

## Лекція 3

(2 години)

### БУДОВА ЗОВНІШНІХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

#### 3.1 Класифікація електричних мереж напругою 0,38...110 кВ

Електричною мережею називають частину електричної системи, що складається із підстанцій і ліній електропередачі.

Електричні мережі можна класифікувати за наступними ознаками:

- за родом струму: постійного або змінного;
- за величиною напруги: мережі до 1000 В і вище 1000 В;
- за функціональним призначенням: живильні та розподільні;
- за конфігурацією: радіальні, магістральні та замкнуті;
- за кількістю центрів (джерел) живлення: одностороннього, двостороннього та багатостороннього (вузлові) живлення;
- за кількістю кіл в лінії: одноколові та двоколові;
- за конструктивним виконанням: внутрішні і зовнішні;
- за районом обслуговування: місцеві та районні.

**Живильною** називається електрична мережа, якою електричну енергію підводять до розподільних пунктів або підстанцій (рисунок 3.1).

**Розподільною** називається електрична мережа, що підводить електроенергію безпосередньо до споживачів або до споживчих трансформаторних підстанцій від розподільних пунктів або підстанцій (рисунок 3.1).

У електричних мережах можна виділити живильні та розподільні лінії, причому одна і та ж сама лінія може одночасно виконувати функцію лінії живлення та розподільної лінії, залежно від того, до якої частини мережі вона відноситься.

**Радіальною** називається електрична мережа, у якій кожний споживач забезпечується електроенергією окремою лінією.

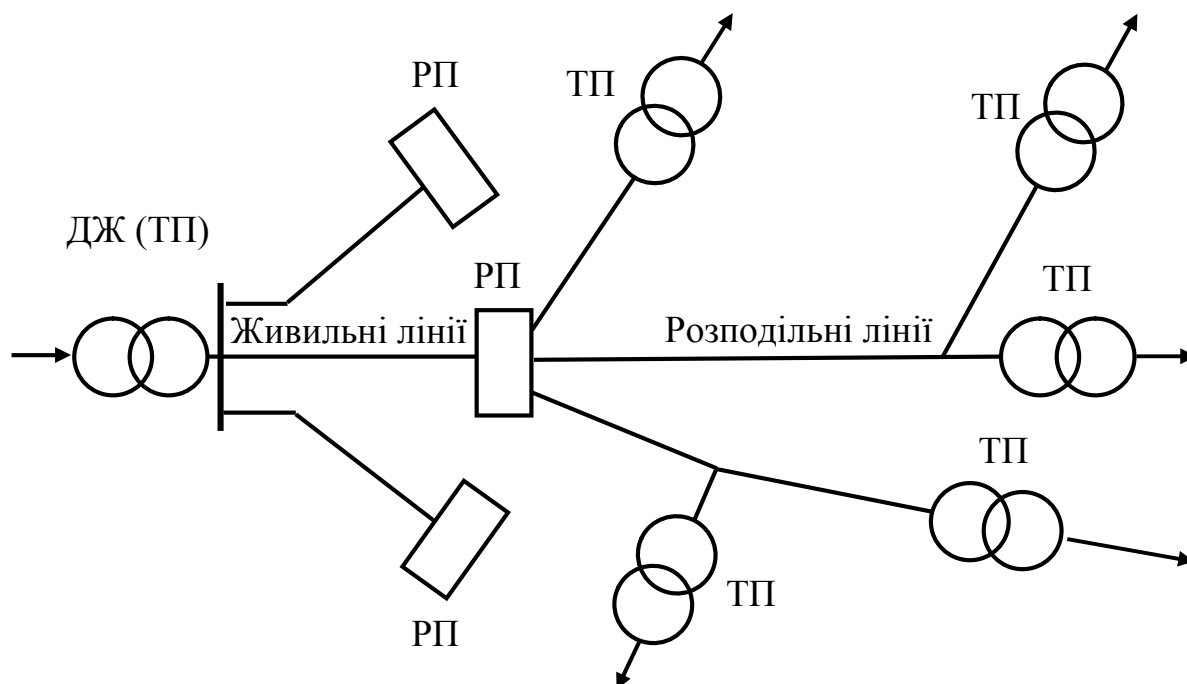


Рисунок 3.1 – Живильні та розподільні електричні мережі  
**Радіальною мережею із розподіленням навантаженням** називається мережа, у якій кожний споживач забезпечується електроенергією окремими лініями (відпайками), що приєднані до однієї, спільної для усіх, головної (магістральної) лінії.

**Магістральною** називається електрична мережа, у якій декілька груп споживачів електричної енергії отримують живлення від джерела по одній лінії (магістралі) через вузлові точки (розподільні пункти або знижувальні підстанції).

**Місцеві мережі** – електричні мережі радіусом до 30 км, з напругою до 35 кВ.

**Районні мережі** – мережі радіусом до 100 км, з напругою 35 кВ і вище.

До електричних мереж висувають такі основні вимоги:

- надійність і безпека в роботі;
- безперебійність в електропостачанні;
- економічність;
- забезпечення необхідної якості електроенергії;
- можливість подальшого розширення без корінної реконструкції.

Для забезпечення перелічених вище вимог електричні мережі необхідно розраховувати:

- за економічними показниками;
- за допустимим струмом і допустимим нагріванням;
- за втратою напруги;
- на механічну міцність.

Відомо, що для передачі електричної енергії на значні відстані з метою зменшення втрат в елементах мережі підвищують напругу (рисунок 3.2).

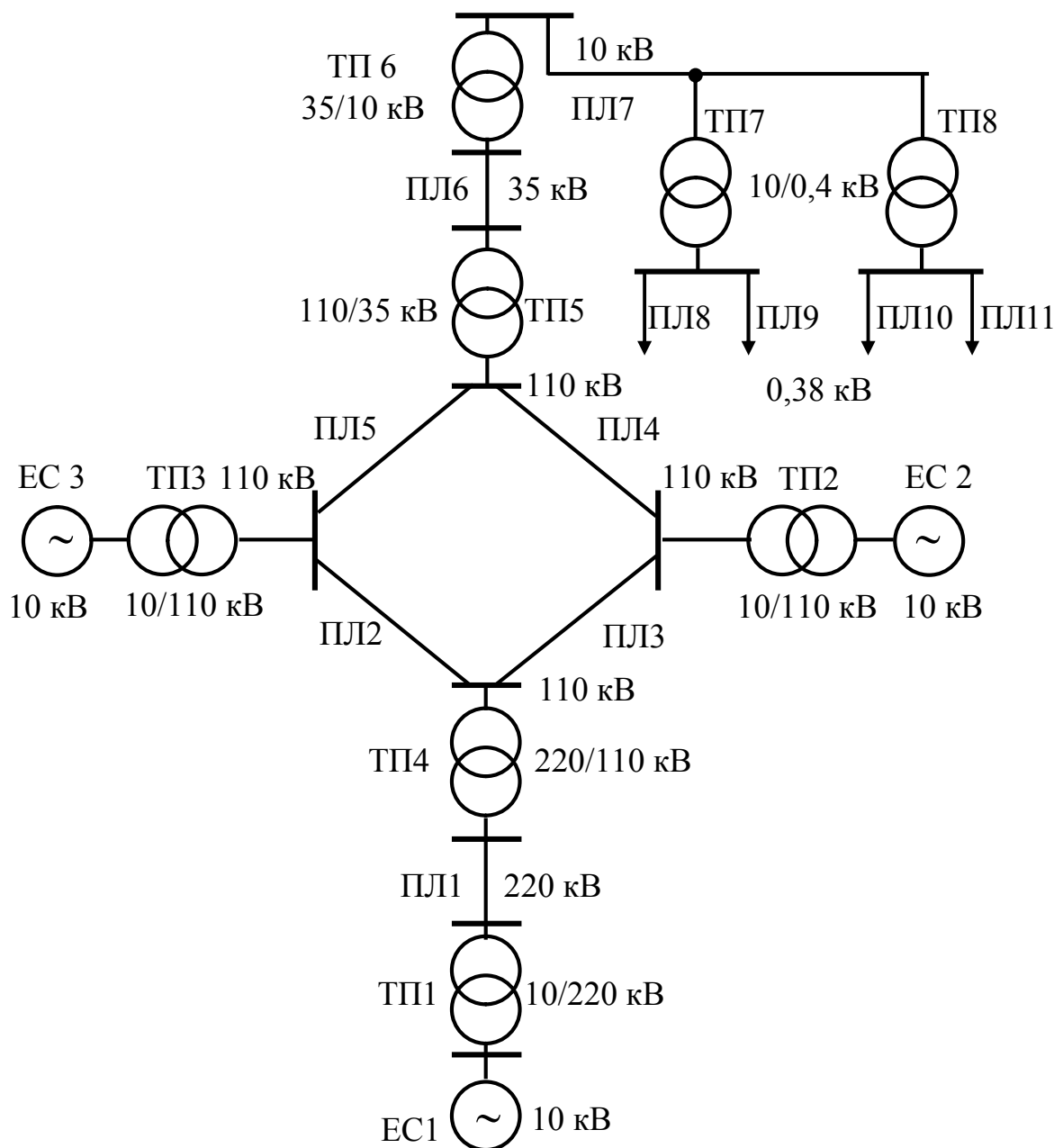
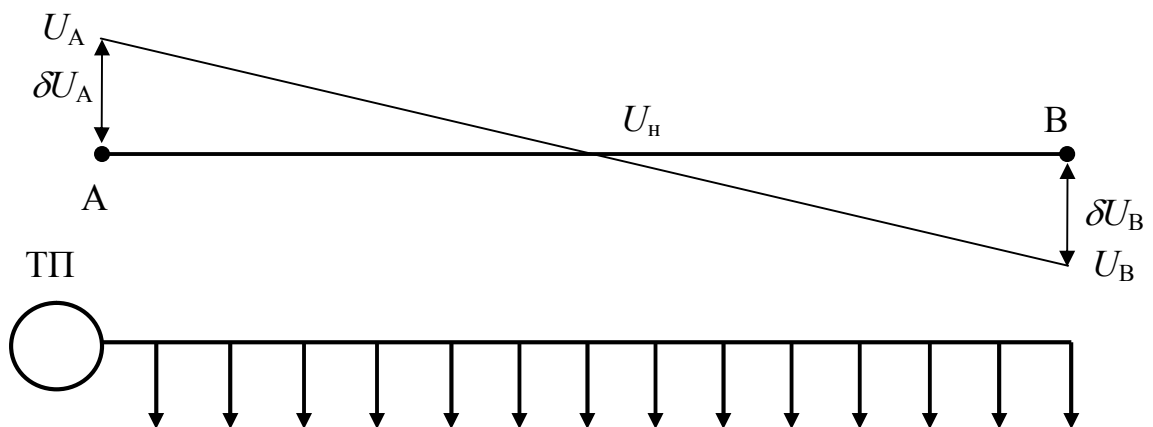


Рисунок 3.2 – Схема електричної частини енергосистеми

Електрична частина сучасної енергосистеми (рисунок 3.2) складається із генераторів електростанцій (ЕС), підвищувальних підстанцій (ТП1...ТП3), знижувальних підстанцій (ТП4...ТП8) та повітряних ліній електропередачі (ПЛ1...ПЛ11). Таким чином, що б передати електроенергію від джерела живлення до споживача її необхідно декілька разів трансформувати.

Як відмічалось в розділі 1, рівень напруги – важливий параметр, що характеризує будь-який елемент електричної установки, у тому числі і електричну мережу. Підтримання необхідних рівнів напруги у споживача та на елементах мережі – одне із основних завдань електропостачання.

Напруга в різних точках мережі неоднакова. На початку лінії електропередачі напруга зазвичай вища, а в кінці – нижча від номінальної. Для прикладу розглянемо лінію електропередачі з рівномірно розподіленим навантаженням (рисунок 3.3).



$\delta U_A, \delta U_B$  – відхилення напруги на початку та в кінці лінії

Рисунок 3.3 – Номінальна та дійсна напруга в точках електричної мережі

Відхиленням напруги називається алгебраїчна різниця між напругою в заданій точці мережі і номінальною напругою, вона змінюється поступово при зміні навантаження на протязі доби, року. Відхилення напруги  $\delta U$  вимірюється у вольтах або відсотках.

$$\delta U_A = U_A - U_H; \quad \delta U_B = U_B - U_H \quad (3.1)$$

За встановленими нормами, в електричних мережах загального призначення відхилення напруги від номінального значення на затискачах у споживача повинно знаходитися в межах  $\pm 5\%$ . Максимально допустиме короткочасне відхилення напруги  $\pm 10\%$ .

Номінальна напруга генераторів приймається на 5 (10)% вищою від номінальної напруги мережі. Номінальна напруга первинних обмоток трансформаторів повинна дорівнювати номінальній напрузі мережі, оскільки вони є приймачами електричної енергії. Номінальна напруга вторинних обмоток трансформаторів приймається на 5 (10) % вищою від номінальної (рисунок 3.4).

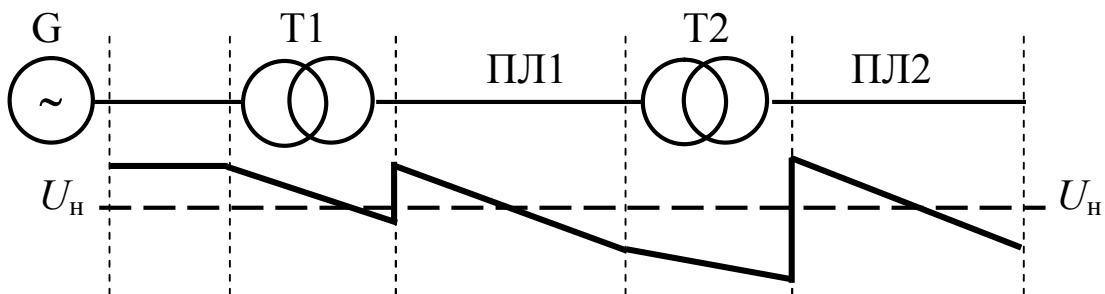


Рисунок 3.4 – Епюра розподілу напруги в електричній мережі з підвищувальним та із знижувальним трансформаторами

Електричні установки поділяють на установки напругою до 1000 В і понад 1000 В. Аналогічно лінії (мережі) поділяють на лінії до 1000 В (низької напруги) та на лінії вище 1000 В (високої напруги).

В Україні встановлені наступні стандартні значення напруги електроустановок змінного струму частотою 50 Гц: 127, 220, 380, 660 В, а також 3, 6, 10, 20, 35, 110, 150, 220, 330, 400, 500, 750 кВ.

За режимом нейтралі електричні мережі поділяють на мережі з ізолюваною та із заземленою нейтраллю.

В електричних мережах напругою 6, 10 та 35 кВ нейтраль трансформатора ізолювана від землі і лінії виконують трипровідними (три фазних проводів). В окремих випадках нейтраль може з'єднуватися із землею, але через значний індуктивний опір (реактор). Як наслідок, такі мережі є мережами з компенсованою нейтраллю (різновид мереж з ізолюваною нейтраллю).

В електричних мережах напругою 110 кВ і вище прокладають лише три фазних проводи, а нейтраль трансформаторів заземлюють. Таким чином отримують трипровідні мережі із глухозаземленою нейтраллю.

Електричні мережі напругою до 1000 В виконують чотири- та пятипровідними із глухозаземленою або з ізольованою нейтраллю, тобто систем *TN-C*, *TN-S*, *TN-C-S*, *TT* та *IT* (рисунок 3.5).

На даний час низьковольтних мережах застосовується напруга 380/220В при чотирипровідній системі із глухозаземленою нейтраллю (*TN-C*) (рисунок 3.5, б та 3.6). Нульовий провід заземляють біля трансформатора і в кінці лінії, а також виконують повторні заземлення.

Літерні позначення типу заземлення системи означають:

1) *перша літера* в позначенні системи – характер типу заземлення джерела живлення:

– *T* (від латин. «*terra*» – земля) – безпосереднє приєднання однієї точки струмоведучих частин джерела живлення (нейтраль) до заземлюючого пристрою;

– *I* (від англ. «*isolated*» – ізольований) – всі струмоведучі частини джерела живлення ізольовані від землі;

2) *друга літера* – характер заземлення відкритих частин електроустановки, що можуть проводити електричний струм:

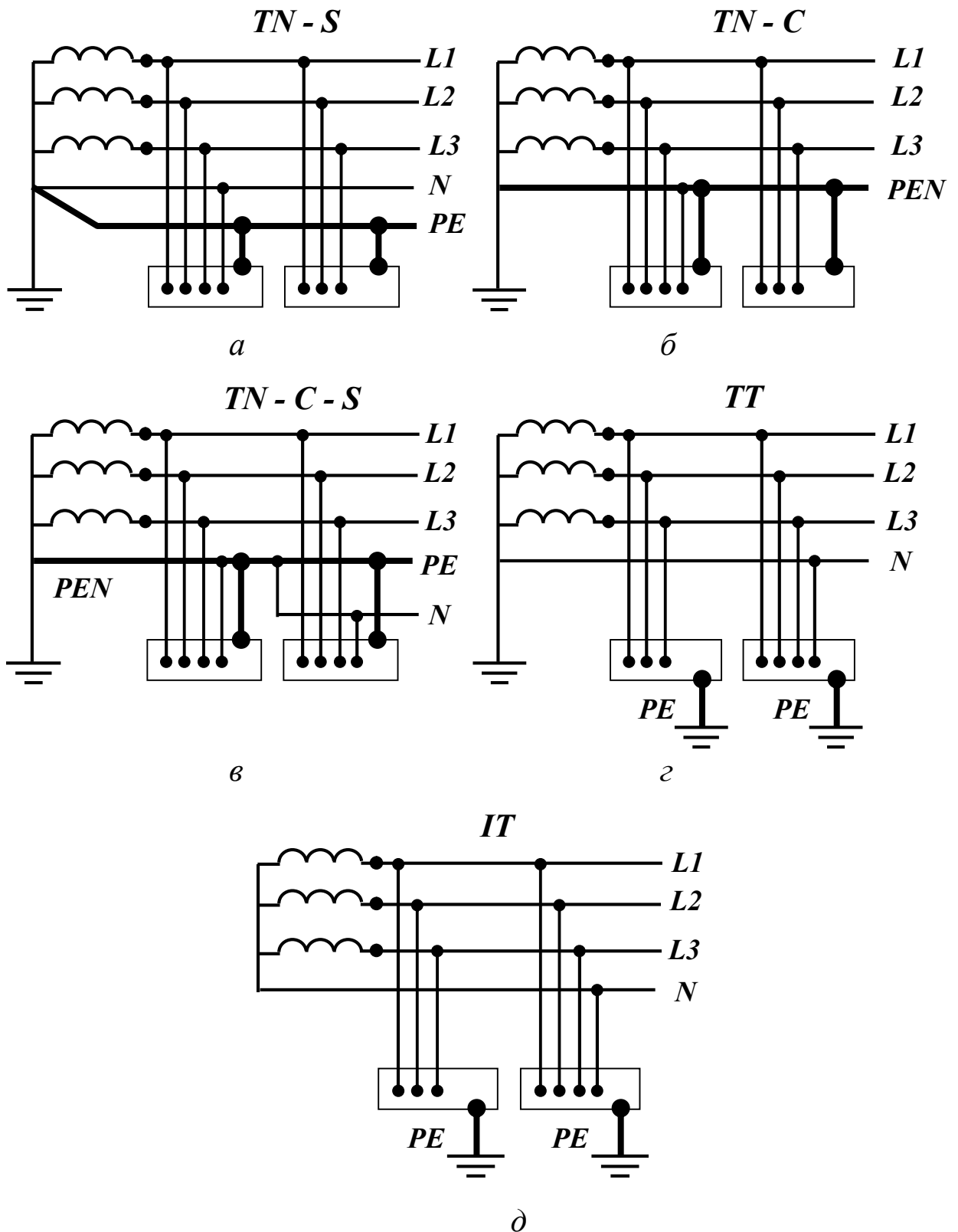
– *N* (від англ. «*neutral*» – нейтраль) – безпосередній зв'язок відкритих провідних частин електроустановки із точкою заземлення джерела живлення;

– *T* (від латин. «*terra*» – земля) – безпосередній зв'язок відкритих провідних частин електроустановки із землею незалежно від характеру зв'язку джерела живлення із землею;

3) *наступні літери* в системі *TN* означають конструкцію нейтрального *N* та захисного *PE*-провідників:

– *S* (від англ. «*separate*» – розділяти) – функції *N*- та *PE*-провідників виконують окремі провідники;

– *C* (від англ. «*combine*» – об'єднувати) – функції *N*- та *PE*-провідників виконує один *PEN*-провідник.



*a* – система *TN-S*; *б* – система *TN-C*; *в* – система *TN-C-S*;  
*г* – система *TT*; *д* – система *IT*

Рисунок 3.5 – Схеми виконання систем електропостачання  
напругою до 1000 В

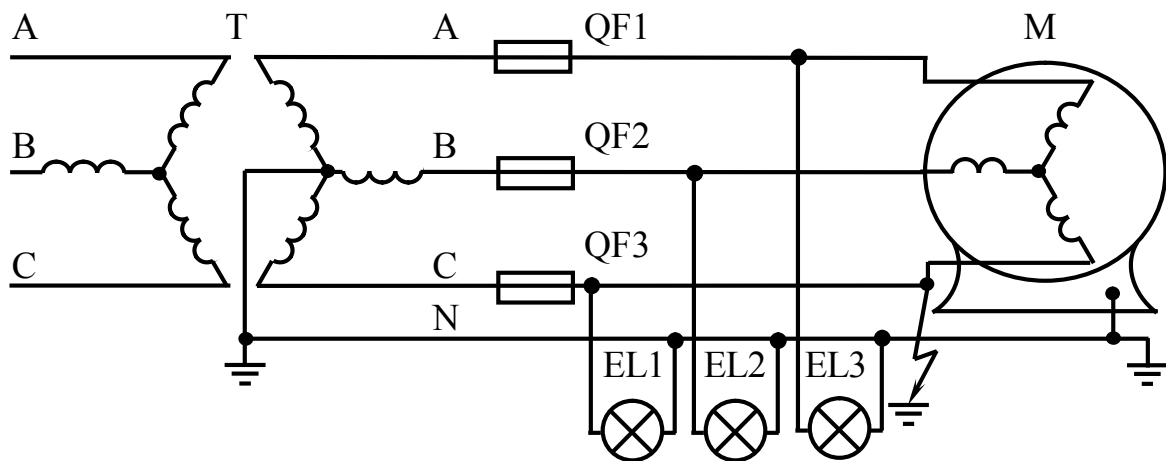


Рисунок 3.6 – Схема чотирипровідної мережі напругою 380/220 В із заземленою нейтраллю

Всі металеві частини електроустановок, які в нормальному режимі не знаходяться під напругою, але можуть опинитися під нею при пошкодженні ізоляції, повинні з'єднуватися з нульовим проводом (рисунок 3.6). При замиканні фазного проводу на землю відбувається однофазне коротке замикання, спрацьовує апарат захисту і відключає пошкоджену лінію від живлення. Така система електропостачання сприяє підвищенню безпеки мереж.

При використанні напруги 380 В знижуються втрати електроенергії у декілька разів (в порівнянні із напругою 220), а також спостерігається економія металу в 2 рази.

Розподільні мережі виконують напругою 6 та 10 кВ. Напругу 6 кВ застосовують лише при розширенні існуючих мереж.

Живильні мережі виконують напругою 35 та 110 кВ. Для трансформації використовують підстанції напругою 10(6)/0,4 кВ та 35/0,4 кВ, а для живлення великих об'єктів – 110/35/10 кВ.

Згідно із ПУЕ, для електропостачання споживачів, що реконструюються або вперше вводяться в експлуатацію, необхідно застосовувати системи електропостачання *TN-S* або *TN-C-S* (рисунок 3.5, а, в). Ці системи мають окремо нейтральний *N* (нульовий) та захисний *PE* провідники. Всі металеві частини електроустановок, які в нормальному режимі не знаходяться під напругою, але можуть опинитися під нею при пошкодженні ізоляції, повинні з'єднуватися із захисним *PE*-провідником.



Нейтральний  $N$ - провідник використовують для створення фазної напруги для живлення однофазних електроприймачів (рисунок 3.5, *a, в*).

### 3.2 Конструкція проводів та кабелів зовнішніх електричних мереж

В електричних мережах в якості матеріалу для струмопровідних жил проводів та кабелів використовують мідь та алюміній. Для проводів повітряних ліній також використовують сталь.

Мідь застосовують для ізолюваних проводів всередині приміщень і лише в окремих випадках (на березі морів, в районі хімічних заводів) для проводів повітряних ліній. Алюміній використовують для виготовлення проводів як для внутрішніх, так і для зовнішніх електричних мереж. Для повітряних ліній електропередачі, на даний час, здебільшого використовують неізолювані (голі) проводи.

До неізолюваних проводів висуваються наступні вимоги:

- висока електрична провідність;
- висока механічна міцність;
- гнучкість та пластичність;
- висока хімічна стійкість;
- низька густина;
- низька вартість.

Електричні та механічні характеристики міді, алюмінію і сталі значно різняться між собою.

**Мідь** має високу електричну провідність. Для твердої (не відпаленої) міді питома провідність  $\gamma = 54 \cdot 10^6$  См/м. Механічна міцність міді також висока. Тимчасовий опір при розриванні твердої міді, тобто зусилля, при якому відбувається руйнування

матеріалу,  $\sigma = 390$  МПа. Густина міді  $\rho = 8940$  кг/м<sup>3</sup>. Мідні проводи добре протистоять хімічній дії різних речовин. Вони відрізняються тим, що, знаходячись в повітрі, покриваються тонкою плівкою оксидів, яка захищає їх від подальшого руйнування.

**Алюміній** володіє меншою провідністю в порівнянні із міддю. Для твердого алюмінію питома провідність  $\gamma = 32 \cdot 10^6$  См/м. Він має нижчі механічні характеристики у порівнянні із міддю. Тимчасовий опір при розриванні  $\sigma = 80 \dots 160$  МПа. Густина алюмінію значно менша, ніж у міді, і становить всього  $\rho = 2700$  кг/м<sup>3</sup> (дуже легкий). Так само як і мідь, алюміній не руйнується на відкритому повітрі, покриваючись плівкою оксидів.

**Сталь** має провідність значно меншу ніж алюміній та мідь, до того ж її провідність залежить від сили змінного струму, що протікає по проводу. При дуже малому струмі провідність сталі  $\gamma = 7,5 \cdot 10^6$  См/м. Механічна міцність сталевих проводів значна. Тимчасовий опір при розриванні сталевих однодротових проводів  $\sigma = 370$  МПа, а багатодрових  $\sigma = 650 \dots 700$  МПа. Густина сталі  $\rho = 7850$  кг/м<sup>3</sup>. На відміну від проводів з кольорових металів сталеві проводи, окислюючись, покриваються іржею яка не захищає їх від подальшого руйнування. Тому їх виготовляють або з оцинкованого дроту, або з присадкою міді.

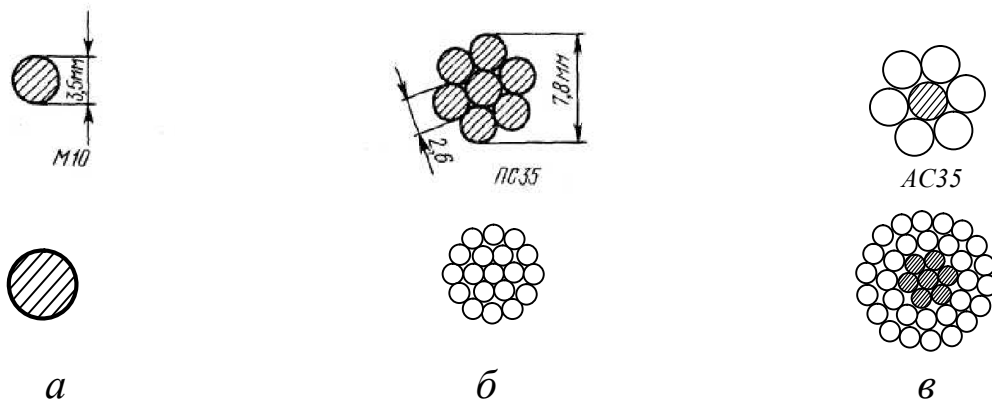
На сьогодні поширеним є застосування сталеалюмінієвих проводів, в яких внутрішні дроти виконані із сталі, а зовнішні – із алюмінію. Сталеві дроти несуть механічне навантаження, алюмінієві – електричне і механічне навантаження.

Застосовуються також біметалічні дроти. У них сталеву жилу електролітично покривають товстим шаром міді або алюмінію, що значно підвищує електропровідність проводу.

Неізольовані проводи для повітряних ліній виконують однодротовими і багатодрововими (рисунок 3.7).

Однодротові проводи виготовляють тільки з міді перерізом до 10 мм<sup>2</sup> і сталі діаметром до 5 мм, але на даний час в повітряних

лініях мідь не використовують. Алюмінієві однодротові проводи для повітряних ліній електропередачі застосовувати не можна.



*a* – однодротовий; *б* – багатодрововий; *в* – сталєалюмінієвий

Рисунок 3.7 – Конструкція неізолюваних проводів

Багатодровові проводи виготовляють із усіх перерахованих вище металів. Їх виконують з дротів однакового перерізу. Число дротів зазвичай дорівнює 7, 12, 19, 37 або 61. При такому числі дротів вони краще за все розташовуються навколо одного центрального дроту. Багатодровові проводи мають більшу механічну міцність і більшу гнучкість в порівнянні з однодротовими, тому саме їх широко застосовують в повітряних електричних мережах.

Неізолювані проводи позначають (маркують) наступним чином: літерами *M*, *A*, *Ап*, *АС*, *АпС* та *ПС* позначають матеріал проводу, а цифрами – його переріз в міліметрах квадратних. Наприклад, *A25* (*Ап25*) означає алюмінієвий провід перерізом  $25 \text{ мм}^2$ , *ПС25* – провід сталевий перерізом  $25 \text{ мм}^2$ .

Провід марки *A* виготовляють із твердого алюмінію марки *АТ*, а провід *Ап* із твердого алюмінію підвищеної міцності *АТп*.

Однодротові сталеві проводи позначають наступним чином: *ПСТ3.5*, *ПСТ4*, *ПСТ5*, де цифри відповідають діаметру проводу в міліметрах.

Сталєалюмінієві проводи в залежності від марки алюмінієвих дротів маркують відповідно *АС* та *АпС*.

Якщо міждротовий простір алюмінієвого або сталєалюмінієвого проводу, за виключенням зовнішньої поверхні, заповнений

нейтральним мастилом підвищеної термостійкості, то до марки проводу додають літери КП (АКП, АпКП, АСКП, АпСКП).

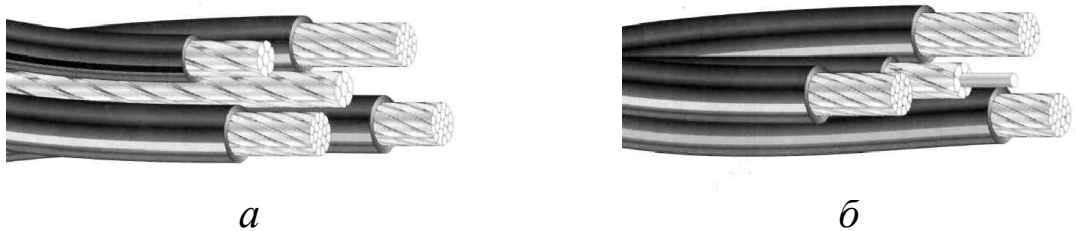
Для маркування проводів, у яких нейтральним мастилом заповнений лише міждротовий простір сталюого осердя, включно із його поверхнею, додають літери КС (АКС, АпКС).

Якщо сталюе осердя окрім нейтрального мастила, ізолюване двома стрічками поліетилентерефталатної плівки, то в позначення проводу додають літеру К ( АСК, АпСК).

З метою підвищення надійності електропостачання при передачі електроенергії на значні відстані та при розподіленні її в силових і освітлювальних мережах використовують ізолювані проводи із алюмінієвими жилами, скручені в загальний джгут із сталюю несучою жилою або без неї, з ізоляцією із зшитого поліетилену. Такі повітряні кабелі мають великі перспективи для застосування в сільських та мережах в приватному секторі міст.

Самоутримні ізолювані проводи (СП) використовують для ліній електропередачі напругою 0,38, 0,66 та 10 кВ при температурі від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . При використанні СП знижуються експлуатаційні витрати, відсутнє утворення ожеледі на проводах, можлива робота лінії при перехрещенні проводів, виключена можливість короткого замикання між проводами.

**СП-1 (СП-1А)** – самоутримний ізолюваний провід, алюмінієві жили ізолювані світлостабілізованим термопластичним поліетиленом, скручені навколо неізолюваного (ізолюваного) сталюалюмінієвого тросу. Провід призначений для повітряних ліній електропередачі напругою до 1 кВ (рисунок 3.8).



*a* – СП-1; *б* – СП-1А

Рисунок 3.8 – Самоутримні ізолювані проводи

**СП-3** – одножильний самоутримний провід із ущільнених дротів із алюмінієвого сплаву із сталним дротом всередині, ізолюваний зшитим світлостабілізованим поліетиленом. СП-3 призначений для повітряних ліній електропередачі напругою 6...20 кВ.

**САПт (САПсш)** – провід із алюмінієвими жилами із ізоляцією із світлостабілізованого термопластичного (т) або зшитого (сш) поліетилену для повітряних ліній напругою 0,38 кВ.

**САСПт (САСПсш)** – провід із алюмінієвими жилами із ізоляцією із світлостабілізованого термопластичного або зшитого поліетилену для повітряних ліній напругою 0,38 кВ із несучою жилою.

**Кабель** – це ізолюваний провід, який поміщений в герметичну свинцеву (алюмінієву, полівінілхлоридну) оболонку. Його можна прокласти у повітрі, в землі та у воді.

Для електричних кабельних ліній характерними є наступні переваги у порівнянні із повітряними:

- більш тривалий термін експлуатації та відсутність опор;
- вища експлуатаційна надійність із-за відсутності впливу таких атмосферних явищ як вітер, ожеледь, грозові перенапруги та ін.;
- відсутність опор та проводів, які захаращують вулиці та поля;
- зниження небезпеки для людей та тварин при виникненні аварії на лінії.

Але кабельні лінії також мають і ряд недоліків, до яких можна віднести наступні:

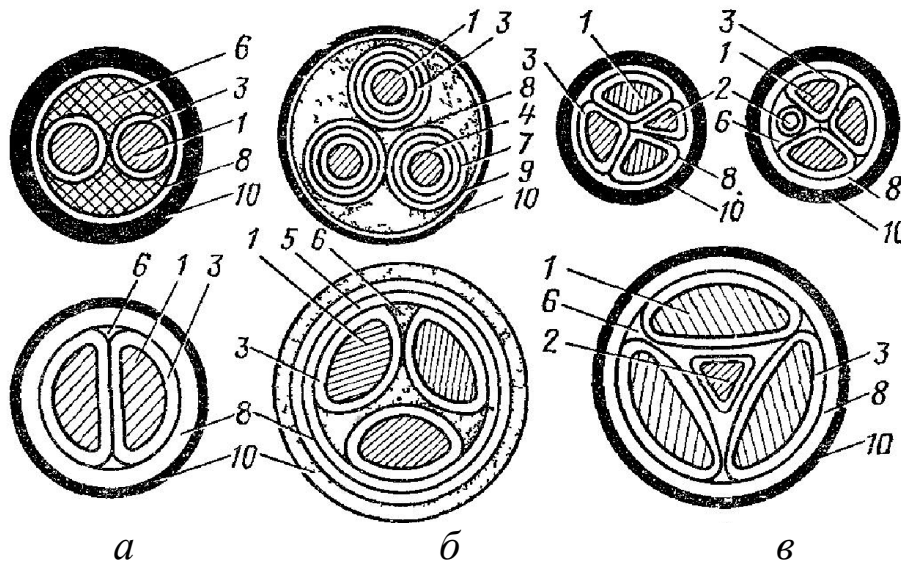
- більш висока вартість мереж у порівнянні із повітряними та необхідність додаткової витрати кольорових металів (свинцю, алюмінію);
- потреба більш кваліфікованих працівників при спорудженні та обслуговуванні кабельних ліній;
- складність визначення пошкодженої ділянки.

Але не дивлячись на перелічені недоліки кабельних ліній, їх необхідно більш широко застосовувати.

Електричні кабелі загального призначення виготовляють із паперовою просоченою або із гумовою ізоляцією. Кабелі із

гумовою ізоляцією прокладають у закритих приміщеннях або застосовують для живлення мобільних пересувних споживачів.

Найбільш поширеними є три- та чотирижильні кабелі із паперовою ізоляцією. Для напруги до 10 кВ їх виготовляють із поясною ізоляцією та в загальній для усіх жил свинцевій оболонці, для напруги 20 та 35 кВ кабелі виготовляють із окремо освинцьованими жилами (рисунок 3.9).



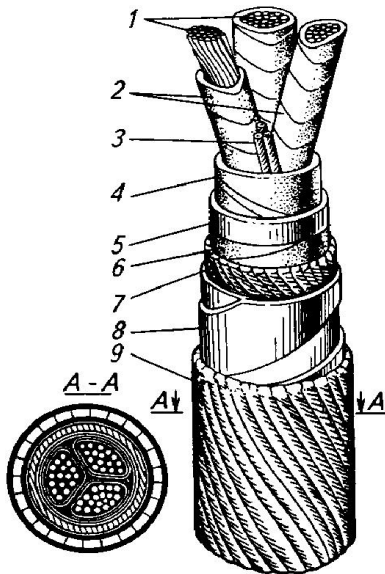
*a* – двожильні кабелі із круглими і сегментними жилами; *б* – трижильні кабелі з окремо освинцьованими жилами та з поясною ізоляцією; *в* – чотирижильні кабелі з нульовою жилою секторної, круглої і трикутної форми; 1 – струмопровідна жила; 2 – нульова жила; 3 – ізоляція жили; 4 – екран на струмопровідній жилі; 5 – поясна ізоляція; 6 – наповнювач; 7 – екран на ізоляції жили; 8 – оболонка; 9 – бронепокриття; 10 – зовнішнє захисне покриття

Рисунок 3.9 – Поперечні перерізи силових кабелів

Кабелі напругою до 6 кВ та перерізом жил до 16 мм<sup>2</sup> виготовляють із круглими жилами. При більш високій напрузі та більших перерізах вони мають секторні жили.

На рисунку 3.10 зображено кабель із секторними жилами на напругу 3...10 кВ. Кожна струмопровідна жила кабелю ізолювана кабельним папером, який просочений масою, до складу якої входять трансформаторне масло та каніфоль. Крім того, всі жили разом ізолювані просоченим кабельним папером

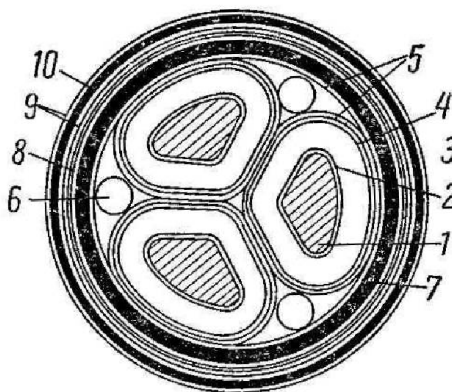
(поясна ізоляція). Для забезпечення герметичності кабелю на поясну ізоляцію накладають свинцеву оболонку без швів. Від механічних пошкоджень кабель захищають бронею із сталеві стрічки. Для захисту від хімічних впливів кабель покривають асфальтованим джутом. Випускають також кабелі, у яких оболонка із свинцю замінена оболонкою із алюмінію або пластмаси.



1 – алюмінієві або мідні струмопровідні жили; 2 і 4 – фазна і поясна паперова ізоляція; 3 – джутові заповнювачі; 5 – свинцева оболонка; 6 – паперова стрічка; 7 – прошарок із джуту; 8 – сталева стрічкова броня; 9 – джутове покриття

Рисунок 3.10 – Конструкція трижильного кабелю напругою 3...10 кВ із секторними жилами і поясною ізоляцією

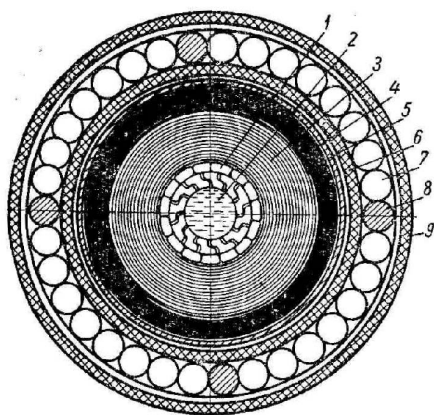
Для напруги 10 і 35 кВ також виготовляють газонаповнені кабелі із спільною свинцевою оболонкою на всі жили (рисунок 3.11). Повітряні включення в ізоляції, по мірі їхнього утворення, заповнюються азотом під тиском. Постійність тиску забезпечується тим, що витік газу компенсуються неперервним підкачуванням.



1 – струмопровідна жила; 2 – екран із напівпровідного паперу; 3 – збіднено-просочена фазна паперова ізоляція; 4 – металізований папір; 5 – тканинна стрічка з дротом; 6 – сталевий гнучкий газопроникний шланг; 7 – свинцева оболонка; 8 – мідна стрічка; 9 – захисний шар; 10 – сталева стрічкова броня і джутовий покрив

Рисунок 3.11 – Газонаповнений кабель напругою 35 кВ

Для напруги 110 кВ і вище кабелі виготовляють одножилйними. Жилу виготовляють із міді. Всередині кабелю розташована стрічка, згорнута у вигляді спіралі. У ній під тиском циркулює кабельне масло, яке забезпечує високоякісну ізоляцію і охолодження кабелю (рисунок 3.12).



1 – струмопровідна жила; 2 – центральний маслопровідний канал; 3 – шар паперової ізоляції; 4 – свинцева оболонка; 5 – латунні стрічки; 6 – антикорозійні бітумні покриви; 7 – сталеві дроти; 8 – мідні дроти; 9 – тканина, просочена бітумом

Рисунок 3.12 – Маслонаповнений кабель середнього тиску напругою 110 кВ

Для сільських умов розроблені полегшені кабелі з алюмінієвими жилами з ізоляцією із поліхлорвінілового пластику, а також з паперовою ізоляцією в алюмінієвій оболонці.

Кабелі маркують так само, як і ізольовані проводи. Наприклад, СБЗ×70 – кабель трижильний з мідними жилами (відсутня літера А), із перерізом жили 70 мм<sup>2</sup>, з паперовою поясною ізоляцією (Б), в свинцевій оболонці (С), броньований стрічкою, із джутовим асфальтованим покриттям.

Коли ізоляцію виготовляють із гуми, в марку кабелю додають літеру Р. Коли замість свинцевої оболонки застосована оболонка з поліхлорвінілу, то в маркуванні кабелю літеру С замінюють літерою В, а якщо з алюмінію, то літерою А.

Кабелі прокладають в приміщеннях і поза ними. Найбільш поширений спосіб прокладки кабелю – безпосередньо в землі, в траншеях. За цієї умови тепловіддача кабелю найкраща і допустиме електричне навантаження значно підвищується.

При прокладанні кабелів на відкритому повітрі, в



спеціальних блоках і каналах обслуговувати їх зручніше, ніж при прокладці в траншеях, але при цьому погіршується тепловіддача.

Кабельні канали застосовують при цеховому та позацеховому прокладанні кабелів. Цей спосіб дозволяє забезпечити огляд і ремонт кабельних ліній в процесі експлуатації, а також прокладати новий або замінити діючий кабель без виконання земляних робіт. Також він забезпечує надійний захист від механічних пошкоджень.

Прокладання кабелів в блоках рекомендується в місцях перетину із залізницею та автомобільними шляхами, в умовах обмеженості простору по трасі (при великій кількості інших підземних комунікацій та споруджень), при вірогідності розливу агресивних рідин в місцях проходження кабельних трас та ін.

### 3.3 Ізолятори повітряних ліній електропередачі

Для безаварійної роботи електричної апаратури слід забезпечити надійну ізоляцію струмопроводів між собою і відносно землі. Стійкість ізоляції визначається пробивною напругою.

Ізолятори, що використовуються для кріплення електричної апаратури поділяють на *опорні* та *прохідні*. Ізолятори, що використовують для кріплення проводів повітряних ліній і шин відкритих розподільних пристроїв (ВРП) називаються *лінійними*.

За призначенням розрізняють *штитові* та *підвісні* лінійні ізолятори. Виготовляють лінійні ізолятори із скла та фарфору. Останнім часом застосовують ізолятори із полімерних матеріалів.

Основне призначення ізоляторів повітряних ліній – ізолювати проводи від опор і інших несучих конструкцій. В більшості випадків ізолятори витримують значні механічні навантаження. Матеріал ізоляторів повинен задовольняти

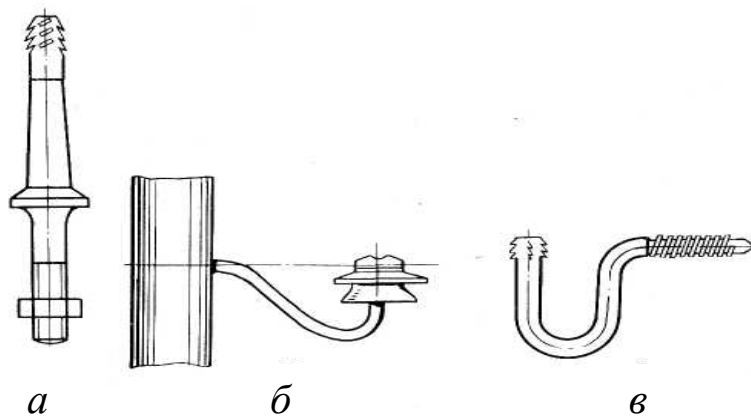
перерахованим вимогам і, крім того, бути пристосованим до роботи на відкритому повітрі під впливом змінних температур, опадів, сонця і т.д. Одним із матеріалів, що задовольняє наведеним вимогам, є фарфор, тому ізолятори повітряних ліній виготовляють головним чином із фарфору.

Ізолятори повітряних ліній всіх типів виготовляють також із скла. Механічна міцність таких ізоляторів вища, а розміри і маса менші, ніж у фарфорових. При електричному пробі скляні ізолятори руйнуються, що значно спрощує контроль за їх станом.

Ізолятори повітряних ліній в залежності від способу кріплення їх на опорі розділяють на штирові та підвісні.

Штирові ізолятори кріплять на штирях (рисунок 3.13) або на крюках і застосовують в електричних мережах при напрузі до 35 кВ включно.

Низьковольтні ізолятори майже завжди кріплять на крюках. Ізолятори високої напруги в лініях з невеликими прольотами і проводами малих і середніх перерізів кріплять також на крюках, а з великими прольотами і перерізами – на штирях, що укріплюються на траверсах (поперечинах).

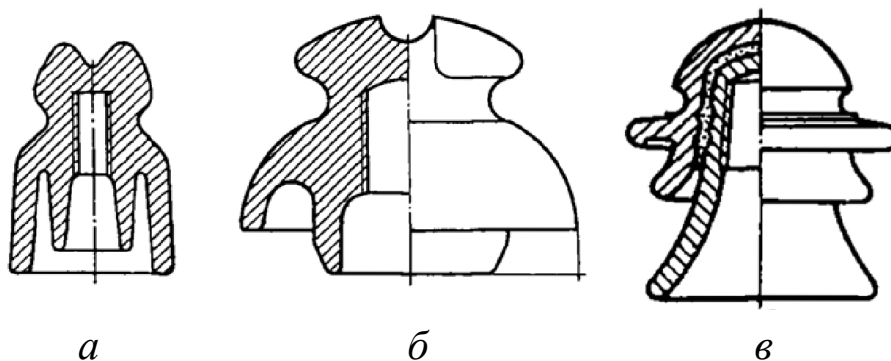


*a* – штир; *б* – крюк високої напруги; *в* – крюк низької напруги

Рисунок 3.13 – Арматура повітряних ліній електропередачі

На лініях низької напруги застосовують штирові ізолятори (рисунок 3.14, *a*) різних типорозмірів: фарфорові ТФ-16, ТФ-20, РФО-16; скляні НС-16, НС-18. На прямих ділянках провід кріплять до головки ізолятора, а на поворотах лінії – до шийки.

Для ліній напругою 10 кВ застосовують штирові ізолятори: фарфорові ШФ10-Г та скляні ШС10-А і ШС10-Г (рисунок 3.14, б). Для напруги 20 і 35 кВ застосовують штирові ізолятори ШД-35, ШЖБ-35, ШФ-20, ШФ-35 (рисунок 3.14, в). Крім того, для ліній напругою 35 кВ також застосовують підвісні ізолятори.



а – типу ТФ; б – типу ШФ10; в – типу ШФ35

Рисунок 3.14 – Штирові ізолятори

На повітряних лініях напругою 35 кВ та вище, а в деяких випадках і 10 кВ, використовують підвісні ізолятори (рисунок 3.15). Ізолятори кріплять один під одним, при цьому утворюється гірлянда ізоляторів. Кількість ізоляторів в гірлянді залежить від напруги лінії та від матеріалу опор. У повітряних лініях електропередачі, що виконані на металевих або залізобетонних опорах, в гірляндах підвісних ізоляторів на 10 кВ повинен бути один ізолятор, на 35 кВ – 3, на 110 кВ – 7, на 150 кВ – 9.

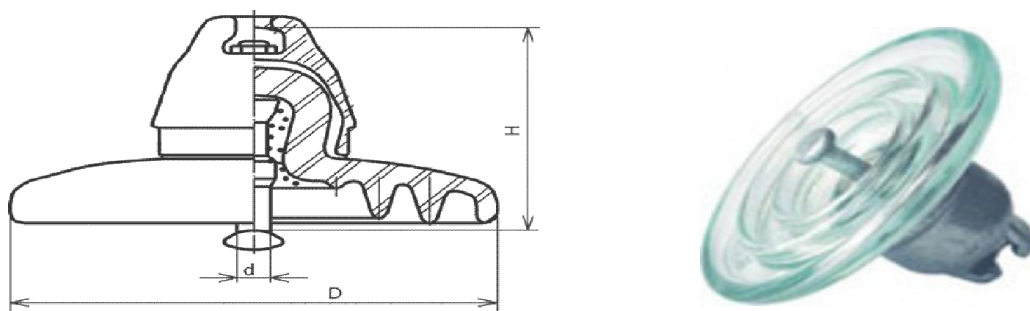
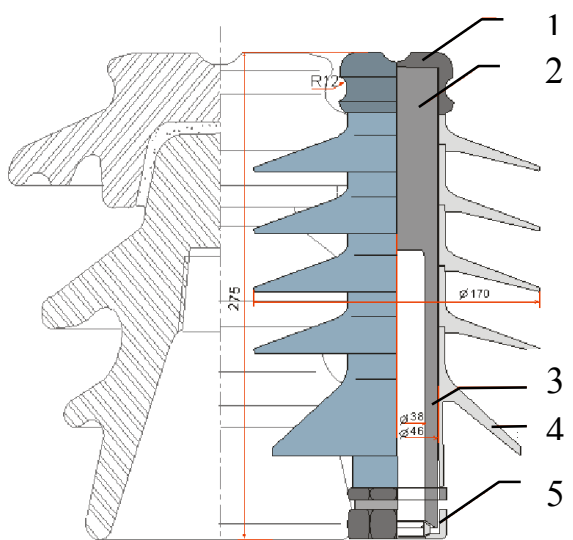


Рисунок 3.15 – Підвісний ізолятор типу ПС

На лініях застосовують підвісні фарфорові ізолятори типу ПФ класів 70, 160, 200 та скляні типу ПС класів 40, 70, 120, 160, 210 та 300. Клас ізолятора відповідає мінімальному руйнівному навантаженню в кілоньютонах (кН).

Останнім часом для ліній електропередач, взамін скляних та фарфорових ізоляторів, застосовують підвісні та штирові ізолятори в полімерному корпусі. Відомі наступні ізолятори в полімерному корпусі: штирові – ШПУ10, ШПУ20, ШПУ35 (рисунок 3.16); підвісні – ЛК70/10, ЛК70/20, ЛК70/35 (рисунок 3.17) та ін. В загальному вигляді такі ізолятори складаються із склопластикового стержня або трубки 2, який покритий ребристою захисною оболонкою із кремнійорганічної гуми 4.



1 – алюмінієвий оголовок для кріплення проводу; 2 – композитний силовий склопластиковий стержень; 3 – композитна силова склопластиковая трубка; 4 – кремнійорганічна захисна оболонка; 5 – система кріплення

Рисунок 3.16 – Штировий ізолятор в полімерному корпусі ШПУ-35 УХЛ1 в порівнянні з ізолятором ШФ-35

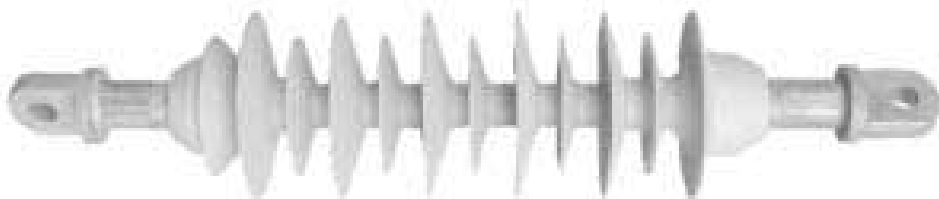


Рисунок 3.17 – Підвісний лінійний ізолятор в полімерному корпусі типу ЛК

### 3.4 Опори повітряних ліній електропередачі

Опори повітряних ліній підтримують проводи на необхідній відстані один від одного, від поверхні землі та від проводів інших ліній.

Для опор ліній застосовують деревину, металоконструкції, залізобетон і комбіновані матеріали (залізобетон і деревину).

Для подовження строку служби (у 2 рази) дерев'яних опор їх просочують антисептиком. Термін служби опор із не просоченої модрина – 15 років, сосни – 5 років.

Найкращим способом антисептування деревини опор є просочення її кам'яновугільним маслом, яке отримують при перегонці сирової кам'яновугільної смоли. На сьогодні значного поширення набули залізобетонні опори.

За призначенням опори повітряних ліній поділяють на проміжні, анкерні, кутові, кінцеві та спеціальні.

Проміжні опори призначені тільки для підтримки проводів, їх не розраховують на одностороннє тяжіння. У разі обриву проводу з одного боку опори, при кріпленні його на штирових ізоляторах, він прослизає у кріпленні і одностороннє тяжіння знижується. При використанні підвісних ізоляторів гірлянда відхиляється і тяжіння також знижується.

Проміжні опори складають переважну більшість (понад 80 %) опор, що використовуються на повітряних лініях.

На анкерних опорах проводи закріплюють жорстко, тому такі опори розраховують на обрив частини проводів. До штирових ізоляторів на анкерних опорах провід кріплять особливо міцно, збільшуючи при необхідності число ізоляторів до двох-трьох. Часто на анкерних опорах замість штирових встановлюють підвісні ізолятори. Завдяки більшій міцності, анкерні опори обмежують руйнування повітряних ліній при виникненні аварій.

Для надійності роботи ліній анкерні опори встановлюють на прямих ділянках не рідше ніж через 5 км, а при товщині стінки ожеледі понад 10 мм – не рідше ніж через 3 км.

Кінцеві опори є різновидом анкерних. Для них одностороннє тяжіння проводів не є аварійним, а основним режимом їх роботи.

Кутові опори встановлюють в місцях де повітряна лінія змінює напрям. При нормальному режимі кутові опори сприймають

одностороннє тяжіння по бісектрисі внутрішнього кута лінії. Кутом повороту лінії вважають кут, який доповнює до  $180^\circ$  внутрішній кут лінії.

При невеликих кутах повороту (до  $20^\circ$ ) кутові опори виконують за типом проміжних, для великих кутів повороту (до  $90^\circ$ ) – за типом анкерних.

Спеціальні опори споруджують при переходах через річки, ущелини та ін. Вони зазвичай значно вищі за нормальні, і їх виконують за особливими проектами.

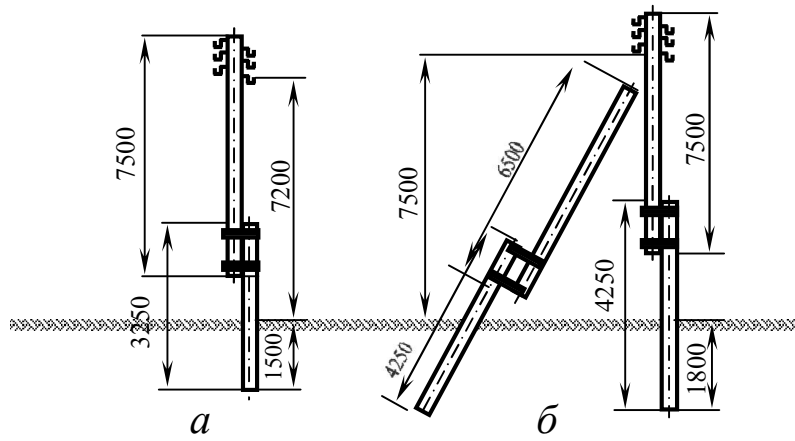
За конструкцією розрізняють опори суцільностоякові та складені із стійок та приставок. Дерев'яні опори виконують на дерев'яних або на залізобетонних приставках (рисунок 3.18). При проходженні повітряних ліній по місцях де можливі низові пожежі слід застосовувати опори із залізобетонними приставками. Більшість проміжних опор виконують одностояковими. Анкерні і кінцеві опори виконують А-подібними. Для напруги 110 кВ і вище проміжні опори виконують П-подібними, а анкерні А-П-подібними.

При спорудженні опор повітряних ліній повинні бути витримані відстані між проводами та іншими предметами, що знаходяться в безпосередній близькості від лінії.

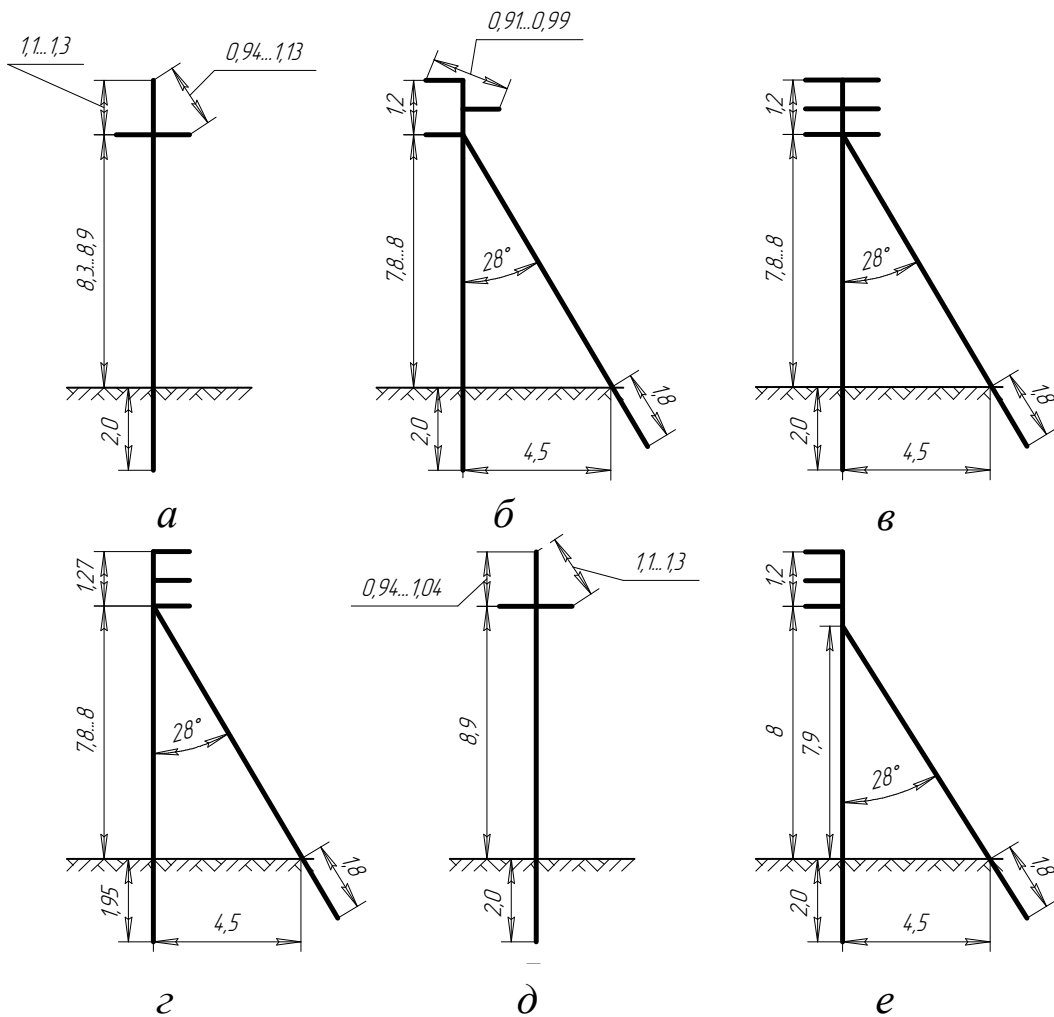
На лініях напругою до 1 кВ, при вертикальному розташуванні проводів на опорі, відстань між проводами повинна бути не меншою ніж 0,6 м при найбільшій стрілі провисання 1,2 м. При найбільшій стрілі провисання понад 1,2 м відстань між проводами слід збільшувати пропорційно відношенню найбільшої стріли провисання до стріли 1,2 м.

Відстань по вертикалі між проводами різних фаз на опорі при відгалуженні від повітряної лінії і перетині різних ліній повинна бути не меншою ніж 0,1 м. Відстань між ізоляторами вводу повинна бути не меншого 0,2 м.

Залізобетонні опори виконують суцільностояковими. Залізобетонні опори для ліній напругою 6...20 кВ наведені на рисунку 3.19.



*a* – проміжні; *б* – анкерні, кутові та кінцеві з підкосами  
Рисунок 3.18 – Опори ПЛ напругою 0,38 кВ розміри в метрах



*a* – проміжні; *б* – проміжні кутові; *в* – проміжні відгалужувальні;  
*г* – анкерні кутові; *д* – проміжні відгалужувальні;  
*е* – проміжні відгалужувальні кутові.

Рисунок 3.19 – Залізобетонні опори ПЛ напругою 6...20 кВ,  
розміри в метрах

### 3.5 Активний та індуктивний опір проводів

Проводи електричних ліній володіють активним опором змінному струму. Його значення дещо відрізняється від омичного опору постійному струму. Проте ця різниця незначна і в практичних інженерних розрахунках нею нехтують.

Активний опір проводів з кольорових металів – міді і алюмінію залежить від температури навколишнього середовища, струму, що проходить по проводу і його частоти. В практичних розрахунках цими змінами нехтують і вважають активний опір постійним, що дорівнює омичному опору.

Активний опір проводу на одиницю довжини (1000 м) визначають за виразом:

$$r_0 = \frac{1000 \cdot \rho}{F}, \quad (3.2)$$

де  $r_0$  – опір одного кілометра проводу, Ом/км;  
 $\rho$  – питомий опір матеріалу проводу, Ом·м;  
 $F$  – номінальний переріз проводу, мм<sup>2</sup>.

Активний опір проводу заданої довжини:

$$r = r_0 \cdot l, \quad (3.3)$$

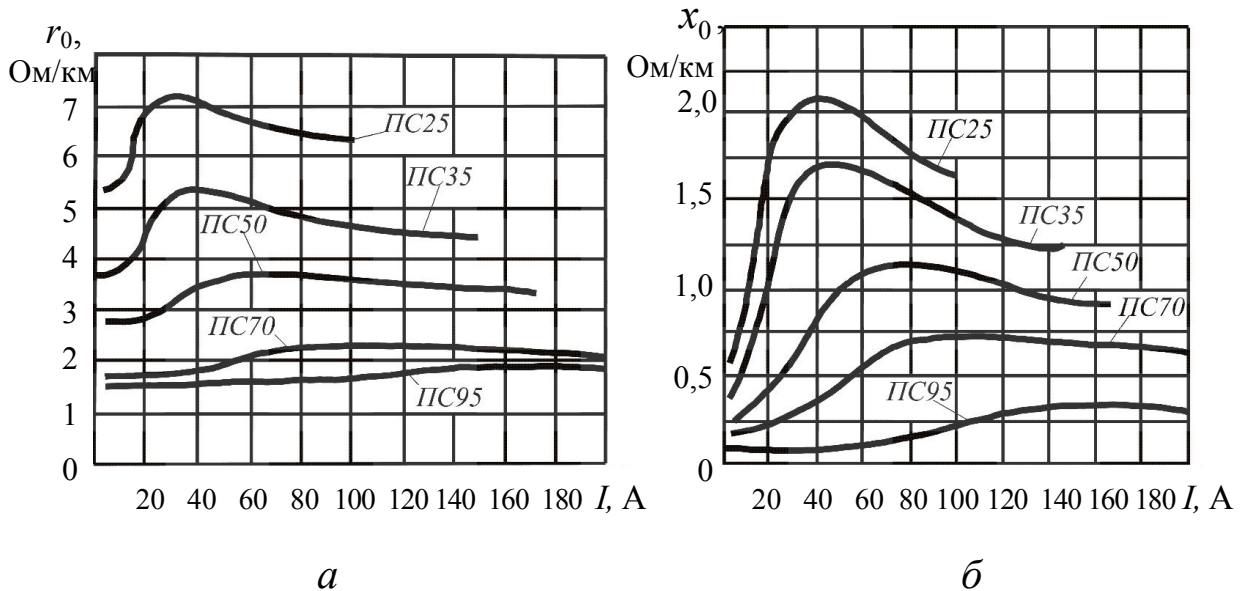
де  $l$  – довжина проводу, м.

Значення  $r_0$  обчислюють за виразом (3.2), але зручніше користуватися вже розрахованими даними, приведеними у відповідних таблицях.

Активний опір сталевих проводів значно більший від їх омичного опору, що зумовлено різко виявленим поверхневим ефектом і втратами енергії на гістерезис та вихрові струми в сталі.



Активний опір сталевих проводів суттєво залежить від сили струму що протікає по ним, тому при розрахунках не можна користуватися постійним значенням питомої провідності, як це роблять для проводів із кольорових металів. Значення активних опорів сталевих проводів слід брати з таблиць або з кривих, які побудовані за цими таблицями (рисунок 3.20, а).



а – активного опору; б – внутрішнього індуктивного опору

Рисунок 3.20 – Криві залежності опору сталевих багатодровових проводів від сили струму, що протікає ними

Індуктивні опори проводів обумовлені змінним магнітним полем ззовні і всередині проводів, по яких протікає змінний струм.

Із основ електротехніки відомо, що індуктивний опір проводу дорівнює:

$$x_0 = \omega \left( 4,6 \lg \frac{D_{cp}}{R} + 0,5 \mu \right) \cdot 10^{-4}. \quad (3.4)$$

Прийнявши, що  $\omega = 2\pi f = 314$  та  $R = d / 2$  маємо:

$$x_0 = 0,145 \lg \frac{2D_{cp}}{d} + 0,0157 \mu, \quad (3.5)$$

де  $D_{cp}$  – середня відстань між проводами, мм;

$d$  – діаметр проводу, мм;

$\mu$  – відносна магнітна проникність матеріалу проводу.

Перша частина виразу (3.5) залежить від магнітного поля поза проводом, і його називають зовнішнім індуктивним опором  $x_0'$ .

Друга частина виразу визначається магнітним полем всередині проводу, його називають внутрішнім індуктивним опором  $x_0''$ . Тоді вираз (3.5) можна записати:

$$x_0 = x_0' + x_0'' . \quad (3.6)$$

Зовнішній індуктивний опір проводу залежить не від матеріалу проводу, а від його діаметру та від відстані між проводами. Зовнішній індуктивний опір проводу збільшується із збільшенням відстані між проводами.

Для проводів із немагнітних матеріалів (мідь та алюміній) відносна магнітна проникність близька до 1, тому їх внутрішній індуктивний опір  $x_0''$  дуже малий і ним, в більшості випадків, нехтують при розрахунках, тому для проводів із кольорових металів:

$$x_0 = x_0' . \quad (3.7)$$

Для наближених розрахунків повітряних мереж, які виконані проводами із кольорових металів можна прийняти: для ліній напругою до 1 кВ  $x_0 = 0,35$  Ом/км; для ліній напругою 6, 10, 20 та 35 кВ  $x_0 = 0,4$  Ом/км; для ліній напругою 110 кВ  $x_0 = 0,45$  Ом/км.

Для кабельних ліній  $x_0 = 0,08$  Ом/км, тому в кабельних мережах напругою до 20 кВ ним нехтують.

Для сталевих проводів внутрішній і зовнішній індуктивні опори сумірні, тому нехтувати внутрішнім індуктивним опором при розрахунках не можна. Значення питомих індуктивних опорів (внутрішнього  $x_0''$  та зовнішнього  $x_0'$ ) для різних типів проводів приводяться у таблицях, що створені за даними досліджень.

## Запитання для самоконтролю

1. Яка мережа називається живильною?
2. Яка мережа називається розподільною?
3. Яка напруга називається номінальною?
4. Які номінальні напруги встановлені для генераторів та трансформаторів?
5. Перелічіть стандартні значення напруги електроустановок змінного струму частотою 50 Гц.
6. Назвіть основні способи виконання нейтралі в мережах напругою 0,38 ... 110 кВ, основні їх переваги та недоліки.
7. В чому відмінність систем електропостачання TN-S і TN-C?
8. Конструкція голих проводів.
9. Конструкція ізолюваних проводів.
10. Опишіть конструкцію різних марок сталюалюмінієвих неізолюваних проводів.
11. Конструкція кабелів.
12. Чим відрізняється кабель від ізолюваного проводу?
13. Перелічіть способи прокладання кабелів. Переваги та недоліки.
14. Типи ізоляторів для повітряних ліній напругою 0,38...35 кВ.
15. Перелічіть вимоги, які висуваються до ізоляторів ПЛ.
16. Скляні і фарфорові ізолятори. Основні переваги та недоліки.
17. Із якого матеріалу виготовляють опори ПЛ? Типи опор.
18. Від чого залежить активний і індуктивний опір проводів ліній електропередачі?
19. Що таке внутрішній і зовнішній індуктивний опір проводу?
20. Чому при розрахунках необхідно враховувати внутрішній реактивний опір сталюних проводів?