(d - D_0)(\mu_1 - \mu_0)}{D_1 - D_0} = 0,884$
20	0,9	
30	0,8	

Таким чином, одиничне навантаження від ваги відкладень ожеледі становить [20]:

$$p_2 = \rho g \gamma_{fm} \pi k \mu b (d + k \mu b) = 19,67 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Сумарне навантаження від ваги проводу вкритого ожеледдю [20]:

$$p_3 = p_1 + p_2 = 29 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$\gamma_3 = \frac{p_3}{F} = 105 \frac{\text{кПа}}{\text{м}}$$

Навантаження від натиску вітру.

Коефіцієнт надійності за вітровим навантаженням становить [20]:

$$\gamma_{f \max} = 0,8$$

$$C_x = 1,1$$

$$q_{tu} = 1,5$$

Коефіцієнт нерівномірності натиску повітря вздовж прогону становить [20]:

$$\alpha_- = 2,6 - 0,3 \ln(q) = 0,767$$

Коефіцієнт довжини прогону [20]

$$K_l = 1,7 - 0,12 \ln(l_{36}) = 1,029$$

Таким чином, коефіцієнт динамічності натиску вітру дорівнює [20]:

$$C_{dc} = q_{tu} \cdot \alpha_- \cdot K_l = 1,184$$

Визначаємо коефіцієнт висоти розташування проводу [20]:

$$C_h = 1(0,1 \cdot h_c)^{2,0,15} = 1,017$$

Коефіцієнт впливу розташування проводів становлять [20]:

$$C_R = 1; C_{DIR} = 1$$

					БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Коефіцієнт впливу розташування проводів становлять [20]:

$$C_c = C_h \cdot C_R \cdot C_{DIR} = 1,017$$

Одиничне навантаження від натиску вітру на проводи становить [20]:

$$p_4 = v_{f \max} C_x C_{dc} C_c q d = 10,3 \frac{H}{M}$$

Навантаження від натиску вітру на проводи вкриті ожеледдю

Коефіцієнт надійності за вітровим навантаженням під час ожеледі становить [20]:

$$\gamma_{fQ} = 0,71$$

$$C_x = 1,2$$

$$\alpha'_- = 2,6 - 0,3 \ln(q) = 0,944$$

Таким чином, коефіцієнт динамічності натиску вітру дорівнює [20]:

$$C_{dc} = q_{tu} \cdot \alpha'_- \cdot K_1 = 1,456$$

Одиничне навантаження від натиску вітру на проводи становить [20]:

$$p_5 = v_{fQ} C_x C_{dc} C_c q d = 7,036 \frac{H}{M}$$

					БР 5.8.14.1.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87



Сумарне навантаження від ваги проводу та натиску вітру

Одиничне та питоме навантаження від ваги проводу вкритого ожеледдю становлять [20]:

$$p_6 = \sqrt{p_1^2 + p_5^2} = 11,69 \frac{H}{м}$$

$$\gamma_3 = \frac{p_6}{F} = 42,6 \frac{кПа}{м}$$

Сумарне навантаження від ваги проводу вкритого ожеледдю та натиску вітру [20]:

$$p_7 = \sqrt{(p_1 + 0,9p_2)^2 + p_6^2} = 29,5 \frac{H}{м}$$

$$\gamma_3 = \frac{p_7}{F} = 107 \frac{кПа}{м}$$

Порівнюючи розрахункові величини видно, що максимальне навантаження становить:

$$\gamma_{\max} = \gamma_7 = 107 \frac{кПа}{м}$$

#### 4.4 Визначення вихідного кліматичного режиму

Перший критичний прогін [20]:

$$l_{1к} = \frac{\sigma_e}{\gamma_1} \sqrt{\frac{\sigma_e - \sigma_{\max} + \alpha E(t_e - t_{\min})}{\frac{E}{24} \left( 1 - \left( \frac{\sigma_e}{\sigma_{\max}} \right)^2 \right)}} = 522,6 м$$

					БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

Другий критичний прогін [20]:

$$l_{2к} = \frac{\sigma_{\max}}{\gamma_1} \sqrt{\frac{24\alpha(t_0 - t_{\min})}{\left(\frac{v_{\max}}{v_1}\right)^2 - 1}} = 168,6 \text{ м}$$

Третій критичний прогін:

$$l_{3к} = \frac{\sigma_{\max}}{\gamma_1} \sqrt{\frac{\sigma_{\max} - \sigma_e + \alpha E(t_0 - t_e)}{\frac{E}{24} \left( \left( \frac{v_{\max}}{v_1} \right)^2 - \left( \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_e} \right)^2 \right)}} = 106,3 \text{ м}$$

Співвідношення між критичними прогонами становлять [20]:

$$l_{1к} > l_{2к} > l_{3к} \quad 522,6 > 168,6 > 106,3$$

Це означає, що розрахунковим є третій критичний прогін, з допустимих напружень, вихідним є режим максимальних навантажень, тобто вітру під час ожеледі.

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

## ВИСНОВОК

У роботі проаналізовано методи розрахунків конструкцій повітряних ліній електропередач.

Розглянуто проводи різних конструкцій. Вказано основні переваги та недоліки. В електричних мережах спостерігається тенденція щодо застосування самонесучих ізольованих проводів (СП). Даний тип має деякі переваги над неізольованим. Наведені та проаналізовані характеристики опор, ізоляторів повітряних ліній електропередач.

Наведено метод розрахунку конструкцій повітряних ліній – метод граничних станів. Враховуються стани при досягненні яких конструкція опори перестає задовольняти вимоги, що висувається до неї. Розраховуються навантаження при нормальному, аварійному та монтажному режимах.

Площа поперечного перерізу жил проводів обирається виходячи з економічних умов, яким відповідають метод економічної густини струму й економічних струмових інтервалів. Вибір з економічної густини струму ведеться для нормального режиму максимального навантаження. Вибір за економічними інтервалами струму проводять за рахунок навантаженням струму, яке визначають для нормального режиму максимального навантаження і враховують навантаження за роками експлуатації лінії і кількості годин використання найбільшого навантаження.

Розрахунок перерізів жил СП вибирається виконується за допомогою методу економічних показників із подальшою перевіркою за допустимими струмом, механічною міцністю та відхиленню напруги у споживачів. Проведено дослідження розрахункових випадків ураження електричної лінії з тропами блискавкою. Досліджено технології монтажу самонесучих ізольованих проводів, улаштування повітряних ліній СП, загальні вимоги, розглянуто технології монтажу ПЛІ, послідовність виконання технологічних операції по монтажу та захисту від атмосферних перенапруг.

					<i>БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

Проведено механічний розрахунок проводів повітряної лінії електропередавання. Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що в жодному розрахунковому режимі механічні напруження не перевищують допустимих значень.

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів спеціальності 141–Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/Освітня програма «Електротехнічні системи електроспоживання»/ укладачі: І.Л. Лебединський, І.І. Борзенков –Суми: СумДУ, 2019. – 40 с.
2. Лебединський І.Л. et al. Методичні вказівки і завдання до виконання курсового проекту на тему «Розроблення проекту районної електричної мережі» з курсу «Електричні системи і мережі». Суми: СумДУ, 2015. 37 с.
3. Василега П.О. Електропостачання [Текст]. Суми: СумДУ, 2019. 521 с.
4. Бабаєв М.М., Блиндюк В.С., Супрун О.Д. Проектування систем електропостачання залізниць. Харків: УкрДУЗТ, 2019. 291 с.
5. Волох П.В., Цоколенко М.П., Ревенко Л.В. Довідникова книга з електроенергетики: навчальний посібник. Київ: Аграрна освіта, 2014. 506 с.
6. Повітряні лінії електропередачі. Текст лекцій з дисципліни «Кабельні та повітряні лінії електропередачі » (для студентів 4 курсу денної та 5 курсу заочної форм навчання спеціальності 6.090603 – «Електротехнічні системи електроспоживання») / Укл.: Є.Д.Дьяков - Харків: ХНАМГ, 2008. – 67 с.
7. Електричні мережі та системи. Режими роботи розімкнених мереж [Текст]: Навчальний посібник з дисципліни для всіх форм навчання та студентів іноземців напряму підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології”/Уклад. В.В.Кирик.-К.: НТУУ «КПІ», 2014.- 130с.
8. ДСТУ 2871-94. Система показателів качества продукции. Изоляторы линейные. Номенклатура показателей.
9. Лебединський І.Л., Романовський В.І., Загородня Т.М. Теоретичні основи електротехніки : конспект лекцій. Суми: СумДУ, 2016. 325 р.
10. ЗАТ «Завод «Південкабель» et al. Посібник з проектування та будівництва повітряних ліній напругою до 1 кВ із застосуванням самоутримних

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

ізольованих проводів виробництва ЗАТ «Завод «Південкабель» та лінійної арматури Niled. Книга 1 Рекомендації щодо застосування самоутриманих ізольованих проводів на повітряних лініях напругою до 1 кВ з урахуванням вимог ПУЕ редакції 2006 року. Київ, 2006. 60 р.

11. Електричні системи та мережі : конспект лекцій / укладачі: І. Л. Лебединський, В. І. Романовський, Т. М. Загородня. – Суми : Сумський державний університет, 2018. – 214 с.

12. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – Київ: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.

13. Розрахунок допустимих втрат напруги, перерізу проводів СП та вибору силових трансформаторів: методичні вказівки з поглибленого самостійного ви-вчення дисципліни «Основи електропостачання» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної, заочн. спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/ Держ. біотехнол. ун-т ; уклад.: С. А. Попадченко, О. А. Савченко. - Харків: [б. в.], 2023 - 40 с.

14. ВБН В.2.5-341.004.001.001-02 Улаштування повітряних ліній електропередачі напругою до 1 кВ з самоутриманими ізольованими проводами. – [Чинний від 2004–01–01].– Київ: Міністерство палива та енергетики України, 2002 –29 с.

15. Гаряжа В. М. Кабельні та повітряні лінії електропередачі. Розділ «Повітряні лінії електропередачі з самонесучими ізольованими проводами» : конспект лекцій для студентів денної і заочної форм навчання (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / В. М. Гаряжа, Є. Д. Дьяков ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 57 с.

16. Прорив блискавки через тросовий захист [Electronic resource]. URL:[https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib\\_upload/%D0%95%D0%9D%D0%9F\\_%D0%A2%D0%92%D0%9D/page85.html](https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%95%D0%9D%D0%9F_%D0%A2%D0%92%D0%9D/page85.html)

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

17. Акімов О.І., Сушко Д.Л. Техніка високих напруг. Ізоляція та перенапруги в пристроях електропостачання і електричної тяги залізничного транспорту: Навч. посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2009. 217 с.

18. Василюк С.В., Василюк К.С. Техніка високих напруг навчальний посібник [Електронне видання].–Рівне: НУВГП, 2018. – 187 с.

19. Навчальний посібник з монтажу повітряних ліній електропередачі з самоутримними ізольованими проводами [Електронне видання].– Київ “Sicame Group” – 76 с.

20. Основи механічних розрахунків повітряних ліній електропередавання: Розрахунково-графічна робота [Електронний ресурс]: навч. Посіб. Для студ. Спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньої програми «Електричні системи і мережі» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Т. Л. Кацадзе. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,51 МБ). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 60 с.

					<i>БР 5.8.141.476 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

# ДОДАТКИ

					БР 5.8.141.476 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95



## ДОДАТОК А

### Електричний опір деяких жил проводу

Номинальний переріз жили, мм <sup>2</sup>	Електричний опір, Ом/1 км
10	3,04
16	1,91
35	0,87
50	0,64
70	0,44
95	0,32
120	0,25

### Індуктивний опір деяких провідників

Пере- різ, мм <sup>2</sup>	1×16 1×25	3×16 1×25	4×16 1×25	3×25 1×35	4×25 1×35	3×35 1×50	3×50 1×70	3×70 1×95	3×120 1×95
$x_0$ , Ом/км	0,095	0,099	0,074	0,091	0,073	0,091	0,091	0,092	0,088

## ДОДАТОК Б

### Головні характеристики СП-1 ПАТ «Завод Південкабель»

Число і номінальний переріз жил, мм <sup>2</sup>	Маса, кг/км	Зовнішній діаметр проводу, мм	Односекундний струм короткого замикання, кА	Струмове навантаження, А	Мінімальна розривна зусилля несучих жил, кН, не менше
1×16+1×25	160	13,2	1,0	75	7,4
3×16+1×25	295	17,4	1,0	70	7,4
3×35+1×50	604	24,3	2,3	115	14,2
3×50+1×70	819	27,5	3,2	140	20,6
3×70+1×95	1130	32,3	4,5	180	27,9
3×95+1×95	1362	36,2	6,0	220	27,9
3×120+1×95	1626	41,2	5,9	250	27,9
4×16+1×25	362	20,1	1,0	70	7,4
3×25+1×35	539	24,2	1,6	95	10,3
3×35+1×50+1×16	654	28,8	2,3	115	14,2
3×50+1×50+1×16	771	31,4	3,2	140	14,2
3×50+1×70+1×16	845	32,9	3,2	140	20,6
3×70+1×70+1×16	1049	36,7	4,5	180	20,6
3×70+1×95+1×16	1146	38,3	4,5	180	27,9
3×95+1×70+1×16	1311	40,7	6,0	220	27,9
3×95+1×95+1×16	1408	42,3	6,0	220	27,9
3×120+1×95+1×16	1635	45,5	5,9	250	27,9
3×35+1×50+1×25	687	28,8	2,3	115	14,2
3×50+1×50+1×25	805	31,4	3,2	140	14,2
3×50+1×70+1×25	879	32,9	3,2	140	20,6
3×70+1×70+1×25	1083	36,7	4,5	180	20,6
3×70+1×95+1×25	1180	38,3	4,5	180	27,9
3×95+1×70+1×25	1345	40,7	6,0	220	20,6
3×95+1×95+1×25	1441	42,3	6,0	220	27,9
3×120+1×95+1×25	1668	45,5	5,9	250	27,9

					БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

## ДОДАТОК В

### Головні характеристики СШ-1А ПАТ «Завод Південкабель»

Число і номінальний переріз жил, мм <sup>2</sup>	Маса, кг/км	Зовнішній діаметр проводу, мм	Односекундний струм короткого замикання, кА	Струмове навантаження, А	Мінімальна розривна зусилля несучих жил, кН, не менше
1×16+1×25	194	16,0	1,0	75	7,4
3×16+1×25	329	17,4	1,0	70	7,4
3×25+1×35	483	20,9	1,6	95	10,3
3×35+1×50	655	27,7	2,3	115	14,2
3×50+1×70	887	31,4	3,2	140	20,6
3×70+1×95	1208	34,8	4,5	180	27,9
3×95+1×95	1440	36,1	6,0	220	27,9
3×120+1×95	1703	41,2	5,9	250	27,9
2x16	134	14,6	1,5	105	5,0
2x25	194	17,2	2,3	130	7,8
4x16	169	17,6	1,5	105	9,8
4x25	387	20,7	2,3	130	15,4
3×35+1×50+1×16	702	31,9	2,3	115	14,2
3×50+1×50+1×16	820	34,5	3,2	140	14,2
3×50+1×70+1×16	908	36,5	3,2	140	20,6
3×70+1×70+1×16	1112	40,3	4,5	180	20,6
3×70+1×95+1×16	1227	42,3	4,5	180	27,9
3×95+1×70+1×16	1374	44,3	6,0	220	27,9
3×95+1×95+1×16	1489	46,3	6,0	220	27,9
3×120+1×95+1×16	1716	49,5	5,9	250	27,9
3×35+1×50+1×25	735	31,9	2,3	115	14,2
3×50+1×50+1×25	853	34,5	3,2	140	14,2
3×50+1×70+1×25	942	34,5	3,2	140	20,6
3×70+1×70+1×25	1146	40,3	4,5	180	20,6
3×70+1×95+1×25	1261	42,3	4,5	180	27,9
3×95+1×70+1×25	1408	44,3	6,0	220	20,6
3×95+1×95+1×25	1523	46,3	6,0	220	27,9
3×120+1×95+1×25	1749	49,5	5,9	250	27,9

						БР 5.8.14.1.4.76 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			98