

Відділення "Укрпошта" за каталогом ДП "Преса"  
Періодичність – 4 номери на рік

Свідоцтво про державну реєстрацію:  
серія КВ, № 2079 від 16.07.1996 р.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до державного реєстру видавців, виготовлювачів  
і розповсюджувачів видавничої продукції:  
серія ДК, № 5613 від 25.09.2017 р.



ВИДАВЕЦЬ ТОВ "ЕТІН"

ДИРЕКТОР

Любич Мар'ян Орестович

РЕДАКТОР

Козенко Олександр Миколайович  
Директор ТОВ "ТПФ Донтехпром"

НАУКОВИЙ РЕДАКТОР

Буткевич Олександр Федотович, д.т.н.  
Професор. Головний науковий співробітник  
Інститут електродинаміки НАН України

ГОЛОВА РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ

Денисюк Сергій Петрович, д.т.н.  
Директор Інституту енергозбереження  
та енергоменеджменту

Професор. Кафедра електропостачання  
НТУУ "Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського"

ВИПУСКАЮЧИЙ РЕДАКТОР

Облакевич Сергій Вікторович  
Директор ТОВ "Альтіс-Енерго"  
Корпорація Альтіс холдинг

ТЕХНІЧНИЙ РЕДАКТОР

Чижик Павліна Андріївна

ФОТОКОРЕСПОНДЕНТ

Зубова Ольга В'ячеславівна

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ

ТОВ "ЕТІН"  
03190, м. Київ, а/с № 15  
[www.promelektro.com.ua](http://www.promelektro.com.ua)  
[promelektro.etin@gmx.de](mailto:promelektro.etin@gmx.de)  
[promelektro.etin@gmail.com](mailto:promelektro.etin@gmail.com)  
+380 44 228 82 68

КОР. ПУНКТ м. ЗАПОРІЖЖА

ТОВ "ТПФ Донтехпром"  
69118, м. Запоріжжя,  
вул. Автозаводська, 50, оф. 147  
[kozenko@3g.ua](mailto:kozenko@3g.ua)  
+380 50 470 18 38

ОРИГІНАЛ-МАКЕТ ТОВ "ДІА"

03022, м. Київ, вул. Васильківська, 45  
[dia\\_1997@ukr.net](mailto:dia_1997@ukr.net)  
+380 44 257 16 15

Рекомендовано до друку редакційною колегією,  
протокол № 2 від 10.01.2023 р.

Підписано до друку 11.01.2023 р.  
Дата виходу номеру 12.01.2023 р.

Формат 60 × 84 1/8. Ум. друк. арк. – 8,37.  
Обл. вид. арк. – 8,54.

# 2022

№ 3-6  
№ 3-6

## ЗМІСТ

### 6 НОВИНИ

6 i3 Engineering презентувала систему розумного дому на CES 2023 у Лас-Вегасі

### 8 ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ

8 Михайлов В.П.  
Кондуктивні перешкоди в електромережах у діапазоні 2–150 кГц — супергармоніки

14 Буйний Р.О., Гай О.В., Діхтярук І.В., Ворушило А.О.  
Щодо показників надійності елементів електричних мереж

18 Буйний Р.О., Гай О.В., Діхтярук І.В., Ворушило А.О.  
Про обґрунтування переліку схем розподільних установок підстанцій напруження 35–750 кВ і сферу їх застосування

### 24 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ АСУ ТП

24 Панов А.В., Сподинський О.В.  
Використання сучасного обладнання та приладів Центру колективного користування для вирішення проблем комплексної автоматизації об'єктів енергетики

### 32 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

32 Красножон А.В., Манілов А.М., Товстюк С.О.  
Оцінювання величини магнітного поля кабельного обігріву житлових та промислових приміщень з точки зору його безпеки для людини

### 38 ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

38 Програма виконання проєктів, передбачених „Спільною заявою США та Німеччини від 21 липня 2021 року про підтримку України в рамках європейської енергетичної безпеки“

### 46 НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА

46 Облакевич С.В.  
Нова редакція ДБН В.2.5-23:2022 „Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення“

### 48 НЕКРОЛОГ

48 Віктор Іванович ШЕВЛЯКОВ

УДК 621.316

# ПРО ОБҐРУНТУВАННЯ ПЕРЕЛІКУ СХЕМ РОЗПОДІЛЬНИХ УСТАНОВОК ПІДСТАНЦІЙ НАПРУГОЮ 35–750 кВ І СФЕРУ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ



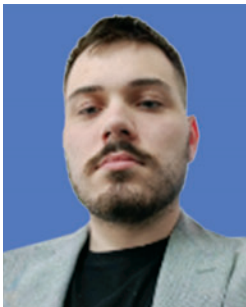
**Р.О. Буйний,**  
к.т.н., доцент



**О.В. Гай,**  
к.т.н., доцент



**І.В. Діхтярук,**  
к.т.н.



**А.О. Ворушило,**  
інженер  
НЕК "Укренерго"



**УКРЕНЕРГО**  
Національна енергетична компанія



## ВСТУП

Сфери застосування схем електричних з'єднань розподільних установок (РУ) підстанцій (ПС) напругою 6–750 кВ, які регламентовані чинними нормативними документами в Україні [1–3], обґрунтовано у 50–60-х роках ХХ століття. У ті часи в РУ ПС застосовувалися виключно повітряні та оливні вимикачі, що обумовлювало організацію значних обсягів робіт з їх експлуатації великою кількістю обслуговуючого персоналу. Станом на сьогодні таке електрообладнання вже не виготовляється, проте продовжує використовуватися на підстанціях операторів систем розподілу (ОСР) та на деяких підстанціях оператора системи передачі (ОСП).

Загальносвітовим трендом розвитку енергетики є її декарбонізація (перехід до кліматично-нейтрального розвитку, наприклад, відповідно до "Європейської Зеленої угоди", досягнення нульової емісії CO<sub>2</sub> до 2070 року тощо), де Smart Grid розглядається у якості технологічної платформи, що забезпечує децентралізацію та диджиталізацію (цифровізацію) електроенергетики. Це підвищує вимоги до гнучкості електроенергетичної системи (здатності підлаштуватися до стохастичної генерації електричної енергії із використанням відновлюваних джерел енергії та змінного навантаження споживачів), які можуть бути задоволені узгодженим впровадженням засобів накопичення електричної енергії, керування навантаженням та конфігурацією електроенергетичної системи. Для реалізації останньої вимоги на мінімальному рівні слід виконати заміну морально застарілого та технічно зношеного силового комутаційного електрообладнання (оливні та повітряні вимикачі) на сучасне (елегазові та вакуумні вимикачі) із забезпеченням його інтелектуальної взаємодії та можливості телекерування. Оскільки основним елементом будь-якого мережевого об'єкту є його РУ, схема електричних з'єднань якої буде визначати гнучкість і надійність розподілу/передачі електричної енергії, виникає актуальна задача обґрунтування схем електричних з'єднань РУ ПС та сфер їх застосування. Той факт, що мережеві об'єкти ОСР та ОСП зазнали масштабних руйнувань внаслідок збройної агресії російської федерації і потребують відновлення підвищує актуальність перегляду підходів до їх побудови, а успішна реалізація щодобових графіків обмежень додає упевненості у правильності обраного шляху.

## ОСНОВНІ МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз літературних джерел [4–11] показав, що у провідних країнах світу застосовуються, як правило, більш прості схеми РУ ПС порівняно з [1–3], що не мають обхідної системи шин (останнє обумовлено застосуванням більш надійного електрообладнання, зокрема елегазових та вакуумних вимикачів). Слід зазначити, що чіткого обґрунтування області застосування більш простих схем автори не знайшли, що зумовило виконання власних досліджень [17], стислі результати яких наведені нижче.

Для обґрунтування доцільності використання тієї чи іншої схеми електричних з'єднань в РУ ПС використаний порівняльний метод. Було розраховано показники надійності схем РУ ПС зі "старим" обладнанням (оливними та повітряними вимикачами) для усього набору схем, передбачених [1], та з "новим" (елегазовими та вакуумними вимикачами), більш надійним обладнанням. Якщо більш проста і, як наслідок, більш наочна та безпечна в експлуатації схема з "новим" обладнанням мала кращі (або не гірші) показники надійності, ніж більш складна зі "старим" обладнанням, то перевагу надавали більш простій схемі, оскільки вона буде мати більшу структурну надійність.

Для розрахунку показників надійності схем РУ ПС було отримано схеми заміщення за надійністю для різних випадків їх застосування схем (РУ ВН, РУ СН) та режимів роботи (передача електроенергії з РУ ВН до РУ НН (РУ СН), транзит електроенергії

через РУ ВН). Функція працездатності схеми записувалася у вигляді найкоротших шляхів успішного функціонування (НШУФ)  $P_\ell$  [12]:

$$P_\ell = \bigwedge_{i \in K_{P_\ell}} x_i, \quad (1)$$

де:

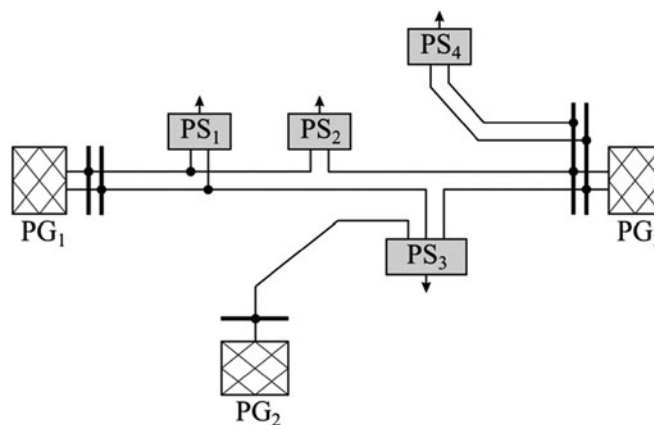
$K_{P_\ell}$  — множина номерів, що відповідають даному шляху;

$x_i$  —  $i$ -й елемент у шляху, який забезпечує його функціонування.

У відповідних режимах роботи та застосуваннях кожна схема РУ ПС має певну кількість НШУФ ( $\ell=1, 2, \dots, d$ ), тому її працездатність представлялася у вигляді:

$$y(x_1, \dots, x_n) = \bigvee_{\ell=1}^d P_\ell = \bigvee_{\ell=1}^d \left[ \bigwedge_{i \in K_{P_\ell}} x_i \right]. \quad (2)$$

У якості вихідних показників надійності використані систематизовані результати досліджень авторів, наведені у [13]. Це дозволило обґрунтувати перелік схем електричних принципів РУ ПС із “новим” електрообладнанням та область їх застосування (див. **табл. 1**). За положенням в електричній мережі (**табл. 1**) усі ПС поділено на чотири види (по



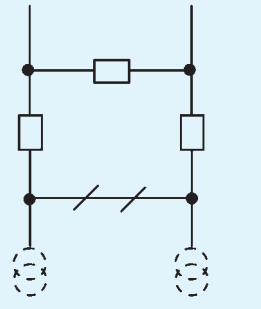
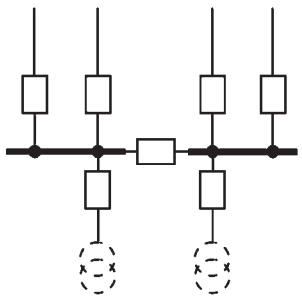
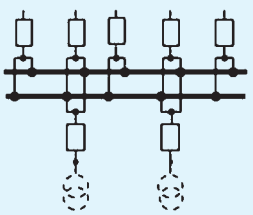
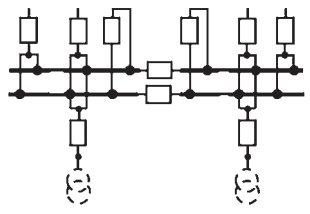
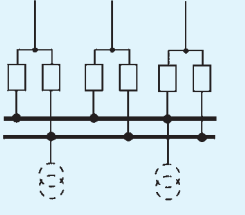
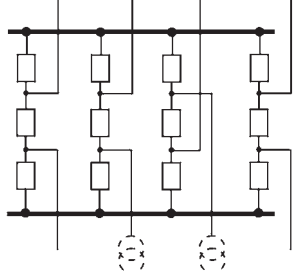
**Рис. 1.** Фрагмент районної електричної мережі: **PG** — power grid (зовнішня мережа — джерело живлення); **PS** — power substation (підстанція)

відношенню до РУ високої напруги (ВН): тупикові (кінцеві) — PS4; відгалужувальні — PS1; прохідні — PS2 та вузлові — PS3 (див. **рис. 1**).

Схема електричної мережі може розвиватися у просторі та часі, тому і вид підстанції може зазнавати змін. На першому етапі розвитку, ПС може бути відгалужувальною, прохідною або ж тупиковою, а далі,

**Таблиця 1.** Рекомендований перелік схем РУ ПС напругою від 35 кВ до 750 кВ і сфера їх застосування

Шифр	Найменування	Умовне зображення	Сфера застосування			
			Напруга РУ, кВ	Сторона	Кількість лінійних приєднань	Умови та особливості застосування
35-1 110-1 150-1 220-1 330-1	Два блоки лінія – трансформатор з роз'єднувачами		35 110 150 220 330	ВН	2	Тупикові ПС у разі живлення одного трансформатора від однієї лінії, яка не має відгалужень
35-2 110-2 150-2 220-2	Два блоки лінія – трансформатор з вимикачами в колах трансформаторів і неавтоматичною перемичкою з боку ліній		35 110 150 220	ВН	2	Відгалужувальні (у разі приєднання до лінії електропередавання, що живить кілька ПС) та тупикові ПС, за потужності трансформаторів до 63 МВ·А
35-3 110-3 150-3 220-3	Місток з вимикачами в колах ліній і ремонтною перемичкою з боку ліній		35 110 150 220	ВН	2	Прохідні ПС, за необхідності секціонування ліній і збереження електропостачання споживачів в разі пошкодження однієї із ділянок транзиту, за потужності трансформаторів до 63 МВ·А

Шифр	Найменування	Умовне зображення	Сфера застосування			
			Напруга РУ, кВ	Сторона	Кількість лінійних приєднань	Умови та особливості застосування
35-4 110-4 150-4 220-4	Місток з вимикачами в колах трансформаторів і ремонтною перемичкою з боку трансформаторів		35 110 150 220	ВН	2	Прохідні ПС, за необхідності секціонування ліній і збереження транзиту в разі пошкодження трансформатора, за потужності трансформаторів до 63 МВ·А
35-5 110-5 150-5 220-5	Одна робоча, секціонована вимикачем, система шин		35	ВН СН НН	3-4*	Для ВН вузлових ПС мережі напругою 35 кВ та СН і НН на ПС напругою 110-220 кВ. * Для РП з ПС 35/0,4 кВ кількість ліній 35 кВ може бути збільшена до 8
			110 150 220	ВН	3-5**	Для ВН та СН вузлових ПС мережі напругою 110-220 кВ.
			110 150 220	СН	3-8**	** На першому етапі розвитку схеми дозволено приєднання двох ліній, по одній на кожен секцію
110-7 150-7 220-7	Дві робочі системи шин		110 150 220	СН	9-12	Для потужних вузлових ПС
110-8 150-8 220-8	Дві робочі, секціоновані двома шиноз'єднувальними вимикачами системи шин		110 150 220	СН	Понад 12	Для потужних вузлових ПС у випадку необхідності зниження струмів короткого замикання шляхом випереджального поділу мережі
220-10 330-10 500-10 750-10	Трансформатори-шини з приєднанням ліній через два вимикачі		220 330 500 750	ВН СН	2-3	Для РУ прохідних та вузлових ПС мережі напругою від 330 кВ до 750 кВ
330-11 500-11 750-11	Полуторна		330 500 750	ВН СН	Понад 3	Для РУ потужних вузлових ПС та електростанцій

**Примітка.** Роз'єднувачі, які використовують для відокремлення вимикачів, на схемах не наведено.

за побудови хоча б однієї лінії електропередавання (далі — ЛЕП), перетворитися у вузлову. Аналогічно відгалужувальна ПС може стати прохідною у випадку перепідключення її у розтин існуючої ПЛ. Також усі ПС умовно можна розділити на системні ПС, мережеві ПС та ПС споживачів.

Слід зазначити, що чинні нормативні документи [1–2] передбачають використання схеми 35-5 “одна робоча, секціонована вимикачем, система шин” тільки на напрузі 35 кВ. Розрахунки, виконані для схеми “35-5” у випадку її застосування на напругах 110–220 кВ із “новим” електрообладнанням [17], показали, що вона буде мати кращі показники надійності, ніж схема 110(150,220)-6 “одна робоча, секціонована вимикачем, і обхідна системи шин” зі “старим” обладнанням за будь-якої довжини живильних ЛЕП, які характерні для класів напруги 110–220 кВ. Тому під час спорудження нових або реконструкції існуючих ПС за схемою “110(150,220)-6” обхідну систему шин (ОСШ) можна не застосовувати і, як наслідок, схема “110(150,220)-6” набуває вигляду, аналогічного схемі “35-5”. Це вказує на можливість виключення із переліку схем у діючій нормативній документації [1–2] схеми “110(150,220)-6” та розширення сфери застосування схеми “35-5” класами напруги 110–220 кВ з шифром “35(110,150,220)-5”. Розрахунки показали [17], що використання схеми “35(110,150,220)-5” на напругах 110–220 кВ зі сторони РУ ВН доцільне за кількості лінійних приєднань, що не перевищує 5, а зі сторони РУ СН кількість лінійних приєднань не повинна перевищувати 8. За більшої кількості приєднань в РУ СН доцільно застосовувати схему з двома системами збірних шин.

Схема 110(150,220)-7 “дві робочі і обхідна системи шин” [1–2] є розвинутою модифікацією схеми “110(150,220)-6”, у якій усі приєднання підключаються до обох систем шин через розвилку із двох роз’єднувачів. Одним із основних недоліків цієї схеми є велика кількість роз’єднувачів, які використовуються під час переведення приєднань з однієї системи збірних шин на іншу. Розрахунки, виконані для схеми “110(150,220)-7” без ОСШ із застосуванням “нового” електрообладнання [17] показали, що вона буде мати кращі показники надійності, ніж така ж схема з ОСШ зі “старим” обладнанням за будь-якої довжини живильних ЛЕП, які характерні для класів напруги 110–220 кВ. Це вказує на можливість виключення ОСШ зі схеми “110(150,220)-7” у діючій нормативній документації [1–2] та дозволить споруджувати більш компактні та достатньо надійні РУ ПС.

Аналогічні дослідження були виконані для схеми 110(150,220)-8 “дві робочі, секціоновані вимикачами, і обхідна системи шин з двома обхідними й двома шиноз’єднувальними вимикачами” [17], яка є розвинутою модифікацією схеми “110(150,220)-7” [1–2]. Секціонування шин у даній схемі дозволяє виконувати випереджальний поділ електричної мережі на частини задля зменшення струмів КЗ, які будуть відключатися вимикачами лінійних та трансформаторних приєднань. Така схема за однакової кількості приєднань та зовнішніх джерел живлення буде мати гіршу структурну надійність, ніж схема “110(150,220)-7”. Проте її застосування регламен-

тується на вузлових системних ПС [1–2], на яких сходиться велика кількість ЛЕП, які можуть виконувати роль зовнішнього джерела. Кожне зовнішнє джерело додає додатковий шлях успішного функціонування до схеми заміщення за надійністю і суттєво поліпшує показники надійності функціонування схеми. Тому схема “110(150,220)-8” за показниками надійності функціонування буде кращою, ніж схема “110(150,220)-7”, яка має меншу кількість зовнішніх джерел живлення. Встановлено [17], що у випадку застосування “нового” електрообладнання схема “110(150,220)-8” без ОСШ буде мати кращі показники надійності функціонування, ніж схема “110(150,220)-8” з ОСШ та “старим” електрообладнанням. Тому під час спорудження нових ПС та реконструкції існуючих ОСШ у схемі “110(150,220)-8” можна не застосовувати.

Схема 220(330-750)-9 “чотирикутник” відноситься до сімейства кільцевих схем. Згідно з [2] в електричних мережах ОЕС України застосування кільцевих схем обмежено схемами “трикутник” і “чотирикутних”, оскільки збільшення кількості приєднань неприпустиме за вимогами до їх надійності, оскільки у деяких випадках, при пошкодженні окремих вимикачів, відбувається розрив транзитного потоку електроенергії. Перевагою усіх кільцевих схем є те, що роз’єднувачі використовуються тільки за прямим своїм призначенням — створення видимого розриву. Тому кількість операцій з роз’єднувачами порівняно невелика (у порівнянні із схемами “110(150,220)-7” та “110(150,220)-8”), що підвищує надійність функціонування таких схем. Враховуючи вагомні недоліки схеми “220(330,750)-9”, а також те, що вона є повністю аналогічною схемі 330(500,750)-10 “трансформатори-шини з приєднанням ліній через два вимикачі” за двох лінійних приєднань, пропонується виключити схему “220(330-750)-9” із регламентованого переліку схем та розширити сферу використання схеми “330(500,750)-10” класом напруги 220 кВ у [1–2].

Схема 330(500,750)-10 “трансформатори-шини з приєднанням ліній через два вимикачі” дозволяє виводити в ремонт будь-який вимикач без втрати лінійного приєднання. У разі пошкодження однієї системи шини автоматично вимикаються всі вимикачі, приєднані до пошкодженої системи шин, при цьому друга система шин і усі приєднання (за виключенням половини трансформаторних приєднань) залишаються в роботі. Дана схема забезпечує високу надійність, але вимагає значної кількості електрообладнання, особливо вимикачів. За пошкодження одного із трансформаторів повинні відключитися усі лінійні вимикачі, що приєднані до тієї ж системи шин, що і пошкоджений трансформатор. При цьому усі лінійні приєднання та один із трансформаторів залишаються у роботі. Зі збільшенням кількості лінійних приєднань збільшується кількість вимикачів, що будуть одночасно спрацьовувати під час пошкодження трансформаторів або систем шин. Тому дана схема застосовується за обмеженої кількості лінійних приєднань.

Особливістю схеми 330(500,750)-11 “полуторна” є те, що вона має дві системи збірних шин, а також

три вимикачі на два приєднання. Кожне приєднання включене через два вимикачі, які одночасно будуть спрацьовувати за пошкодження на приєднаннях. У разі пошкодження однієї системи шин автоматично вимикаються всі вимикачі, приєднані до неї, при цьому друга система шин і усі приєднання залишаються в роботі. Схема “330(500,750)-11” дозволяє виводити в ремонт будь-який вимикач без втрати приєднання. Дана схема дозволяє дуже легко нарощувати кількість приєднань. Вона забезпечує високу надійність, але вимагає значної кількості високовольтного електрообладнання. Роз’єднувачі в ній використовуються тільки для створення видимого розриву.

Розрахунки показують [17], що показники надійності схем “330(500,750)-10” та “330(500,750)-11” у разі застосування “нового” електрообладнання є сумірними за будь-якої кількості приєднань на напругах 330–750 кВ. Перевагу тій чи іншій схемі слід віддавати не за показниками надійності, а за іншими критеріями, наприклад:

- кількість вимикачів, що одночасно спрацьовують за пошкодження на шинах;
- вартість спорудження.

Для визначення кількості лінійних приєднань, за якої доцільно використовувати ту чи іншу схему, було використано поняття “зношування комутаційного ресурсу вимикачів схеми”, яке запропоноване авторами у роботах [14–16]. Під цим поняттям слід розуміти сумарну кількість відключень вимикачів у схемі за рік експлуатації. Кращою за цим критерієм буде та схема, у якої буде мінімальне зношування комутаційного ресурсу під час відключень вимикачів у разі

пошкодження шин і автотрансформаторів. У таблиці 2 наведено кількість вимикачів, що буде одночасно спрацьовувати у схемах РУ ПС “330(500,750)-10” та “330(500,750)-11”.

“Зношування комутаційного ресурсу” схеми можна розрахувати за формулою:

$$H = 2 \cdot \left( \sum_{i=1}^k \omega_i \cdot n_i \cdot N_{BB} + \sum_{j=1}^l \omega_j \cdot n_j \cdot N_{AT} \right), \quad (3)$$

де:

- $\omega_i$  — частота відмов елементів РУ ПС, пошкодження яких призводить до знеструмлення однієї шини вимикачами потужності;
- $\omega_j$  — частота відмов елементів РУ ПС, пошкодження яких призводить до знеструмлення одного автотрансформатора вимикачами потужності;
- $n_i, n_j$  — кількість елементів  $i$ -го та  $j$ -го видів, які впливають на знеструмлення однієї шини та одного автотрансформатора відповідно;
- $N_{BB}, N_{AT}$  — кількість вимикачів, що можуть одночасно спрацьовувати у схемі при пошкодженні на СШ та у автотрансформаторі відповідно.

Результати розрахунків параметра “зношування комутаційного ресурсу” зведено до таблиці 3.

З таблиці 3 видно, що для напруг 330, 500 та 750 кВ:

- за двох лінійних приєднань менше “зношування комутаційного ресурсу” буде мати схема “330(500,750)-10”;
- за трьох лінійних приєднань обидві схеми є майже однаковими за “зношуванням комутаційного ресурсу”;

**Таблиця 2. Кількість вимикачів, що одночасно спрацьовує у схемах РУ ПС “330(500,750)-10” та “330(500,750)-11” у разі пошкодження збірних шин та автотрансформаторів**

Шифр схеми	Кількість вимикачів, що одночасно спрацьовує у разі пошкодження за кількості лінійних приєднань, шт							
	2	3	4	5	6	7	8	9
330(500-750)-10	2	3	4	5	6	7	8	9
	2	3	4	5	6	7	8	9
330(500-750)-11	2	3	3	4	4	5	5	6
	2	2	2	2	2	2	2	2

**Примітка.** У чисельнику — кількість вимикачів, що одночасно спрацьовує у разі пошкодження збірних шин, шт.  
У знаменнику — кількість вимикачів, що одночасно спрацьовує у разі пошкодження автотрансформатора, шт.

**Таблиця 3. Зношування комутаційного ресурсу вимикачів у схемах РУ ПС “330(500,750)-10” та “330(500,750)-11”**

Шифр схеми	Значення показника “зношування комутаційного ресурсу схеми”, відкл./рік, за кількості лінійних приєднань							
	2	3	4	5	6	7	8	9
330-10	0.244	0.402	0.584	0.790	1.020	1.274	1.552	1.854
330-11	0.304	0.394	0.394	0.520	0.520	0.682	0.682	0.880
500-10	0.208	0.348	0.512	0.700	0.912	1.148	1.408	1.692
500-11	0.268	0.358	0.358	0.484	0.484	0.646	0.646	0.844
750-10	0.248	0.408	0.592	0.800	1.032	1.288	1.568	1.872
750-11	0.308	0.398	0.398	0.524	0.524	0.686	0.686	0.884

**Примітка.** Без урахування пошкоджень на ПЛ.

- за чотирьох та більше лінійних приєднань кращою є схема “330(500,750)-11”.

Тому пропонується застосування схеми “330(500,750)-10” за кількості лінійних приєднань, що не перевищує 3-х для класів напруги 220–750 кВ. За більшої кількості приєднань перевагу слід віддавати схемі “330(500,750)-11”.

## ВИСНОВКИ

**1.** Сфери застосування схем електричних з'єднань РУ ПС напругою 6–750 кВ, які регламентовано чинними нормативними документами, обґрунтовано у 50–60-х роках ХХ століття, коли застосовувалося електрообладнання з гіршими показниками надійності, експлуатаційними витратами, габаритам тощо.

**2.** Для обґрунтування сфери застосування тієї чи іншої схеми РУ ПС із “новим” обладнанням можна використовувати порівняльний метод. Перевагу слід надавати більш простій схемі із “новим” обладнанням у випадках, коли показники надійності такої схеми будуть кращими (не гіршими) за показники надійності більш складної схеми зі “старим” обладнанням.

**3.** Схему “35-5” доцільно використовувати на напругах 110–220 кВ. Показники надійності цієї схеми із “новим” обладнанням будуть кращими, ніж для схеми “110(150,220)-6” зі “старим” обладнанням, яка має ОСШ. Тобто, під час спорудження нових ПС та реконструкції існуючих ОСШ у схемі “110(150,220)-6” можна не застосовувати.

**4.** Встановлено, що у випадку використання “нового” обладнання показники надійності схем “110(150,220)-6”, “110(150,220)-7” та “110(150,220)-8”

без ОСШ будуть кращими за показники надійності цих схем зі “старим” обладнанням та наявною ОСШ. Це вказує на доцільність відмови від ОСШ під час спорудження нових ПС та реконструкції існуючих.

**5.** Встановлено, що схема “220(330-750)-9” є повним аналогом схеми “330(500,750)-10” за двох лінійних приєднань. Враховуючи те, що при пошкодженні окремих вимикачів у схемі “220(330-750)-9” відбувається розрив транзитного потоку електроенергії та зниження надійності, дану схему пропонується виключити із переліку рекомендованих схем та розширити сферу використання схеми “330(500,750)-10” класом напруги 220 кВ.

**6.** У разі застосування “нового” електрообладнання, показники надійності схем “330(500-750)-10” та “330(500-750)-11” є сумірними та дуже високими за будь-якої кількості приєднань на напругах 330, 500 та 750 кВ. Для визначення кількості лінійних приєднань, за якої доцільно використовувати ту чи іншу схему, введено поняття “зношування комутаційного ресурсу вимикачів схеми”. Результати розрахунків вказують на те, що для напруг 330, 500 та 750 кВ за двох лінійних приєднань менше “зношування комутаційного ресурсу” буде мати схема “330(500-750)-10”; за трьох лінійних приєднань обидві схеми є майже однаковими за “зношуванням комутаційного ресурсу”; за чотирьох та більше лінійних приєднань кращою є схема “330(500-750)-11”.

**7.** У відповідності до результатів розрахунків показників надійності РУ ПС сформовано результуючу **таблицю 1** із переліком рекомендованих схем електричних з'єднань РУ ПС з вищою напругою 35–750 кВ та сферами їх застосування, якою пропонується замінити **таблицю 4.2.10** чинних ПУЕ [1].

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Правила улаштування електроустановок. — Видання офіційне. Міненерговугілля України. — Х.: Форт, 2017. — 760 с.
2. СОУ-Н ЕЕ 20.178:2008 Схеми принципів електричних розподільчих установок напругою від 6 до 750 кВ електричних підстанцій: Настанова.
3. ГKD 341.004.001-94 Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму з вищою напругою 6–750 кВ.
4. Electric Power Substations Engineering, Second Edition. Edited by John D. McDonald. 2006 by Taylor & Francis Group, LLC.
5. ABB Switchgear Manual, Cornelsen Verlag, Berlin 10th, 10th revised edition, 2001. 903 с
6. Guide to Electrical Power Distribution Systems Sixth Edition. Anthony J. Pansini, EE, PE Life Fellow IEEE, Sr. Member ASTM. Published by The Fairmont Press, Inc. 700 Indian Trail Lilburn, GA 30047.
7. Transmission and Distribution Electrical Engineering Third edition Dr C. R. Bayliss CEng FIET and B. J. Hardy ACGI CEng FIET. 2007, Colin Bayliss and Brian Hardy. Published by Elsevier Ltd.
8. Substation switching schemes. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://electrical-engineering-portal.com/substation-switching-schemes>.
9. Standardowa Specyfikacja Funkcjonalna Stacje elektroenergetyczne najwyższych napięć PSE – SF.STACJE/2015.
10. Standard techniczny nr 4/2014 — konfiguracje rozdzielnic 110 kV w sieci dystrybucyjnej 110 kV TAURON Dystrybucja S.A. (wersja druga). Kraków, październik 2020 r.
11. Załącznik nr 1 do Standardu technicznego nr 4/2014 — konfiguracje rozdzielnic 110 kV w sieci dystrybucyjnej 110 kV TAURON Dystrybucja S.A. (wersja druga). “Katalog standardowych konfiguracji pól rozdzielnic 110 kV”. Kraków, październik 2020 r.
12. Надежность и эффективность в технике: справочник. В 10 т. / Ред. совет: В.С.Авдеевский и др. — М.: Машиностроение, 1988. — Т.5.: Проектный анализ надежности / Под ред. В.И. Патрушева и А.И. Рамбезы. — 316 с.
13. Буйний Р.О., Ворущило А.О., Гай О.В., Діхтярук І.В. Щодо показників надійності елементів електричних мереж // Промислова електроенергетика та електротехніка. — 2022. — № 3–4. — С. 12–15.
14. Буйний Р.О., Зорін В.В., Квицинський А.О., Ключко В.П. Обґрунтування переліку схем електричних з'єднань розподільних установок підстанцій напругою 110 кВ і більше з використанням елегазових вимикачів і КРУЕ // Енергетика та електрифікація. — 2012. — № 2. — С. 36–44.
15. Буйний Р.О., Зорін В.В., Квицинський А.О. Обґрунтування області використання схем електричних з'єднань розподільних установок підстанцій напругою 110 кВ і більше з елегазовими вимикачами і КРУЕ за економічними критеріями // Енергетика та електрифікація. — 2012. — № 6. — С. 13–21.
16. Буйний Р.О., Зорін В.В., Квицинський А.О. Обґрунтування області використання схем електричних з'єднань розподільних установок напругою 330–750 кВ системних підстанцій з елегазовими вимикачами і КРУЕ // Енергетика та електрифікація. — 2012. — № 11. — С. 33–36.
17. Звіт про науково-дослідну роботу (заключний). Розробка пропозицій щодо оптимізації застосування схем розподільних установок електричних підстанцій з елегазовими та вакуумними вимикачами. — К.: НЕК “Укренерго”, 2022. — 241 с.