

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії  
та енергетики  
Кафедра електрифікації,  
автоматизації виробництва  
та інженерної екології

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

АНДРІЄВИЧ АНДРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК -621.315.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему «Дослідження методів розрахунків конструкцій повітряних ліній  
електропередач»

спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Подається на здобуття освітнього ступеня *магістр*.

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

\_\_\_\_\_ А. О. Андрієвич

Керівник роботи

Пінкін Анатолій Анатолійович

к.т.н., доцент

Житомир - 2020

## АНОТАЦІЯ

Андрієвич А. О. Дослідження методів розрахунків конструкцій повітряних ліній електропередач

Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" Житомирський національний агроєкологічний університет, Житомир, 2020.

Ключові слова: ДОСЛІДЖЕННЯ, КОНСТРУКЦІЇ, МЕХАНІЧНА МІЦНІСТЬ, ЛІНІЇ, БЛИСКАВКО ЗАХИСТ, КЛІМАТИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ, СІП.

В роботі було проведено дослідження та аналіз технічних характеристик проводів і тросів, способів та методів їх вибору. Розглянуто методику механічних розрахунків, проаналізовано методику розрахунку положення проводів, тросів в прогоні за різної місцевості з урахуванням необхідної міцності опор. Досліджено та проаналізовано технології монтажу мереж ПЛІ.

## SUMMARY

Andrievich A. O. Research of methods of calculations of designs of overhead power lines Qualification work on the rights of the manuscript. Qualifying work for a master's degree in specialty 141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics" Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, 2020.

Keywords: RESEARCH, STRUCTURES, MECHANICAL STRENGTH, LINES, LIGHTNING PROTECTION, CLIMATE LOADS, SIP.

The study and analysis of technical characteristics of wires and cables, methods and techniques of their selection were carried out. The method of mechanical calculations is considered, the method of calculation of position of wires, cables in a run on various district taking into account necessary durability of supports is analyzed. Technologies of installation of networks of PLI are investigated and analyzed.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
<b>РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ</b>	
<b>КОНСТРУКЦІЙ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕКТРОПЕРЕДАЧ.....</b>	<b>5</b>
1.1 Дослідження та аналіз проводів систем електропостачання.....	5
1.2 Характеристики опор повітряних ліній електропередачі.....	7
1.3 Дослідження ізоляторів ПЛ.....	8
Висновки до першого розділу.....	9
<b>РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКІВ</b>	
<b>КОНСТРУКЦІЙ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ.....</b>	<b>10</b>
2.1 Методи розрахунків конструкцій для проектування ПЛ .....	10
2.2 Вибір площі поперечного перерізу жил проводів.....	18
2. 3 Розрахунок перерізу фазних жил проводів СІП.....	12
2.4 Дослідження розрахункових випадків	
ураження електричної лінії з тросами блискавкою.....	15
2.5 Дослідження та розрахунок захисту порталльної опори при	21
допомозі застосуванні одиночного стрижньового блискавковідводу.....	17
Висновки до другого розділу.....	18
<b>РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА</b>	
<b>АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ МОНТАЖУ ПЛІ.....</b>	<b>19</b>
3.1 Улаштування повітряних ліній СІП.....	19
3.2 Технологія монтажу ПЛІ.....	23
3.3 Захист повітряних ліній від атмосферних перенапруг	29
Висновки до тетього розділу .....	31
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>32</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>33</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b></b>

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Для передачі і розподілу електроенергії в системах електропостачання використовують повітряні лінії (ПЛ) з використанням мідних, алюмінієвих, сталевих та сталеалюмінієвих проводів, які кріпляться за допомогою ізоляторів, які свою чергу встановлюються на траверси а траверси на опорах.

До проводів повітряних ліній висуваються такі вимоги:

- відповідна механічна міцність;
- відповідна електрична провідність;
- хороша гнучкість та пластичність;
- хімічна стійкість до складу повітря навколишнього середовища;
- мала вартість проводів.

Розвиток промисловості і електрифікації сільського господарства потребує розвитку та оптимізації систем електропостачання, забезпечення зменшення втрат електроенергії, підвищення надійності та якості електроенергії.

Дослідження та аналіз систем електропостачання показали що за останні 30 років значно змінилися умови виробництва, передачі та використання електричної енергії. В значній мірі це стосується зміни встановлених потужностей та характеру споживання електроенергії. В значній мірі змінилося центри навантаження в системах електропостачання.

Тому на даний час проводиться велика робота по модернізації, розвитку систем електропостачання з урахуванням при проектуванні використанням, як діючих систем так і розвитком електричних мереж 110, 35, 10 і 0,4 кВ, з впровадженням використання нових технологій і конструкцій повітряних ліній. Значно ширше використовувати систему, «глибокого вводу» 110 на 10 кВ, удосконалення систем симетрування в системах електропостачання,

використання сучасних методів, технологій і конструкцій для монтажу повітряних ліній електропостачання, тому ця тема є актуальною.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є дослідження сучасних методів, технологій і конструкцій для монтажу повітряних ліній електропостачання і методів розрахунку конструкцій систем електропостачання.

**Об'єктом дослідження** є сучасні технології і конструкції для монтажу повітряних ліній **предметом дослідження** – методи розвитку, розрахунку електричних мереж їх конструкцій на основі сучасних технологій.

### **Перелік публікацій в збірниках ЖНАЕУ.**

1. Андрієвич А. О. Дослідження та аналіз методів розрахунків конструкцій повітряних ліній електропередач.

Наукові читання–2020: Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики Житомир: ЖНАЕУ, 5-6 березня 2020 р..

2. Андрієвич А. О., Арзанов В. О., Прядко В. А. Дослідження та аналіз методів оцінки технічного стану ПЛЕП для покращення ремонтних робіт.

IV Міжнародна науково-практична Конференція «Біоенергетичні системи» 28–29 травня 2020 року Поліський нац. університет.

3. Андрієвич А. О., Арзанов В. О., Прядко В. А. Розробка системи електропостачання приватного будинку з застосуванням резервних джерел живлення. ПНУ, 26 жовтня 2020 р. Матеріали науково-практичної конференції «Студенські читання 2020» Житомир: ПНУ, 26 жовтня 2020 р.

## **РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕКТРОПЕРЕДАЧ**

Лінія електропередач призначена для передачі електроенергії по проводах від генеруючих установок до електроспоживачів.

Конструктивно лінії поділяються на повітряні, кабельні лінії електропередач, шинні струмопроводи та внутрішні електропроводки.

Основними конструктивними елементами повітряних ліній електропередачі є: залізобетонні, металеві опори з фундаментами і без них, неізольовані та ізольовані проводи марок А, АС ПС, ПСО, СП; ізолятори; лінійна арматура; грозозахисні троси, контур заземлення, траверси, роз'єднувачі.

Для монтажу магістральних, розподільчих систем електропостачання використовуються неізольовані проводи [1].

Але в повітряних лініях 0,4 кВ при проектуванні і реконструкції мереж використовуються самонесучі ізольовані проводи (СП) [2].

### **1.1 Дослідження та аналіз проводів систем електропостачання.**

Дослідження показують, що в системах електропостачання повітряних лініях 0,4 кВ використовують неізольовані проводи і самонесучі ізольовані проводи (СП).

Дослідження та аналіз монтажу та експлуатації неізольованих проводів показує їх значні недоліки.

Слід відмітити, що повітряні електричні мережі, які виконані неізольованими проводами, знаходяться під активним впливом оточуючого середовища, це ожеледні навантаження, максимальне вітрове навантаження, вітрове навантаження під час ожеледі.

Крім того необхідно при монтажі і експлуатації ПЛ необхідно дотримуватися відстаней між проводами, стріли провісу, габаритних розмірів, охоронної зони траси проходження електричних мереж.

**Самонесучі ізолювані провідники** монтуються без тросу. Механічне навантаження може сприйматися всіма несучими жилами дроту, які не розповсюджують горіння (ПУЕ 2006 п. 2.4.2).

Самонесуча чотирипровідна система складається з чотирьох ізолюваних алюмінієвих дротів однакового перерізу і мають однакове механічне навантаження на всі чотири дроти.

В ізолюваних повітряних лініях (ВЛП) рекомендується застосування самонесучого ізолюваного проводу в ізоляції із зшитого поліетилену, що не розповсюджує горіння (AsXSn, СИПсн/4, СИП/5нг).

### **Характеристика самонесучих ізолюваних проводів СИП**

СИП-1 - несуча нульова жила без ізоляції, фазні жили заізолювані.

Ізоляція - термопластичний світлостабілізована поліетилен. Кріпиться за нульову жилу, до 1 кВ.

СИП-1А - також, що і СИП-1, але всі жили заізолювані.

СИП-2 - несуча нульова жила без ізоляції, фазні жили заізолювані.

Ізоляція - зшитий світлостабілізована поліетилен (поліетилен з поперечними молекулярними зв'язками). Кріпиться за нульову жилу.

СИП-2А - також, що і СИП-2, але всі жили заізолювані.

СИП-3 - одножильний провід. Жила виконана з ущільненого сплаву або ущільненої сталюалюмінієвими конструкції дротів. Ізоляція - зшитий світлостабілізована поліетилен. Робоча напруга до 35 кВ.

СИП-4 - всі жили заізолювані. Ізоляція - термопластичний світлостабілізована поліетилен. Не має несучої жили. Кріпиться за всі жили одночасно. Робоча напруга до 1.

СИП-5 - те саме, що і СИП-4, але ізоляція - зшитий світлостабілізована поліетилен [2].

### ***Недоліки самонесучих ізолюваних проводів.***

У СИП-1, СИП-1А і СИП-4 менш міцна ізоляція.

СИП-3 призначений для напруг понад 1000 вольт. Крім того, це одиночний дріт, його не звертати в джгут.

СИП-4 і СИП-5 можуть застосовуватися тільки для відводів до будинків. Через відсутність зміцненої несучої жили можуть розтягуватися з часом.

СИП-2А може мати в своєму джгуті жили як одного, так і різних перетинів.

Як правило, при перетинах фазних жил до  $70 \text{ мм}^2$  несуча нульова жила для міцності робиться більшого перетину, ніж фазні, а понад  $95 \text{ мм}^2$  - меншого, бо міцності вже вистачає, а електрично (при рівномірному розподілі навантаження між фазами) Нульова жила навантаження практично не несе. Також поширені джгути з жилами однакового перетину. Жили освітлення, якщо такі присутні в джгуті, роблять перетином 16 або  $25 \text{ мм}^2$  [2].

## **1.2 Характеристики опор повітряних ліній електропередачі**

Для монтажу повітряних використовуються опори залізобетонні: квадратні і круглі і металеві на напругу починаючи 110 кВ. Як правило сучасні круглі опори комплектуються спеціальними фундаментами, металеві опори встановлюються на чотири лапи на фундаменти.

На залізобетонних квадратних і круглих опорах встановлюються відповідні траверси для кріплення ізоляторів і монтажу одно або дво – цепних муреш.

В залежності від призначення, конструкцій опори бувають проміжні для підтримки проводів і забезпечення відповідних габаритних відстаней. Такі опори монтують на прямих ділянках електричних мереж.

Анкерні опори монтують на прямих ділянках, поворотах, в кінці мереждля кріплення, фіксації проводів.

Кутові опори складаються з вертикальної стійки і двох приставок і встановлюються на повороті лінії електропередач.



Кінцеві опори складаються з вертикальної стійки з однією приставкою і встановлюються в кінцях лінії електропередач.

Металеві опори виготовляються зразу з траверсами для кріплення гирлянд ізоляторів.

Опори мають відповідні маркування, з літерів і цифр.

Літери означають конструктивне виконання та матеріал опори:

П, ПС – проміжні опори; ПП – проміжні перехідні опори; ПВС – проміжні опори з внутрішніми зв'язками;

А – анкерні опори; АУ – анкерно-кутові опори; КС – кінцеві опори;

Б – залізобетонні опори;; М – металеві багатогранні опори;

Літера «П» означає – зміну взаємного розташування проводів на опор; літера «т» тросостойку з двома тросами. Цифра після дефісу означає типорозмір опори [1].

### **1.3 Дослідження ізоляторів ПЛ**

Ізолятори на повітряних лініях служать для ізоляції проводів під напругою і утримувати їх на опорах. Вибирають ізолятори з врахуванням напруги мережі.

Конструктивно ізолятори поділяються на штирьові та підвісні.

Ізолятори маркують літерами і цифрами.

Перша літера означає тип ізолятора: Ш – штировий лінійний ізолятор; Л – лінійний стрижневий ізолятор.

Друга літера визначає матеріал, з якого виготовлено ізолятор:

К – композитний, Ф – електротехнічний фарфор.

Літера в кінці штирових та тарілчастих ізоляторів являється індексом модернізації ізолятора.

## **Висновки до першого розділу**

У першому розділі роботи приділено увагу дослідженню та аналізу проводів систем електропостачання.

Дослідження показують, що в системах електропостачання повітряних лініях 0,4 кВ використовують неізольовані проводи і самонесучі ізольовані проводи (СП).

Наведені та проаналізовані характеристики опор, ізоляторів повітряних ліній електропередач.

## **РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКІВ КОНСТРУКЦІЙ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ**

### **2.1 Методи розрахунків конструкцій для проектування ПЛ**

На сучасному етапі системи електропостачання та їх конфігурації не завжди відповідають вимогам електропостачання. Це пов'язано з перерозподілом розміщення об'єктів енергоспоживання та характеристиками електроспоживачів.

Вибір правильного розвитку конфігурації електричних мереж, тобто найбільш економічно та технічно досконалого варіанту будування і функціонування систем електропостачання в умовах сучасного енергетичного ринку і являється актуальним.

Оптимальні схеми конфігурації при розвитку електричних мереж вибираються на основі трьох методів дослідження:

методом динамічного програмування;

симплекс-методом;

методом транспортної задачі.

Користуючись цими трьома методами за мінімальними приведеними затратами можна визначити оптимальну схему електропостачання споживачів.

Практичне значення одержаних результатів може використовуватися при розвитку, проектуванні електричних мереж, дасть можливість зменшити втрати при передачі електричної енергії, забезпечити надійне електропостачання споживачів, покращити техніко-економічні показники електричних мереж та визначити найбільш ефективної стратегії розвитку електричних мереж.

### **2.2 Вибір площі поперечного перерізу жил проводів**

Площу поперечного перерізу струмоведучих жил проводів вибирають так, щоб вони не нагрівалися максимальним робочим струмом ( $I_{м,р}$ ) більше установлених норм і мали достатню механічну міцність. При цьому втрати

напруги в електромережі ( $\Delta U$ , %) не повинні перевищувати допустимих значень.

Для відгалужень до окремих електроприймачів:

$$I_{\text{м.р}} = I_{\text{н}}.$$

Номінальні струми визначають за формулами:

для однофазних приймачів

$$I_{\text{н}} = \frac{10^3 P_{1\text{н}}}{U_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}}}, \quad (2.1)$$

для трифазних приймачів

$$I_{\text{н}} = \frac{10^3 P_{1\text{н}}}{\sqrt{3} U_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}}}, \quad (2.2)$$

для трифазних асинхронних короткозамкнених електродвигунів

$$I_{\text{н}} = \frac{10^3 P_{1\text{н}}}{\sqrt{3} U_{\text{н}} \eta_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}}}, \quad (2.3)$$

де  $P_{1\text{н}}$  – номінальна споживана електроприймачем потужність, кВт;

$U_{\text{н}}$  – номінальна напруга, В;  $\cos \varphi_{\text{н}}$  – номінальний коефіцієнт потужності;

$P_{\text{н}}$  – номінальна потужність електродвигуна, кВт;  $\eta_{\text{н}}$  – номінальний коефіцієнт корисної дії двигуна.

Максимальну робочу силу струму магістралі, від якої живиться кілька електроприймачів, визначають так:

$$I_{\text{м.р}} = k_0 \sum I_{\text{н (р)}}, \quad (2.4)$$

де  $k_0$  – коефіцієнт одночасності роботи приймачів;  $\sum I_{\text{н (р)}}$  – сума номінальних (розрахункових) сил струмів усіх приймачів, А [1].

### 2.3 Розрахунок перерізу фазних жил проводів СІП

Розраховуючи поперечний переріз проводів враховуємо не тільки максимальний струм, який вони можуть пропускати, але і падіння напруги в кінці мережі, який згідно вимог не повинен перевищувати 5% при максимальному навантаженні. При відстанях понад 100 метрів падіння напруги в лінії вже стає вузьким місцем. Провід витримує навантаження, але до кінця лінії доходить значно низька напруга [4].

Розглянемо ситуацію на прикладі.

Довжина магістральної лінії 340 метрів. Максимальна потужність енергоприймаючу пристроїв - 72 кВт. Потрібно підібрати СІП відповідного перерізу провідників. Для цього визначаємо максимальний струм, який може протікати в проводах мережі до споживача [2].

Розраховуємо максимальну потужність, що припадає на 1 фазу.

$$72 \text{ кВт} / 3 \text{ фази} = 24 \text{ кВт} = 24000 \text{ Вт.}$$

Виразуємо максимальний робочий струм однієї фази. На виході з трансформатора по стандарту 230 В. При розрахунках враховуємо також ємкостную і індуктивне навантаження від побутових приладів, використовуючи косинус  $\phi_i = 0,95$ .

$$24000 \text{ Вт} / (230 \text{ В} \cdot 0,95) = 110 \text{ А}$$

З розрахунку видно, що провід повинен пропускати струм 110 А. За довідником СІП бачимо, що струм 110 А витримає СІП з перетином фазних жил 25 мм<sup>2</sup>. Проаналізуємо: довжина лінії 340 метрів, але провід має свій власний опір, який знижує напругу в кінці мережі. Згідно вимог, падіння напруги на максимальному навантаженні в кінці лінії не повинно перевищувати 5%. Проведемо розрахунок падіння напруги з жилами 25 мм<sup>2</sup>.

Розрахуємо опір 350 м проводу СІП перетином 25 мм<sup>2</sup>.

Питомий опір алюмінію в СІП - +0,0000000287 ом · м.

Перетин дроту - 0,000025 мм<sup>2</sup>.

Питомий опір проводу 25 мм<sup>2</sup>. = +0,0000000287 / 0,000025 = 0,001148 ом ·

м

Опір 350 метрів проводу перетином 25 мм<sup>2</sup>.. = 0,001148 \* 350 = 0,4018 ом

Проведемо розрахунок опору навантаження 24 000 Вт:

Виведемо зручну для розрахунку формулу.

$$P = U \cdot I \cdot 0,95 \quad (2.5)$$

звідси

$$P = U \cdot (U / R) \cdot 0,95$$

$$P = U \cdot U \cdot 0,95 / R$$

$$R = U \cdot U \cdot 0,95 / P$$

Підставляємо в останню формулу значення, розрахуємо опір навантаження:

$$230 \text{ В} \cdot 230 \text{ В} \cdot 0,95 / 24000 \text{ Вт} = 2,094 \text{ ом}$$

Проводимо розрахунок повного опору всього ланцюга, склавши обидва отриманих вище опору:

$$0,4018 \text{ ом} + 2,094 \text{ ом} = 2,4958 \text{ ом}$$

Розрахуємо максимальний струм в проводі, який може виникнути, виходячи з повного опору кола:

$$230 \text{ В} / 2,4958 \text{ ом} = 92,1564 \text{ А}$$

Розрахуємо падіння напруги в мережі, перемноживши максимально можливий струм і опір дроти:

$$92,1564 \text{ A} \cdot 0,4018 \text{ ом} = 37 \text{ В}$$

Падіння напруги в проводі буде складати 37 вольт – тобто 16% від вихідної напруги 230 вольт, що значно перевищує допустимих 5%. Замість 230 вольт на кінці лінії при повному навантаженні будемо мати лише  $230 - 37 = 193$  вольта замість допустимих  $230 - 5\% = 218,5$ . Тому вибраний попередньо перетин проводів потрібно збільшити. Тому вибираємо перетин жил проводів  $95 \text{ мм}^2$ . При максимальному навантаженні на кінці лінії такий перетин дасть падіння напруги всього 10,8 В, що відповідає 4,7% від вихідного напруги, що відповідатиме вимогам. Отже, нам, необхідно вибрати провід СИП-2А перетином фазних жил  $95 \text{ мм}^2$ .

Слід відмітити, що при асиметрії на фази збільшується струм в нульовому проводі, тобто опір теж починає грати роль, і його слід включити в розрахунок (наприклад, збільшити розрахункову довжину проводу в півтора рази). При великих однофазних навантаженнях виникає перекіс фаз на самому трансформаторі, тоді напруга на навантажених фазах падає ще більше, а на ненавантажених - зростає. Тому краще виконувати симетрування навантажень, включати електроспоживачі в різні фази.

Таким чином розрахунок однофазного лінії проводиться аналогічно трифазної, тільки потужність споживачів не потрібно ділити на 3 фази і потрібно вказати подвійну довжину мережі, так як в однофазної лінії нульова жила навантажена однаково з фазною.

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

Поліська зона має сильну грозову активність. Тому потрібно обов'язково вживати заходів для захисту повітряних ліній від прямих ударів блискавки. Крім ПЛ загроза ударів блискавки існує для районних ТП, КТП та різних будівель та споруд. Для захисту від прямих ударів блискавки використовують блискавковідводи, які можуть бути стрижньовими, тросовими (антенними) та сітчастими, застосовуватись окремо або групою. Грозовідводи складаються з таких елементів: блискавкоприймача, струмовідводу, заземлювача та щогли, які допомагають захистити від прямих ударів блискавки.

Одиночний стрижньовий блискавковідвід дає можливість захистити малі та середні об'єкти від удару блискавки

Метод розрахунку одиночного стрижньового блискавковідводу.

Горизонтальний переріз зони захисту на висоті споруди  $h_x$  зображує коло радіусом  $r_x$ , яке називається *радіусом захисту*.

При одиночному стрижньовому блискавковідводі висотою менша 60 м радіус захисту визначають за такими співвідношеннями:

$$r_x = 1,5(h - 1,25h_x); \quad (2.6)$$

при  $0 \leq h_x \leq \frac{2}{3}h$ ,

$$r_x = 0,75(h - h_x); \quad (2.7)$$

при  $\frac{2}{3}h \leq h_x \leq h$ .

Розглянемо варіанти розрахункових випадків ураження електричних ліній з тросами блискавковідводами (рис. 2.1), це може бути попадання блискавки в провід (зона 1), у вершину опори (зона 2), в трос (зона 3), поблизу лінії (зона 4).



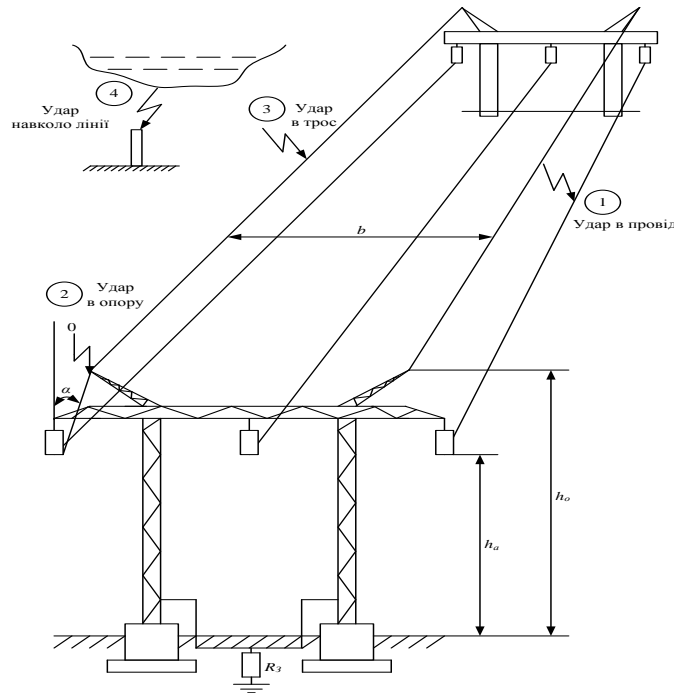


Рис. 2.1. Розрахункові випадки ураження лінії з тросами блискавкою:

**Приклад** Визначити заземлюючий пристрій грозозахисту для опори повітряної лінії 110 кВ із залізобетонними опорами.

**Розв'язок.** Згідно вимог ПУЕ заземлюючий пристрій, повітряної лінії повинен забезпечувати необхідний опір заземлення. Для повітряної лінії 110 кВ із залізобетонними опорами опір заземлюючого пристрою згідно вимог повинен бути не більшим  $R_3 = 15$  Ом, при питомому еквівалентному опорі ґрунту від 100 до 500 Ом/м. При природному заземненні опори  $R$  розраховуємо за формулою (8.8 а):

$$R = 1,73 \frac{\rho}{2\pi l_0} \ln l_0 r^{-1} = 1,73 \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \ln \frac{3}{0,325} = 11,022 \text{ Ом.}$$

Опір заземлення буде становити  $R = 1,022$  Ом тобто відповідає нормам, тому обираємо конструкцію ЗП опори, опір якого не перевищує 15 Ом.

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

При застосуванні одиночного стрижньового струмоприймача можна використовувати сталевий дріт діаметром 6 мм [5].

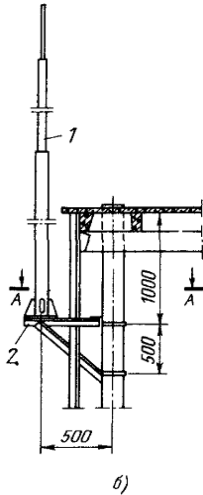


Рис. 2.2. Конструкції кріплення блискавкоприймачів типу СМ на стійці опори:

б – на залізобетонній стійці опори;

1 – стрижньовий блискавкоприймач типу СМ;

2 – конструкція для кріплення блискавко приймача

**Приклад.** Визначимо висоту одиночного стрижньового блискавковідводу для порталльної опори вводу повітряної лінії довжиною 3,5 м та шириною зони захисту 7,5 м. Висота зони захисту  $h_x = 2,5$  м.

**Розв'язок.** Визначимо радіус зони  $r_x$  за формулою

$$r_x = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} + 1, \quad (2.8)$$

де  $a$  та  $b$  – ширина та довжина відповідно;

$$r_x = \sqrt{\left(\frac{3,5}{2}\right)^2 + \left(\frac{7,5}{2}\right)^2} + 1 = \sqrt{3,0625 + 14,0625} + 1 = \sqrt{18,125} \approx 4,3 \text{ м.}$$

Підставимо значення  $h_x$  та  $r_x$  у формулу і отримаємо:

$$4,3 = 1,5(h - 1,25 \cdot 2,5) = 1,5h - 4,6875; \quad h = \frac{4,3 + 4,6875}{1,5} = 5,99 \approx 6 \text{ м.}$$

Отже висота одиночного стрижньового блискавковідводу для порталльної опори вводу повітряної лінії буде 6 м.

Дослідження, розрахунки та аналіз кліматичних навантажень на конструкції ПЛ знаводяться в додатках.

### **Висновки до другого розділу**

Проведено дослідження методів розрахунків конструкцій для проектування повітряних ліній. Досліджено, що Оптимальні схеми конфігурації при розвитку електричних мереж вибираються на основі трьох методів дослідження: методом динамічного програмування; симплекс-методом; методом транспортної задачі. Користуючись цими трьома методами за мінімальними приведеними затратами можна визначити оптимальну схему електропостачання споживачів.

Проаналізовано що до вибору площі поперечного перерізу жил проводів на прикладі провідників СП.

Проведено дослідження розрахункових випадків ураження електричної лінії з тросами блискавкою.

### РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ МОНТАЖУ ПЛІ

Монтаж повітряної лінії (ПЛ) з самонесучими ізольованими проводами (СІП) виконується строго відповідно до проекту, спеціально розробленим для даної конкретної повітряної лінії і з урахуванням ПУЕ, розробленими в ВАТ "РОСЕП" і ВАТ "Фірма" ОРГРЕС "і затвердженими РАО" ЄЕС Росії ".

Примітка: Далі будемо використовувати для позначення ВЛ з СІП прийняте в літературі скорочення - ВЛІ (повітряна лінія з ізольованими проводами).

Перед виконанням монтажу ВЛІ необхідно переконатися в наявності в вихідному проекті таких даних, як стріли провисання ВЛ в кожному прольоті і зусилля натягу проводу на кожній дільниці або секції ВЛІ. якщо таких даних в проекті немає, то можна скористатися методикою розрахунку, яку рекомендує компанія "NEXANS" для свого проводу "Торсада" .

В цілому для типового ділянки ПЛ з СІП можна виділити наступні етапи виконання монтажних робіт:

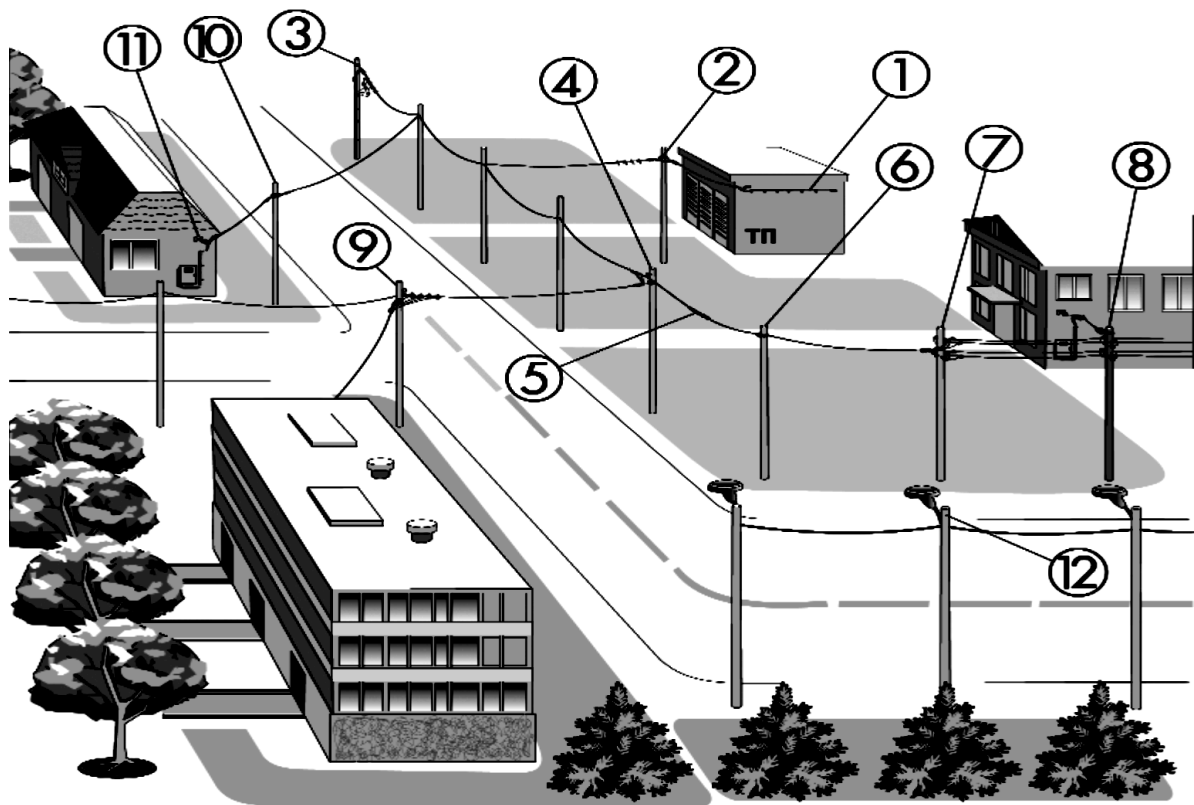
- 1 Установка опор
- 2 Монтаж кріпильних пристроїв
- 3 Розмотування СІП
- 4 Натяг ВЛІ і її анкерні закріплення
- 5 Заміна роликів на проміжні затиски
- 6 Облаштування лінійних відгалужень від магістралі
- 7 Захист ВЛІ від перенапруг. заземлення
- 8 Захист ВЛІ від коротких замикань
- 9 Облаштування вуличних світильників
- 10 Облаштування трансформаторних вводів
- 11 Застосування ізольованих з'єднувачів

### 3.1 Улаштування повітряних ліній СПП

Повітряні лінії електропередач слід проектувати так, щоб опори не знаходилися на дорогах і тротуарах [2, 6].

СПП також дозволяється прокладати по стінах будинків і споруд з урахуванням вимог ПУЕ пункту 2.4.55 та вимог глави 2.1.

Схема умовної мережі із застосуванням СПП



1. Введення магістральної ПЛ в ТП з прокладкою дроти по стіні
2. Анкерне закріплення СПП на кінцевій опорі
3. Анкерне закріплення з приєднанням СПП до підземного кабелю
4. Відгалуження магістралі ПЛ
5. З'єднання СПП в прольоті
6. Кріплення магістралі СПП на проміжній опорі кутовий
7. Приєднання ПЛ до неізолюваної лінії
8. Абонентське відгалуження від лінії неізолюваної
9. Кріплення на проміжній опорі з відгалуженням до абонента
10. Анкерне кріплення абонентської лінії на опорі
11. Введення в будівлю (підведення до лічильника)

### **Самонесучі ізольовані проводи**

Самонесучі ізольовані проводи (СІП), на відміну від проводів неізольованих, мають поліетиленову ізоляцію на проводах фаз і, в залежності від модифікації, мають або не мають ізоляцію на несучому нейтральному проводі. Крім того, є різновид СІП без несучого проводу, у якій всі чотири дроти ізольовані. Всі три системи СІП розроблені за кордоном і являються рівноправними, тає як набули широкого використання в багатьох країнах..

Особливості цих систем СІП наступні:

**СІП-1, СІП-2.** Система СІП з голою несучої нейтраллю, звана також "Фінської системою", складається з 3-х ізольованих алюмінієвих жили і 1 несучої нейтралі з алюмінієвого сплаву без ізоляції. Є вітчизняна модифікація, у якій несуча нейтраль виготовлена з сталє-алюмінієвого проводу.

Механічна міцність і перетин 3-х фаз однакові. Провідник нейтралі призначений для підвішування СІП і має високу хутра \ ническом міцність.

При натягу лінії тільки нейтраль несе всю розтягувальну навантаження.

**СІП-1А, СІП-2А.** Система СІП з ізольованою несучої нейтраллю, звана також "Французької системою", складається з 3-х ізольованих алюмінієвих жив і 1 ізольованою несучої нейтралі з алюмінієвого сплаву "Альмелек". Є вітчизняна модифікація, у якій несуча нейтраль виготовлена з сталє-алюмінієвого проводу.

Механічна міцність і перетин 3-х фаз однакові. Провідник нейтралі призначений для підвішування СІП і має високу механічну міцність.

При натягу лінії тільки нейтраль несе всю розтягувальну навантаження.

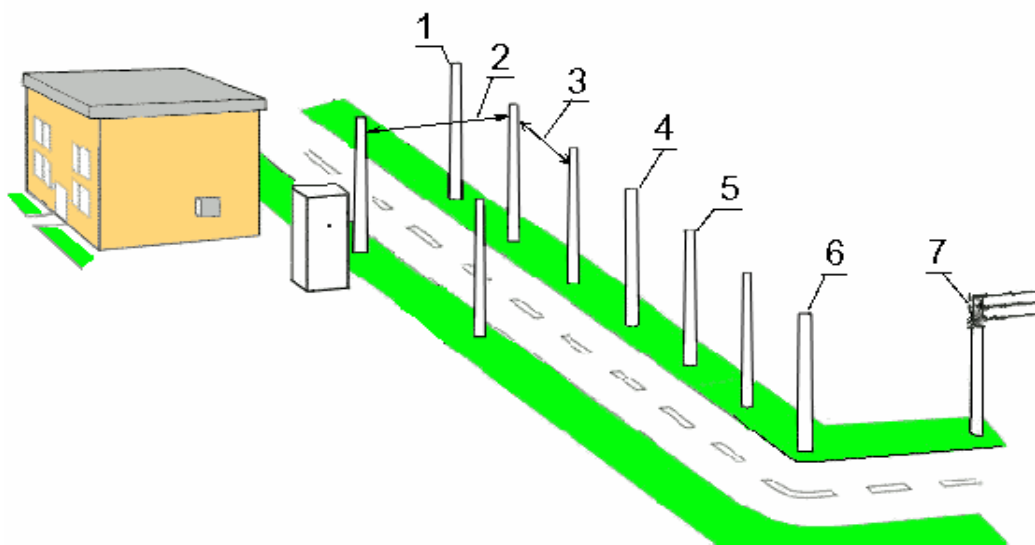
**СІП-4.** Самонесуча система СІП складається з 4-х ізольованих алюмінієвих жили. Механічна міцність і перетин всіх 4-х жив однакові. При натягу лінії всі 4 жили, мають такі самі навантаження. Лінії абонентів для всіх 3-х систем проводів застосовуються зазвичай також самонесучого типу і складаються з 2-х або 4-х скручених ізольованих алюмінієвих жив перетином 16, 25,35 мм<sup>2</sup>.

## Установка опор

Монтаж ВЛІ починається з установки опор.

Опори встановлюються згідно з проектом на ВЛІ і монтаж реалізується на основі залізобетонних стійок:

Для ВЛІ слід враховувати кліматичні особливості експлуатації в вітчизняних розподільних мережах: в зимовий період дроти лінії можуть поважчати в кілька разів за рахунок почергових природніх факторів.



- Кінцева (поз.1)
- відгалужувальні (поз.4),
- Кутова (проміжна або анкерная) (поз.6).

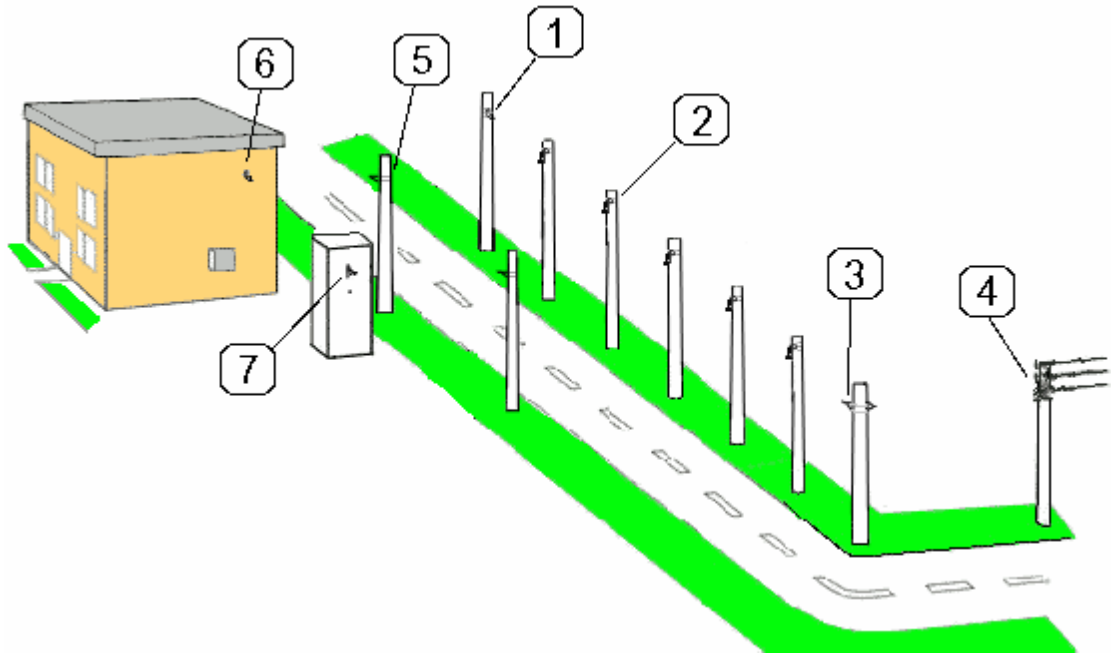
Довжина прольоту між опорами :

- Між двома сусідніми опорами лінії (поз.3),
- Відгалуження для введення (поз.2).

## Монтаж кріпильних пристроїв

Технологія монтажу кріплення проводів вимагає установку кріпильних конструкцій на опорах, стінах ,будівельних конструкцій при допомозі яких кріплять самонесучі ізольовані провідники.

Конструкції для кожного місця закріплення додатково комплектуються додатковими виробами відповідно специфікації проекту.



Кронштейни на опорах кріпляться з використанням стрічки з нержавіючої сталі (типу ЛМ 20 або F2007) або з допомогою болтів, якщо це передбачено конструкцією опори.

Міцність вузла кріплення кронштейна до опори залежить від варіанту його реалізації.

Кріпильні пристрої допомагають установлювати і зольовані затискачі для кріплення СИП до опори або до фасаду будівлі:

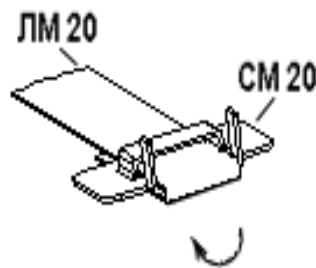
- Кронштейн анкерний (поз.1, 3, 4 і 5),
- Кронштейн підтримуючий (поз.2),
- Кронштейн на фасаді або на стіні (поз.6 і 7),
- Пристрій підтримує фасадне,
- Стрічковий вузол кріплення:
- Болт кріпильний з гайкою і шайбою для фасадів і стовпів.



## Стрічковий вузол кріплення

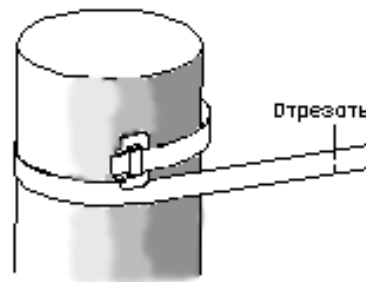
Стрічковий вузол кріплення кронштейна для СПП до опори виконується при допомозі стрічки кінець якої закріплюються за допомогою скріпи монтажної типу СМ 20 (або А200) із застосуванням спеціального інструменту - лентонатяжителя.

Фіксація початку стрічки



Заправка кронштейна **СА1500**  
і натяжка стрічки до упору

Відрізування потрібної довжини



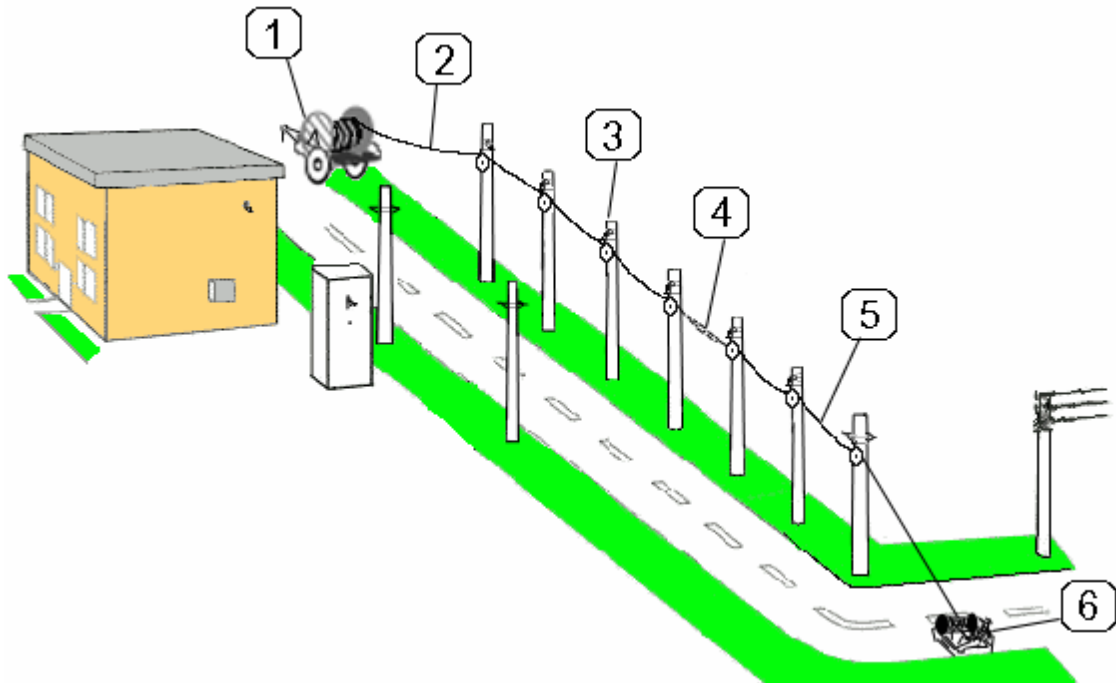
Заправка кронштейна проміжного  
і натяжка стрічки до упору

Існує ще один, більш раціональний спосіб монтажу стрічкового вузла кріплення, в якому стрічка попередньо не відрізана, але дає економію до 3 см стрічки на одному хомуті. Ця економія може виявитися суттєвою, особливо при великих обсягах роботи. Так, при монтажі вузлів із загальним расходунок стрічки в 1000 м можна заощадити 30 м дорогої стрічки з нержавіючої сталі.

## Розмотування СПП

Розмотування СПП (поз.2) здійснюється з барабана (поз.1), який встановлений на платформі мобільного візка, з використанням механічної лебідки (поз.6), що встановлюється на протилежному кінці повітряної мережі. При цьому на кронштейнах опор встановлюють тимчасово допоміжні ролики (поз.3), які покращують монтаж (протягування) СПП по опорах з застосуванням допоміжного протяжного тросу. Спочатку трос пртягується по ділянці монтажу, піднімається на опори (поз.5), і вкладається в протяжні

ролики, після чого трос кріпиться до кінця СІП при допомозі пристрою "вертлюг-монтажні панчохи".



- за допомогою механічної лебідки СІП простягається через всі ролики і розмотування припиняється, коли провід буде протягнутий через останній ролик то кінець провдду трохи опуститься в бік лебідки.

### **Рекомендації і застереження:**

1. Застосування розкочувальних роликів обов'язково, оскільки, маючи робочі поверхні, покриті пластиком, вони запобігають пошкодження ізоляції віддають перевагу катанню проводів.

Неприпустима розмотування СІП по землі дозволяється тільки по роликах при протяжці тросом. В разі останнього при монтажі проколюють затискачів електричне опір контакту між зубами затиску і провідниками СІП буде більше розрахункового, а це призведе до додаткових електричним втрат і до передчасного виходу з ладу ВЛІ

2. Обов'язкове застосування вертлюга при розмотування СІП запобігає мимовільне розкручування проводів в джгуті.

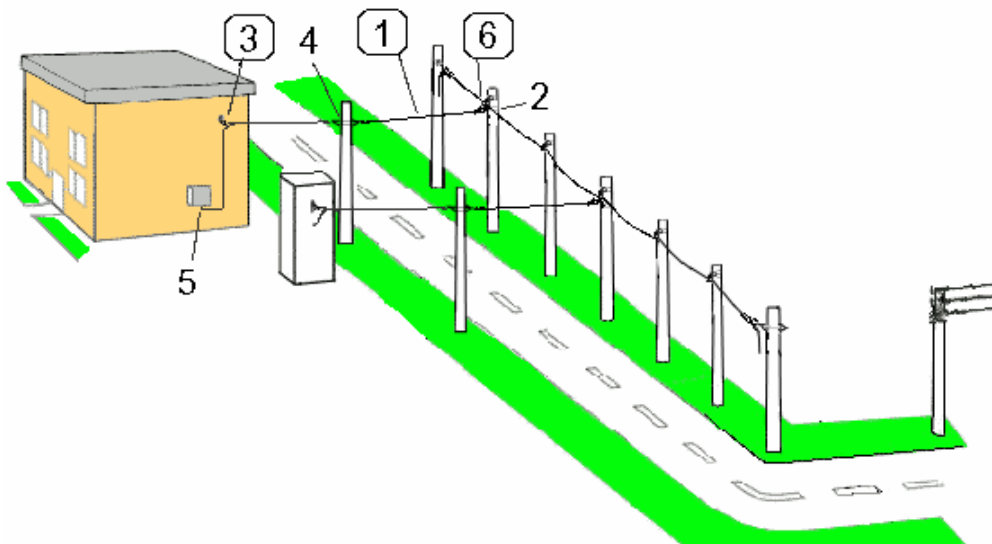
Не рекомендується виконувати монтаж СИП без застосування пристрою "вертлюг-монтажні панчохи" так як в окремих місцях між провідниками можуть з'явитися конструктивні порушення в яких при не розрахункових механічних впливах на ВЛІ (сильний вітер, падіння дерева і т.д.) виникає небезпека обриву окремого проводу.

### Облаштування лінійних відгалужень від магістралі

Від магістралі ПЛІ у вигляді лінійного відгалуження або відгалуження від ПЛІ до вводу здійснюються наступним чином:

- Розмотування СИП для лінії відгалуження,
- Закріплення проводів на початку ответвительной лінії,
- Натяг ответвительной лінії і закріплення її кінця,
- Закріплення ответвительной лінії на опорах,
- Підключення ответвительной лінії до споживача,
- Підключення ответвительной лінії до магістральної ВЛІ

**Монтаж СИП для лінії відгалуження (поз.1)** виконується так як монтаж магістральної ВЛІ. Виключення бувають коли повно виконати спуски, підключення споживача або абонента. При цьому використовується система СИП без несучого проводу, що складається з 2-х або з 4-х ізольованих проводів.



Проводи на початку відгалужень (поз. 2) кріпляться за допомогою комплекту анкерного кріплення: затиску і кронштейна.

Для СІП ответвительной лінії, що має несучий ізольований нейтральний провід, використовується комплект типу ЕА тисячі, ЕА 1500, ЕА 2000, ЕА 95-2000. За допомогою сталевого канатика анкерний затискач кріпиться до анкерного кронштейну СА 1500, а потім натягнутий нейтральний провід заклинюється двома клинами анкерного затискача.

Ящо СІП складається з 2-х або з 4-х ізольованих несучихпроводів необхідно застосовувати анкерні затискачі для проводів абонентів типу HEL-5505, РА 25x100. За аналогією з затискачем РА 1500 анкерні затискачі для проводів абонентів кріпляться до анкерного кронштейну СА 1500, попередньо закріпленому на ответвительной опорі, за допомогою металевої дужки (дротяної у РА 25x100 і пластинчастої у HEL-5505).

Підключення лінії відгалуження до магістральної ПЛІ виконується за допомогою проколюючихзатискачів.

### **Висновки до третього розділу**

У третьому розділі було проведено дослідження та аналіз технології монтажу самонесучих ізольованих проводів. Улаштування повітряних ліній СІП, загальні вимоги, розглянуто технології монтажу ПЛІ, послідовність виконання технологічних операції по монтажу.

Досліджено та проаналізовано на прикладах захист повітряних ліній від атмосферних перенапруг, грозозахист повітряних ліній від ударів блискавки.

## ВИСНОВКИ

У роботі досліджено методи розрахунку конструкцій повітряних ліній електропередач.

Дослідження показують, що в системах електропостачання повітряних лініях 0,4 кВ використовують неізольовані проводи і самонесучі ізольовані проводи (СП).

Наведені та проаналізовані характеристики опор, ізоляторів повітряних ліній електропередач.

Проведено дослідження методів розрахунків конструкцій для проектування повітряних ліній. Досліджено, що оптимальні схеми конфігурації при розвитку електричних мереж вибираються на основі трьох методів дослідження: методом динамічного програмування; симплекс-методом; методом транспортної задачі. Користуючись цими трьома методами за мінімальними приведеними затратами визначають оптимальну схему електропостачання споживачів.

Проаналізовано що до вибору площі поперечного перерізу жил проводів на прикладі провідників СП.

Проведено дослідження розрахункових випадків ураження електричної лінії з тросами блискавкою.

Досліджено технології монтажу самонесучих ізольованих проводів, улаштування повітряних ліній СП, загальні вимоги, розглянуто технології монтажу ПЛІ, послідовність виконання технологічних операцій по монтажу.

Досліджено та проаналізовано на прикладах захист повітряних ліній від атмосферних перенапруг, грозозахист повітряних ліній від ударів блискавки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 . ГОСТ 839-80. Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия;
- 2 ГКД 34.20.175-2002 Мінпаливенерго України. Вимоги до проектування повітряних ліній електропередачі напругою до 1 кВ з самоутримними ізолюваними проводами;
3. Олійник В.С. Довідник сільського електрика. К., Урожай, 1969. 1.
- 4 . Розрахунок опор та проводів повітряних ліній електропередавання згідно з вимогами глав 2.4 і 2.5 ПУЕ: 2006;
5. Шкрабець. Ф. П. Основи електропостачання / Ф. П. Шкрабець. Навчальний посібник. – Д, 2012. 463.
6. Прядко В. А. Конспект лекцій з дисципліни "Монтаж енергообладнання та засобів автоматизації". - Житомир: "ЖНАЕУ ", 2019. - 127 с.
7. Киреев М. И. Монтаж и эксплуатация оборудования станций, подстанций и линий электропередачи. М., «Высшая школа», 1975. – 319 с.
- 8 Самонесущие воздушные провода низких и средних напряжений. «ТФ Кабель-Эней» - К.-2004. 10 с
9. Методичні настанови та завдання до курсового проекту з дисципліни и «Енергозабезпечення та електропостачання сільського господарства» для студентів спеціальності 6.091.900 «Енергетика сільськогосподарського виробництва»/ Укл. Ю. О. Варецький. – Львів: Видавництво Львівського державного аграрного університету, 2004. – 32 с.
10. Каганов И. Л. Курсовое проектирование. Монтаж воздушных линий. М., «Колос», 1975. 95 с.
11. Каганов И. Л. Дипломное проектирование. Проектирование систем электроснабжения. М., «Колос», 1978. 210 с.

12. Претров В. И.. Монтаж воздушных линий. . М., «Высшая школа», 2016. – 240 с.
13. Электротехнический справочник/Под ред. Професора Грудинского. -М.:Энергия, 1995. Т. 1. 775 с.
14. Правила устройства сетей СИП. -Х.: "ИНДУСТРИЯ", 2007.- 416 с.
15. ДНАОП 0.00-1.32-01 Будова будови ПЛЕП. Електрообладнання ме. - К. : ВП "ГРАНМНА", 2018. - 125 с.
16. Презентаційний диск провідникової продукції Одеса 2019. - К. : ЗАО "Одеса кабель" - 2019.
17. Правила технічної експлуатації ПЛЕП. - К. : ДП НТУКЦ "АсЕнерго" - 2020. - 258 с.
18. ДСТУ 2.105 - 95. Загальні вимоги до оформлення документів. По монтажу повітряних мереж.
19. ДБН А. 2.2-1-2003. Проектування. Склад і зміст матеріалів оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві повітряних ліній. Основні положення проектування.
20. ДСТУ ЕМ 50086-1:2004 Системи кабелепроводів для електричних установок. Частина 1. Загальні технічні вимоги.
21. Производство низковольтного электрооборудования. - Александрия: ОАО НПО "ЗТАЛ", 2009. -33 с.
22. Каминский М. Л. Монтаж СИП и исполнение специальных машин промпредприятий / М. Л. Каминский. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 200 с.
23. Конспект лекцій з дисципліни "Монтаж енергетичного обладнання та засобів автоматизації ". - Мелітополь: "ТДАТУ ", 2009. - 180 с.

24. Соколов Б. А. Монтаж электрических сетей / Б. А. Соколов, Н. Б. Соколова. - М. : Энергоатомиздат, 1991. - 592 с.
25. ДБН А. 2.2-3-2004. Проектування. Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації для будівництва систем електропостачання.
26. Електротехническая продукция АсКо УкрЕМ.
27. Пирогов И. С. Монтаж воздушных линий / И. С. Пирогов, М. Б. Зевин. - М. : Энергоатомиздат, 1992. - 2197 с.
28. Електротехническая продукция ИЗК. -К.: "ИЗК Украина ", 2009. -
29. Живов М. С. Електромонтажник по распределительным устройствам промышленных предприятий / М. С. Живов. - М.: Вьюш. пік., 1982. - 247 с.
- 30** Рекомендации по проектированию, монтажу и эксплуатации электроустановок зданий при применении устройств защитного отключения ЛЕП. - М.: Изда-гельство МЗИ, 2001.-120 с.
- 31 Арматура для воздушных изолированных линий низкого напряжения. -К. : ДП "ГЕНЕРИК Украина", 2005. - 35 с.
- 32 Охрана труда: учеб. для студентов вузов / [Князевский Б. А., Долин П. А., Марусова Т. П. и др.] ; под ред. Б. А. Князевского. - [2-е изд., перераб. и доп.]. - М. : Вышш. пік., 1982. -311с.
33. Якобс А. И. Электробезопасность в сельском хозяйстве / А. И. Якобс, А. В. Луковников.-М. : Колос, 1981.-239 с.