

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ДІХТЯРУК ІГОР ВІТАЛІЙОВИЧ



УДК 621.311

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
СПОЖИВАЧІВ В ПОВІТРЯНИХ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ
НАПРУГОЮ 10КВ ЗА РАХУНОК СЕКЦІОНУВАННЯ
АВТОМАТИЧНИМИ РОЗ'ЄДНУВАЧАМИ**

Спеціальність 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи
(141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі електричних систем і мереж Чернігівського національного технологічного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент
Буйний Роман Олександрович,
Чернігівський національний технологічний університет
МОН України, доцент кафедри електричних систем і
мереж.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Тугай Юрій Іванович,
Інститут електродинаміки НАН України,
завідувач відділу оптимізації систем електропостачання;

кандидат технічних наук, доцент
Баженів Володимир Андрійович,
Національний технічний університет України, «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
заступник декана факультету електроенерготехніки та
автоматики, доцент кафедри електричних мереж та систем.

Захист дисертації відбудеться “06” грудня 2018 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.050.06 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Україна м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розіслано “25” жовтня 2018 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради



С. Ю. Шевченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Існуючі принципи проектування та експлуатації розподільних електричних мереж (ЕМ) були розроблені у 60-80-х роках XX століття і, в даний час, не відповідають сучасним вимогам щодо надійності електропостачання споживачів, яка визначена нормативними документами.

Найбільша кількість аварійних відключень (приблизно 90% всіх стійких відмов) відбувається в розподільних електричних мережах напругою 10 кВ з повітряними лініями (ПЛ). Це обумовлено великою протяжністю таких мереж, які на сьогодні є найменш надійними елементами електричної системи. Більшість з них є морально застарілими та фізично зношеними та не можуть забезпечити необхідний рівень надійності електропостачання споживачів.

В умовах ринкової економіки змінюються відносини між споживачами електричної енергії та енергопостачальними компаніями. Споживачі все частіше звертають увагу на рівні надійності електропостачання. Це робить задачу підвищення надійності електропостачання досить актуальною. В даний час вирішення такої задачі проходить при різкому зниженні капіталовкладень в будівництво нових та реконструкцію існуючих електричних мереж. Цей факт висуває додаткові умови до техніко-економічного обґрунтування заходів підвищення надійності розподільних ЕМ.

Сучасний стан ЕМ обумовлює необхідність пошуку шляхів підвищення надійності розподільних ЕМ з ПЛ, що не потребують значних інвестицій та довгострокових капіталовкладень. Один з таких шляхів представлено в даній роботі.

Таким чином, науково-практичне завдання розробки шляхів підвищення надійності розподільних ЕМ з ПЛ, за умови мінімізації довгострокових капіталовкладень є актуальним і визначило напрямок дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, представлені в роботі, проводилися на кафедрі електричних систем і мереж Чернігівського національного технологічного університету згідно з законом України № 2623-III від 11.07.2001 року «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки до 2020 року» за напрямком наукових досліджень «Технології електроенергетики» відповідно до постанови КМУ від 07.09.2011 № 942 Міністерства освіти і науки України.

Наукові дослідження виконувалися в рамках держбюджетних НДР: «Підвищення ефективності роботи електричних мереж» (ДР№ 0113U006409) та «Принципи побудови розподільної електричної мережі напругою 10 кВ із застосуванням новітньої комутаційної апаратури. Рекомендації» (ДР№ 0113U004405), в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення надійності електропостачання споживачів в існуючих повітряних розподільних мережах напругою 10 кВ із застосуванням новітньої комутаційної апаратури.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні задачі дослідження:

1. Провести аналіз поточного технічного стану розподільних електричних мереж напругою 10 кВ.

2. Розробити метод виділення пошкодженої ділянки ПЛ 10 кВ під час безструмової паузи за допомогою автоматичних секціонуючих роз'єднувачів в

розподільних мережах напругою 10 кВ різної конфігурації, зокрема в мережах з джерелами розподіленої генерації.

3. Розробити алгоритм роботи автоматики та надати рекомендації щодо модернізації існуючих приводів роз'єднувачів.

4. Розробити та науково обґрунтувати математичний метод для визначення раціональних місць встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів в розподільних мережах напругою 10 кВ різної конфігурації, зокрема в мережах з джерелами розподіленої генерації та показати ефективність його використання.

5. Дослідити вплив навантаження споживачів на результати визначення раціональних місць встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів.

6. Дослідити вплив автоматичного секціонування розподільних мереж напругою 10 кВ на інтегральні показники надійності SAIDI, SAIFI та ENS, що відповідають міжнародним стандартам.

Об'єктом дослідження є процеси в розподільних електричних мережах з повітряними лініями електропередавання напругою 10 кВ, оснащених автоматичними секціонуючими роз'єднувачами.

Предметом дослідження є параметри та характеристики розподільних мереж з повітряними лініями електропередавання напругою 10 кВ, що мають вплив на показники надійності електропостачання споживачів.

Методи дослідження. В основу дисертаційної роботи покладено системний підхід при проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, що базується на використанні методів розрахунку показників надійності електропостачання споживачів, математичного аналізу та статистики для обробки експериментальних даних параметрів електричної мережі. Застосовані методи експериментального дослідження для визначення впливу параметрів розподільних мереж на показники надійності електропостачання споживачів; методи математичного моделювання і математичної статистики із використанням програмних та математичних пакетів Microsoft Excel, MathCAD та MatLab для дослідження похибок отриманих результатів та створення апроксимаційних моделей.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Удосконалено метод підвищення надійності електропостачання споживачів, який відрізняється від існуючих тим, що виділення пошкодженої ділянки електричної мережі напругою 10 кВ виконано за допомогою автоматичних роз'єднувачів під час безструмової паузи, що дозволяє поліпшити техніко-економічні показники ефективності електропостачання споживачів у порівнянні з іншими секціонуючими комутаційними апаратами.

2. Вперше запропоновано метод аналітичного визначення раціональних місць встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів в розподільних мережах, який представляє дискретний розподіл потужності споживачів по довжині мережі неперервною функцією, що дозволяє відмовитись від методів дискретної оптимізації та громіздких розрахунків під час розробки планів перспективного розвитку існуючих розподільних мереж.

3. Науково обґрунтовано метод секціонування розподільних мереж з джерелами розподіленої генерації, який відрізняється від існуючих використанням

комутаційних апаратів нового покоління, що дозволяє забезпечити швидке відновлення електропостачання споживачів непошкоджених ділянок мережі.

Практичне значення одержаних результатів для електроенергетичної галузі полягає у вирішенні задачі підвищення надійності електропостачання споживачів шляхом використання автоматичних секціонуючих роз'єднувачів в повітряних розподільчих мережах напругою 6-10 кВ.

Результати досліджень, виконаних в дисертаційній роботі, мають практичну цінність для фахівців електропостачальних компаній та проектних організацій, що займаються проектами перспективного розвитку та підвищенням надійності розподільних електричних мереж напругою 6-10 кВ.

Ефективність запропонованих у роботі методів перевірена шляхом проведення розрахунків та математичного моделювання, а результати роботи використані під час розробки нормативного документу Міненерговугілля України: СОУ-Н ЕЕ 40.1-00100227-99:2014 «Методичні рекомендації побудови схем секціонування розподільної електричної мережі напругою 6-10 кВ».

Запропоновано удосконалити існуючі приводи відокремлювачів ШПО та ПРО-1У1 за рахунок зміни пружини, оснащення їх первинними вимірювачами та автоматикою, що дозволять використовувати їх для комутації секціонуючого роз'єднувача під час безструмової паузи у розподільній мережі 10кВ.

Особистий внесок здобувача. Усі основні наукові положення і отримані результати, які містяться в дисертації і виносяться на захист, розроблені і отримані здобувачем особисто. Серед них: досліджено сучасні методи підвищення надійності електропостачання споживачів за допомогою новітніх комутаційних апаратів; удосконалено метод виділення пошкодженої ділянки електричної мережі напругою 10 кВ, за допомогою автоматичних роз'єднувачів під час безструмової паузи; розроблено аналітичний метод визначення раціональних місць встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів; науково обґрунтована доцільність використання автоматичних секціонуючих роз'єднувачів для підвищення надійності електропостачання споживачів в розподільних мережах з ДРГ; досліджено вплив зміни навантаження на величину недовідпуску електричної енергії споживачам; досліджено вплив розподілу споживачів по довжині ЛЕП на результати визначення раціональних місць встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів; досліджено вплив секціонування за допомогою автоматичних роз'єднувачів на інтегральні індекси надійності.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародних науково-технічних конференціях: «Проблеми сучасної електротехніки 2014» (Київ, 2014); «Оптимальне керування електроустановками ОКЕУ-2013» (Вінниця, 2013); «Новые направления развития электроэнергетики» (РФ, г. Великие Луки, 2012); «Підвищення ефективності роботи електричних мереж» (Чернігів, 2011); «Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі» (Чернігів, 2012-2018); Підвищення якості та ефективності використання електричної енергії (Київ, 2016).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи автором опубліковано 12 друкованих праць, з них 6 – у фахових наукових виданнях, що входять до

наукометричних баз (2 – включені до міжнародної наукометричної бази SCOPUS), 6 – у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 248 сторінок; в тому числі 59 рисунків по тексту; 12 таблиць по тексту; списку із 106 найменувань використаних джерел на 11 сторінках; 6 додатків на 106 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, розкрито стан наукового завдання та його значення, сформульовано мету і завдання дослідження, основні науково-методичні положення, які складають наукову новизну і практичне значення роботи.

У **першому розділі** розглянуто проблему підвищення надійності розподільних електричних мереж та розвиток теорії надійності. Одним з ефективних способів підвищення надійності електропостачання споживачів є секціонування повітряних ліній розподільних мереж комутаційними апаратами (роз'єднувачі, реклоузери, секціоналайзери, пункти секціонування).

Виявлено, що існуючі розподільні мережі напругою 10 кВ не мають достатнього рівня оснащення засобами секціонування та дистанційного визначення місць пошкодження, що не дозволяє забезпечити необхідний рівень надійності електропостачання споживачів.

Зважаючи на швидкі темпи розвитку ринкової економіки в Україні та норми надійності електропостачання споживачів, що стають жорсткішими, енергопостачальні компанії все частіше розглядають більш дешеві, в порівнянні з реклоузерами, та не менш ефективні засоби підвищення надійності. Тому в роботі автором запропоновано використовувати автоматичні секціонуючі роз'єднувачі для підвищення надійності електропостачання споживачів.

У **другому розділі** запропоновано застосувати автоматичне реконфігурування електричної мережі за рахунок її секціонування автоматичними роз'єднувачами, оснащеними приводом та автоматикою. Суть такого секціонування розподільної електричної мережі полягає у виділенні окремих ділянок електричної мережі під час безструмової паузи (по аналогії з роботою відокремлювачів в мережах напругою 35-110 кВ). Виділення ділянок повинно починатися після другого циклу автоматичного повторного включення (АПВ), оскільки перший цикл АПВ дозволяє усунути основну масу нестійких пошкоджень.

У разі встановлення одного автоматичного секціонуючого роз'єднувача в нерезервованій розподільній електричній мережі (рис. 1) споживачі, що знаходяться в зоні, яка межує з джерелом живлення, при пошкодженні в тупиковій зоні будуть знеструмлені на такий час, поки пошкоджена зона не буде відділена від мережі у другу безструмову паузу (після першого циклу АПВ) та здійснений другий цикл АПВ або ручне повторне включення (РПВ) (рис. 2, а). У разі пошкодження в зоні, яка межує з джерелом живлення, всі споживачі, які живляться від, мережі будуть знеструмлені на час пошуку та ліквідації пошкодження (рис. 2, б).

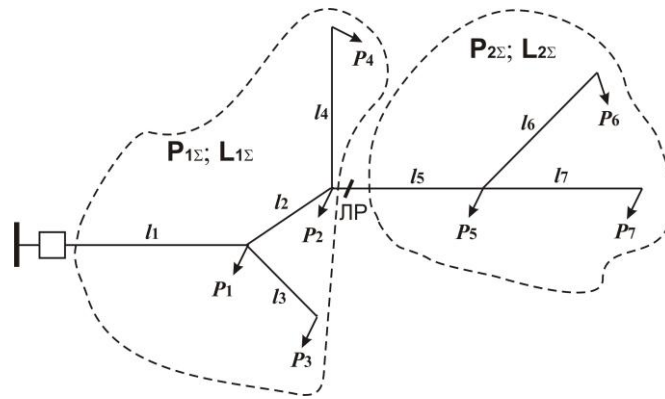


Рисунок 1 – Розподільна мережа з одним секціонуючим роз'єднувачем на магістралі

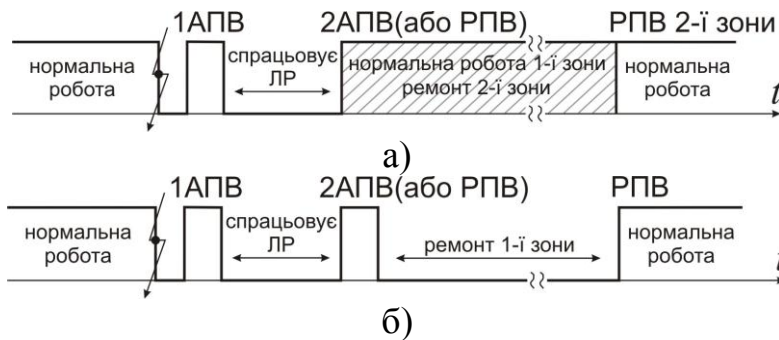


Рисунок 2 – Часова діаграма роботи автоматики в нерезервованій електричній мережі з одним секціонуючим роз'єднувачем на магістралі: а) у разі успішного 2АПВ або РПВ для споживачів першої зони; б) у разі неуспішного другого циклу АПВ (2АПВ) або РПВ для споживачів першої зони

За відсутності в мережі секціонуючого комутаційного апарата (КА) при короткому замиканні у будь-якій точці мережі фідер відключиться ввідним вимикачем на час пошуку та ліквідації пошкодження. При цьому усі споживачі мережі будуть знеструмлені, а сумарний недовідпуск електричної енергії споживачам буде складати

$$\Delta W_{\Sigma} = P_{\Sigma} \cdot L_{\Sigma} \cdot (\omega_0 \cdot \tau_p + \gamma \cdot v_0 \cdot \eta_p) = P_{\Sigma} \cdot L_{\Sigma} \cdot \Delta_1, \quad (1)$$

де P_{Σ} – сумарне середнє навантаження електричної мережі; L_{Σ} – сумарна довжина ліній електропередавання в мережі; ω_0 – частота (параметр потоку) стійких відмов; v_0 – частота планових відключень; τ_p – середня тривалість пошуку місця пошкодження з ремонтом; η_p – середня тривалість обслуговування мережі при планових ремонтах; γ – коефіцієнт, що враховує менші наслідки від планових відключень у порівнянні з аварійними; Δ_1 – середня тривалість відновлення електропостачання споживачам при стійких пошкодженнях, віднесена до 1 км довжини лінії.

Для мережі, зображеної на рис. 1, недовідпуск електричної енергії для споживачів i -ї зони буде визначатися як сума недовідпуску при пошкодженні в цій зоні та недовідпуску електроенергії споживачів i -ї зони при пошкодженнях у інших зонах.

Для мережі, зображеної на рис. 1, сумарний недовідпуск електричної енергії буде визначатися

$$\begin{aligned}
\Delta W_{\Sigma}^{1/2LP} &= P_{1\Sigma} \cdot L_{1\Sigma} \cdot \Delta_1 + P_{2\Sigma} \cdot L_{1\Sigma} \cdot \Delta_1 + P_{2\Sigma} \cdot L_{2\Sigma} \cdot \Delta_1'' = \\
&= (P_{1\Sigma} + P_{2\Sigma}) \cdot L_{1\Sigma} \cdot \Delta_1 + P_{2\Sigma} \cdot L_{2\Sigma} \cdot \Delta_1'' = P_{\Sigma} \cdot L_{1\Sigma} \cdot \Delta_1 + P_{2\Sigma} \cdot L_{2\Sigma} \cdot \Delta_1'' = \\
&= P_{\Sigma} \cdot (L_{\Sigma} - L_{2\Sigma}) \cdot \Delta_1 + P_{2\Sigma} \cdot L_{2\Sigma} \cdot \Delta_1''.
\end{aligned} \tag{2}$$

де $P_{\Sigma 1}$ – сумарне навантаження електричної мережі до місця встановлення секціонуючого роз'єднувача; $L_{\Sigma 1}$ – сумарна довжина ліній електропередавання в мережі до місця встановлення секціонуючого роз'єднувача; $P_{\Sigma 2}$ – сумарне навантаження електричної мережі після місця встановлення секціонуючого роз'єднувача; $L_{\Sigma 2}$ – сумарна довжина ліній електропередавання в мережі після місця встановлення секціонуючого роз'єднувача; $\omega_0^{2.APB}$ – параметр потоку відмов після другого циклу АПВ; Δ_1'' – середня тривалість відновлення електропостачання споживачам зони, яка відділяється після другого циклу АПВ, віднесена до 1 км довжини лінії.

На рис. 3 зображено схему розподільної електричної мережі з секціонуючими роз'єднувачами на магістралі та на відгалуженнях від неї. У відповідності до запропонованого алгоритму, роз'єднувачі на відгалуженнях від магістралі будуть відділяти їх у другу безструмову паузу (після першого циклу АПВ), а роз'єднувач на магістралі буде спрацьовувати у третю безструмову паузу (після другого циклу АПВ) (див. рис. 4).

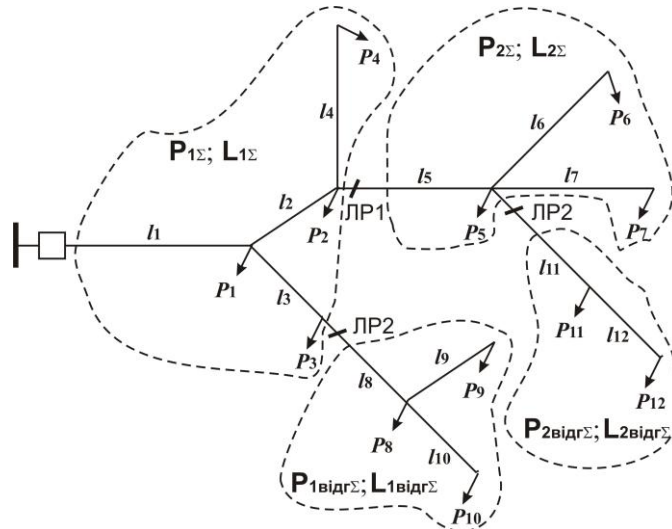


Рисунок 3 – Розподільна мережа з секціонуючими роз'єднувачами на магістралі та відгалуженнях

Для мережі, зображеної на рис. 3, недовідпуск електричної енергії для споживачів 1-ї зони буде визначатися за формулою

$$\Delta W_{1\Sigma} = P_{1\Sigma} \cdot L_{1\Sigma} \cdot (\omega_0 \cdot \tau_p + \gamma \cdot v_0 \cdot \eta_p) = P_{1\Sigma} \cdot L_{1\Sigma} \cdot \Delta_1, \tag{3}$$

де $\Delta W_{1\Sigma}$ – недовідпуск електроенергії споживачам 1-ї зони, обумовлений пошкодженнями у цій зоні;

Для споживачів 2-ї зони

$$\begin{aligned}
\Delta W_{2\Sigma} &= P_{2\Sigma} \cdot L_{1\Sigma} \cdot (\omega_0 \cdot \tau_p + \gamma \cdot v_0 \cdot \eta_p) + P_{2\Sigma} \cdot L_{2\Sigma} \cdot (\omega_0^{2.APB} \cdot \tau_p + \gamma \cdot v_0 \cdot \eta_p) = \\
&= P_{2\Sigma} \cdot L_{1\Sigma} \cdot \Delta_1 + P_{2\Sigma} \cdot L_{2\Sigma} \cdot \Delta_1'',
\end{aligned} \tag{4}$$

де $\Delta W_{2\Sigma}$ – недовідпуск електроенергії споживачам 2-ї зони, обумовлений пошкодженнями у 1-й зоні.

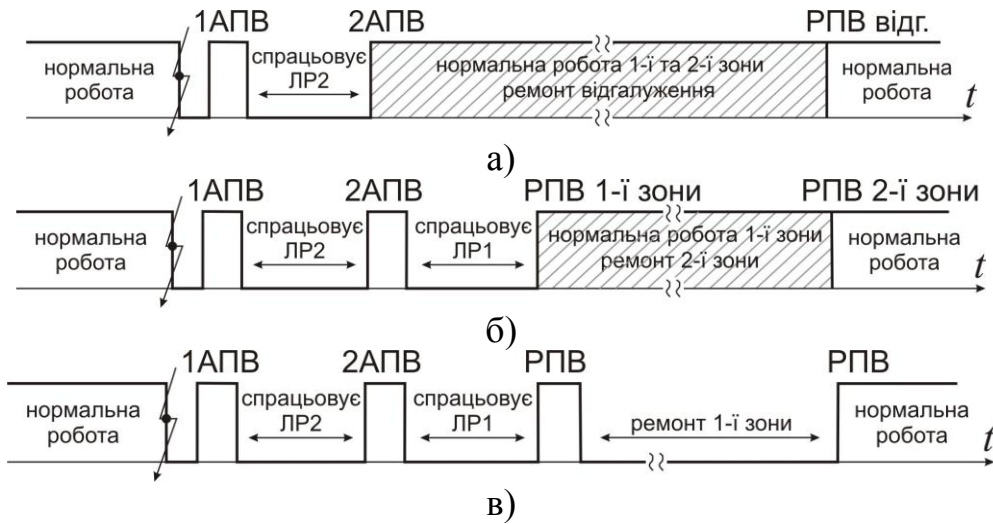


Рисунок 4 – Часова діаграма роботи автоматики в нерезервованій електричній мережі з роз'єднувачами на магістралі та відгалуженнях:

- а) у разі успішного 2АПВ для споживачів першої та другої зон;
 б) у разі неуспішного 2АПВ та успішного РПВ для споживачів першої зони;
 в) у разі неуспішного 2АПВ та неуспішного РПВ

Для споживачів на відгалуженнях від магістралі

$$\begin{aligned}
 \Delta W_{1\text{від}\Sigma} &= P_{1\text{від}\Sigma} \cdot L_{1\text{від}\Sigma} \cdot (\omega_0^{1\text{АПВ}} \cdot \tau_p + \gamma \cdot v_0 \cdot \eta_p) + P_{1\text{від}\Sigma} \cdot L_{2\text{від}\Sigma} \cdot (\omega_0^{1\text{АПВ}} \cdot \tau_{n3}) + \\
 &+ P_{1\text{від}\Sigma} \cdot L_{1\Sigma} \cdot (\omega_0 \cdot \tau_p + \gamma \cdot v_0 \cdot \eta_p) + P_{1\text{від}\Sigma} \cdot L_{2\Sigma} \cdot (\omega_0^{2\text{АПВ}} \cdot \tau_{n3}) = \\
 &= P_{1\text{від}\Sigma} \cdot L_{1\text{від}\Sigma} \cdot \Delta'_1 + P_{1\text{від}\Sigma} \cdot L_{2\text{від}\Sigma} \cdot \Delta'_2 + P_{1\text{від}\Sigma} \cdot L_{1\Sigma} \cdot \Delta_1 + P_{1\text{від}\Sigma} \cdot L_{2\Sigma} \cdot \Delta''_2; \\
 \Delta W_{2\text{від}\Sigma} &= P_{2\text{від}\Sigma} \cdot L_{2\text{від}\Sigma} \cdot (\omega_0^{1\text{АПВ}} \cdot \tau_p + \gamma \cdot v_0 \cdot \eta_p) + P_{2\text{від}\Sigma} \cdot L_{1\text{від}\Sigma} \cdot (\omega_0^{1\text{АПВ}} \cdot \tau_{n3}) + \\
 &+ P_{2\text{від}\Sigma} \cdot L_{1\Sigma} \cdot (\omega_0 \cdot \tau_p + \gamma \cdot v_0 \cdot \eta_p) + P_{2\text{від}\Sigma} \cdot L_{2\Sigma} \cdot (\omega_0^{2\text{АПВ}} \cdot \tau_p + \gamma \cdot v_0 \cdot \eta_p) = \\
 &= P_{2\text{від}\Sigma} \cdot L_{2\text{від}\Sigma} \cdot \Delta'_1 + P_{2\text{від}\Sigma} \cdot L_{1\text{від}\Sigma} \cdot \Delta'_2 + P_{2\text{від}\Sigma} \cdot L_{1\Sigma} \cdot \Delta_1 + P_{2\text{від}\Sigma} \cdot L_{2\Sigma} \cdot \Delta''_1; \quad (5)
 \end{aligned}$$

де $L_{\text{маг}\Sigma}$ – сумарна довжина ліній електропередавання в магістральних зонах; $P_{i\text{від}\Sigma}$ – сумарне середнє навантаження споживачів на i -у відгалуженні від електричної мережі; $L_{i\text{від}\Sigma}$ – сумарна довжина ліній електропередавання на i -у відгалуженні від магістралі; τ_{n3} – середня тривалість пошуку пошкодженої зони на відпайках та включення непошкоджених зон під напругу; Δ'_2 – середня тривалість відновлення електропостачання споживачам на непошкоджених відгалуженнях, які відключилися у другу безструмову паузу (після першого циклу АПВ), віднесена до 1 км довжини лінії; Δ''_2 – середня тривалість відновлення електропостачання споживачам на непошкоджених відгалуженнях у разі пошкодження зони, яка не межує з відгалуженням і відділяється після другого циклу АПВ, віднесена до 1 км довжини лінії.

У випадку встановлення одного джерела розподіленої генерації (ДРГ) у кожній зоні споживачі зони, в якій не виникло пошкодження будуть знеструмлені на час, поки пошкоджена ділянка буде виділена з мережі автоматичним роз'єднувачем після другого циклу АПВ (рис. 5).

При пошкодженні в другій зоні (рис.6, а) вимикачі В1, В2 та В3 будуть відключені релейним захистом. Після цього автоматика буде відновлювати електропостачання споживачів за допомогою АПВ. Після неуспішного другого

циклу АПВ спрацьовує автоматичний роз'єднувач, відділяючи пошкоджену ділянку. Після завершення АПВ головного вимикача починають повторно включатись вимикачі В1 та В3, що встановлені зі сторони ДРГ. При пошкодженні в тупиковій зоні електропостачання споживачів першої зони буде відновлено за допомогою АПВ вимикача В2. Відповідно повторне включення В3 буде неуспішним, що підтверджує наявність пошкодження саме в другій зоні.

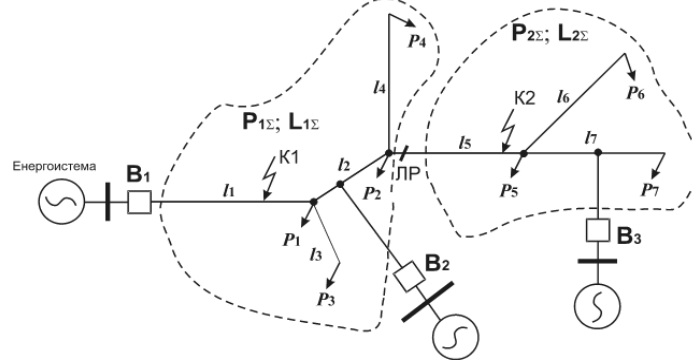


Рисунок 5 – Розподільна мережа з двома ДРГ та одним секціонуючим роз'єднувачем

При пошкодженні в першій зоні (рис.6, б) автоматика буде працювати аналогічно. Відмінність полягає в тому, що, після автоматичного відключення секціонуючого роз'єднувача, АПВ вимикача В2 буде неуспішним, а електропостачання споживачів другої зони буде відновлено за допомогою АПВ В3. Відновлення схеми нормального режиму та електропостачання відключених зон в обох випадках відбувається вручну оперативно-виїздною бригадою (ОВБ).

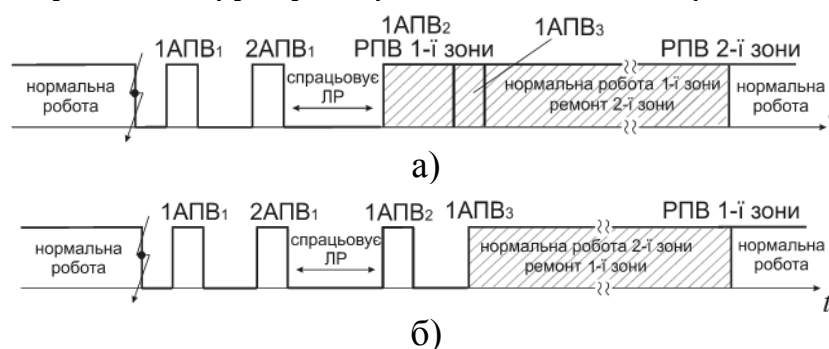


Рисунок 6 – Часова діаграма роботи автоматики в нерезервованій електричній мережі з одним секціонуючим роз'єднувачем на магістралі та двома ДРГ:

а) при пошкодженні в другій зоні; б) при пошкодженні в першій зоні

Аналогічні формули для визначення недовідпуску електричної енергії споживачам отримано для випадків з ручним та автоматичним резервом, а також в аналогічних мережах з ДРГ при секціонуванні одним та двома автоматичними роз'єднувачами, а також розглянуто особливості роботи автоматики повторного включення в розподільних мережах з ДРГ.

У третьому розділі показано, що використання середнього значення навантаження для визначення недовідпуску електричної енергії споживачам є некоректним, оскільки середнє сумарне навантаження споживачів неадекватно описує характер його зміни. Тобто при виникненні пошкодження в електричній мережі в різні моменти часу недовідпуск електричної енергії споживачам, а відповідно і збитки, будуть різними. Саме тому місця встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів,

визначені за допомогою середнього навантаження, не будуть забезпечувати мінімум збитків при пошкодженнях в електричних мережах, в яких є споживачі різної категорійності та споживачі, навантаження яких змінюється протягом доби.

Зміну сумарного електричного навантаження P в мережі можна представити у вигляді функціональної залежності від часу $P_{\Sigma} = \sum P_i(t)$. Використовуючи типові графіки навантажень (ТГН) можна отримати деяке очікуване дискретне значення електричних навантажень в певний момент часу. Якщо припустити, що m – це максимальна кількість інтервалів ТГН, то зміну активної потужності споживачів електричної мережі в часі можна представити у вигляді вектору всіх можливих станів навантаження, кожен елемент якого буде відповідати навантаженню в певний момент часу в інтервалі від 1 до m

$$P_i(t) = \begin{bmatrix} P_1 \\ \dots \\ P_t \\ \dots \\ P_m \end{bmatrix}, \quad (6)$$

де $P_1 \dots P_m$ – навантаження в певний момент часу в інтервалі від 1 до m

Використовуючи цільові функції зниження недовідпуску електричної енергії споживачам в мережах без резерву, з ручним та автоматичним включенням резерву, секціонованих одним та двома автоматичними роз'єднувачами, можна отримати вектор, кожен елемент якого буде відповідати недовідпуску електричної енергії споживачам для кожного можливого стану навантаження, тобто

$$\Delta W_{\Sigma i} = \begin{bmatrix} \Delta W_{\Sigma 1} \\ \dots \\ \Delta W_{\Sigma t} \\ \dots \\ \Delta W_{\Sigma m} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де $\Delta W_{\Sigma 1} \dots \Delta W_{\Sigma i}$ – недовідпуск електричної енергії споживачам для кожного можливого стану навантаження.

Знаючи недовідпуск електричної енергії споживачам для всіх можливих значень навантаження та для всіх можливих місць встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів за заданого вектору зміни активної потужності споживачів електричної мережі в часі, отримано матрицю, кожен стовпчик якої відповідає раціональній довжині, на якій необхідно встановити КА, а кількість стовпчиків – всі можливі місця встановлення КА в мережі

$$L_{1\Sigma k} = \begin{bmatrix} L_{1\Sigma 11} & \dots & L_{1\Sigma k1} & \dots & L_{1\Sigma j1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_{1\Sigma 1t} & \dots & L_{1\Sigma kt} & \dots & L_{1\Sigma jt} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_{1\Sigma 1m} & \dots & L_{1\Sigma km} & \dots & L_{1\Sigma jm} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

де $L_{1\Sigma 11} \dots L_{1\Sigma jm}$ – раціональна довжині, на якій необхідно встановити КА, для всіх можливих станів навантаження.

Для типових моделей ЛЕП було проведено розрахунки раціональних місць встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів для різної величини

навантаження. Результати розрахунків вказують на те, що для однієї структури електричної мережі кількість раціональних місць встановлення не буде перевищувати 2-3. Отже, результатом визначення оптимуму цільової функції буде вектор мінімальних значень недовідпуску, кожному значенню недовідпуску буде відповідати вектор довжин, на яких раціонально встановлювати автоматичні секціонуючі роз'єднувачі, тобто

$$\Delta W_{\Sigma i}^{onm} = \begin{bmatrix} \Delta W_{onm1} \\ \Delta W_{onm2} \\ \Delta W_{onm3} \end{bmatrix} \Rightarrow L_{\Sigma i}^{onm} = \begin{bmatrix} L_{onm1} \\ L_{onm2} \\ L_{onm3} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

де $\Delta W_{\Sigma i}^{onm}$ – мінімальні значення недовідпуску електроенергії споживачам, $L_{\Sigma i}^{onm}$ – довжини, на яких раціонально встановлювати автоматичні секціонуючі роз'єднувачі.

Остаточний вибір місця встановлення проводиться за значенням найменших збитків при виникненні пошкоджень

$$Z = f(\Delta W(L_{\Sigma i}^{onm})) \rightarrow \min, \quad (10)$$

де Z – значення збитків від недовідпуску електроенергії споживачам ΔW при встановленні секціонуючого роз'єднувача на довжині $L_{\Sigma i}^{onm}$.

Раніше задача мінімізації цільової функції вирішувалась шляхом перебору місць встановлення секціонуючих КА, але, не дивлячись на те, що сучасна техніка дозволяє дану задачу розв'язати досить швидко, в даній роботі вона була вирішена аналітично. Це дозволяє зменшити об'єм розрахунків, коли задача підвищення надійності буде однією з складових комплексної задачі, такої як визначення оптимальних точок розмикання в мережах напругою 10 кВ, яка також потребує розрахунку режимів роботи мережі.

Отже, задача визначення раціональних місць встановлення зводиться до визначення розподілу потужності споживачів по довжині мережі. Для цього у схемі мережі, в якій планується встановити автоматичні роз'єднувачі, виділяють магістраль, на якій намічають усі можливі місця їх встановлення. При секціонуванні ЕМ напругою 10 кВ кожному можливому місцю встановлення автоматичних роз'єднувачів буде відповідати деяке значення довжини ПЛ до місця встановлення КА $L_{\Sigma i}$ та потужності – $P_{\Sigma i}$.

$$P_{\Sigma k} = [P'_1 \quad \dots \quad P'_k \quad \dots \quad P'_j], \text{ де } \begin{cases} P'_1 = P_1(t); \\ \dots \dots \dots \\ P'_k = \sum_{i=1}^k P_i(t) = P_1(t) + P_2(t) + \dots + P_k(t); \\ \dots \dots \dots \\ P'_j = \sum_{i=1}^j P_i(t) = P_1(t) + P_2(t) + \dots + P_k(t) + \dots + P_j(t), \end{cases} \quad (11)$$

$$L_{\Sigma k} = \begin{bmatrix} L'_1 \\ \dots \\ L'_k \\ \dots \\ L'_j \end{bmatrix}, \text{ де } \begin{cases} L'_1 = L_1; \\ L'_k = \sum_{i=1}^k L_i = L_1 + L_2 + \dots + L_k; \\ L'_j = \sum_{i=1}^j L_i = L_1 + L_2 + \dots + L_k + \dots + L_j, \end{cases} \quad (12)$$

де $P'_1, P'_k, P'_j, L'_1, L'_k, L'_j$ – сумарна потужність споживачів та довжина до місця встановлення автоматичних роз'єднувачів при секціонуванні мережі в точках 1, k та j .

Для кожного з них визначають відносну сумарну потужність $P_{1\Sigma}^*$ зони між ввідним вимикачем та місцем встановлення автоматичного роз'єднувача

$$P_{1\Sigma}^* = \frac{\sum_{i=1}^m P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (13)$$

де P_i – потужність споживачів i -ї ТП, кВт; m – кількість споживачів між ввідним вимикачем і місцем встановлення автоматичного роз'єднувача у електричній мережі; n – загальна кількість споживачів у електричній мережі, та відносну сумарну довжину $L_{1\Sigma}^*$ цієї зони

$$L_{1\Sigma}^* = \frac{\sum_{j=1}^l L_j}{\sum_{j=1}^k L_j}, \quad (14)$$

де L_j – довжина j -ї ділянки електричної мережі, км; l – кількість ділянок між ввідним вимикачем і місцем встановлення автоматичного роз'єднувача у електричній мережі; k – загальна кількість ділянок у електричній мережі.

Потужності зон, обмежених секціонуючими роз'єднувачами, пов'язані з їх довжиною деякою дискретною залежністю. Оскільки аналітичний розв'язок оптимізаційної задачі з дискретними параметрами неможливий, то автором запропоновано дискретні вихідні дані представити як неперервну величину, задану функціональною залежністю. В залежності від того, яким чином розміщені споживачі в електричній мережі, розподіл навантаження можна охарактеризувати наступними функціональними залежностями:

- потужність більшості споживачів зосереджена на початку лінії;
- потужність ТП споживачів рівномірно розподілена по довжині лінії;
- потужність більшості споживачів зосереджена в кінці лінії.

Графіки кожної з залежностей представлено на рис. 7.

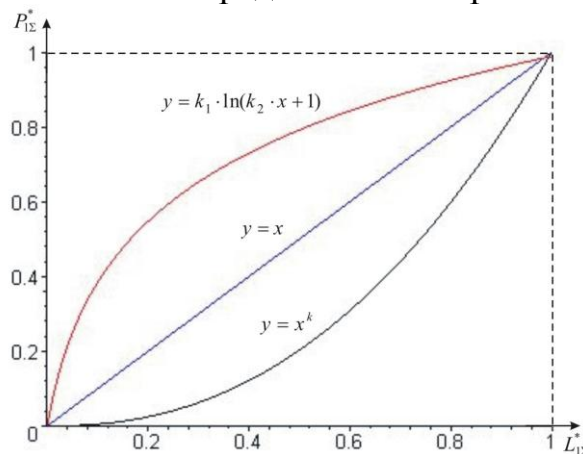


Рисунок 7 – Залежності, якими можна представити розміщення ТП/10/0,4кВ в електричній мережі

У випадку, коли потужність більшості ТП (споживачів) зосереджена на початку лінії, відносна потужність першої зони може бути охарактеризована залежністю

$$y = k_1 \cdot \ln(k_2 \cdot x + 1), \quad (15)$$

де k_1 , k_2 – емпіричні коефіцієнти, які залежать від розподілу потужностей.

У випадку, коли потужність ТП (споживачів) рівномірно розподілена по довжині лінії, відносна потужність першої зони характеризується

$$y = x, \quad (16)$$

а коли потужність більшості ТП (споживачів) зосереджена в кінці лінії

$$y = x^k, \quad (17)$$

де k – емпіричний коефіцієнт, який залежить від розподілу потужності в мережі.

Для аналітичного розв'язку оптимізаційної задачі у разі зосередження споживачів на початку або в кінці лінії необхідно задатися коефіцієнтами k_1 , k_2 і k .

На рис. 8 приведені залежності, які характеризують мережі, у яких основна потужність зосереджена на їх початку.

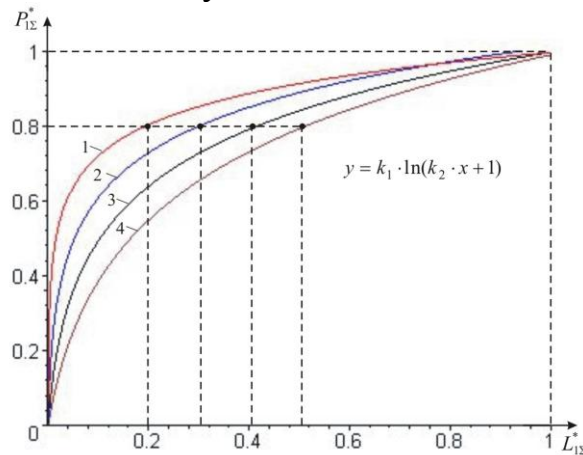


Рисунок 8 – Залежності, що характеризують мережі, у яких основна потужність зосереджена на початку: 1 – 80% потужності на 20% довжини; 2 – 80% потужності на 30% довжини; 3 – 80% потужності на 40% довжини; 4 – 80% потужності на 50% довжини

Розраховані величини коефіцієнтів залежності $y = k_1 \cdot \ln(k_2 \cdot x + 1)$ для кожного з випадків наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів k_1 , k_2 для залежностей виду (15), які зображені на рис. 8

№ залежності на рис. 8.	Характеристика залежності	Значення коефіцієнту	
		k_1	k_2
1	80% потужності на 20% довжини	0,12	4000
2	80% потужності на 30% довжини	0,177	300
3	80% потужності на 40% довжини	0,23	75
4	80% потужності на 50% довжини	0,3	26

На рис. 9 приведені залежності, які характеризують мережі, в яких основна потужність зосереджена на їх кінці.

Аналітичний розв'язок такої оптимізаційної задачі було проведено для запропонованих видів розподілу потужності споживачів вздовж довжини ЛЕП при розрахованих коефіцієнтах k_1 , k_2 і k при секціонуванні мережі одним та двома

автоматичними роз'єднувачами для випадків без резерву, з ручним та автоматичним включенням резерву, та в аналогічних мережах з ДРГ.

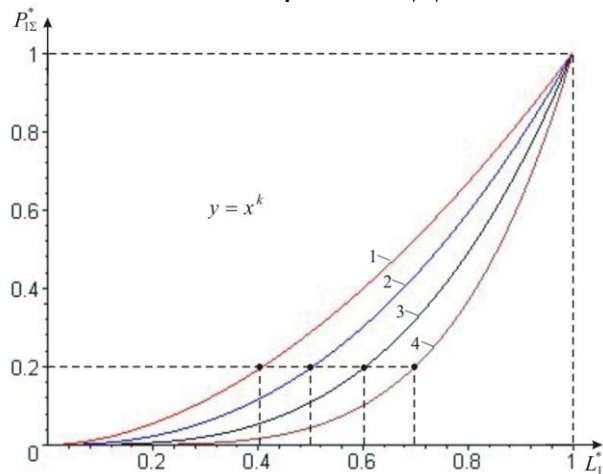


Рисунок 9 – Залежності, що характеризують мережі, у яких основна потужність зосереджена на їх кінці: 1 – 20% потужності на 40% довжини; 2 – 20% потужності на 50% довжини; 3 – 20% потужності на 60% довжини; 4 – 20% потужності на 70% довжини

Таблиця 2 – Значення коефіцієнта k для залежностей виду (16), які зображені на рис. 9.

№ залежності на рис. 9.	Характеристика залежності	Значення коефіцієнту k
1	20% потужності на 40% довжини	1,8
2	20% потужності на 50% довжини	2,35
3	20% потужності на 60% довжини	3,2
4	20% потужності на 70% довжини	4,5

Для перевірки адекватності результатів, отриманих запропонованим аналітичним методом, розраховано раціональні місця встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів методом прямого перебору для типових моделей ЛЕП напругою 10 кВ. Результати розрахунків приведено на рис. 10.

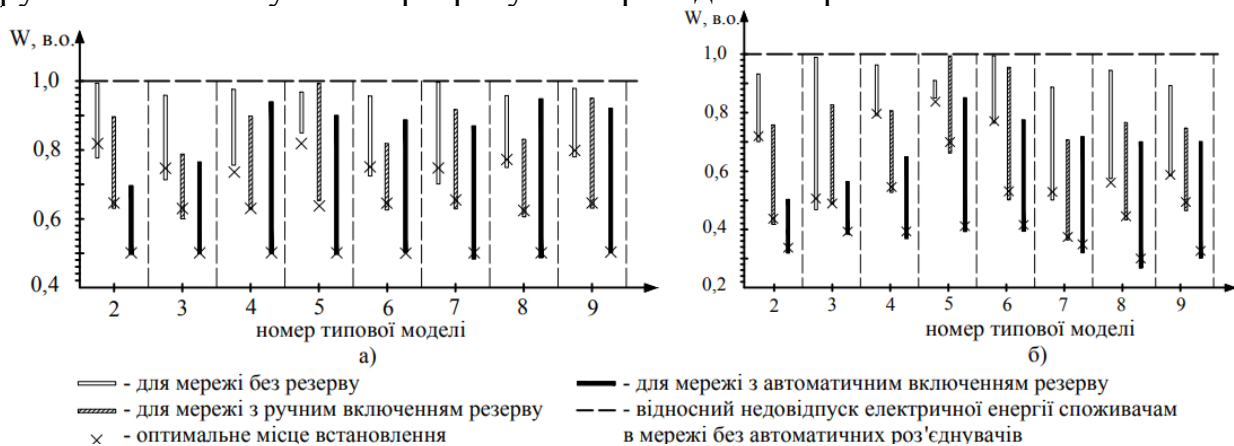


Рисунок 10 – Результати розрахунку раціональних місць встановлення автоматичних роз'єднувачів методом прямого перебору та запропонованим аналітичним методом:

- при секціонуванні мережі одним роз'єднувачем;
- при секціонуванні мережі двома роз'єднувачами

З рис. 10 видно, що при встановленні автоматичного секціонуючого роз'єднувача в місці, отриманому аналітичним методом, запропонованим автором, недовідпуск електричної енергії споживачам наближається до мінімально можливого з діапазону значень, отриманих методом прямого перебору (відмінність складає 3-5%). Це вказує на адекватність запропонованого аналітичного методу визначення раціонального місця встановлення секціонуючого КА.

У четвертому розділі для визначення ефективності використання автоматичних роз'єднувачів в розподільних мережах було проведено техніко-економічні розрахунки для секціонування типових моделей ЛЕП з ручним та автоматичним резервом та без резервування.

У якості основного економічного критерію використано інтегральний ефект IE_t , а у якості додаткових – рентабельність інвестицій R_i і термін окупності $T_{ок}$. Для типових моделей ЛЕП для всіх можливих станів навантаження було визначено місця встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів з мінімальним строком окупності. Результати розрахунків вказують на те, що для однієї структури електричної мережі кількість раціональних місць встановлення складає 2-3.

Відповідно до постанови НКРЕ України №249 від 29.12.2011 року надійність електропостачання споживача характеризується інтегральними індексами надійності, що відповідають європейським вимогам та міжнародним стандартам.

При визначенні впливу секціонування автоматичними роз'єднувачами на інтегральні індекси надійності SAIDI, SAIFI та ENS для розподільної електричної мережі без секціонуючих КА, яка має n точок продажу електричної енергії, сумарну довжину та потужність мережі (L_{Σ}, P_{Σ} відповідно) було прийнято:

- тривалість i -ї довгої перерви в електропостачанні дорівнює середній тривалості ремонту при стійких пошкодженнях;
- стійкими пошкодженнями вважаються пошкодження, що не самоусунулись після другого циклу АПВ та РПВ;
- для визначення кількості абонентів в розподільній електричній мережі прийнято питома навантаження на одного абонента, яке складає 3 кВт/аб.
- кількість довгих перерв в електропостачанні протягом звітного періоду (1 рік) може бути визначена як добуток питомої частоти пошкоджень лінії ω_0 на сумарну довжину мережі L_{Σ} , тобто

$$k = \omega_0 \cdot L_{\Sigma}. \quad (18)$$

Враховуючи вищезазначене, отримано формулу для розрахунку індексу середньої тривалості довгих перерв в електропостачанні в мережі (SAIDI)

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{\omega_0 \cdot L_{\Sigma}} \tau_i \cdot n_i}{n} = \frac{\omega_0 \cdot L_{\Sigma} \cdot \tau \cdot n}{n} = \omega_0 \cdot L_{\Sigma} \cdot \tau. \quad (19)$$

де n_i – кількість точок продажу електричної енергії, відключених у результаті i -ї довгої перерви в електропостачанні, шт.; τ_i – тривалість відновлення електропостачання у результаті i -ї довгої перерви в електропостачанні i – номер довгої перерви в електропостачанні, $i = 1, 2, 3, \dots, k$; n – загальна кількість точок продажу електричної енергії, шт.

Знаючи сумарну довжину мережі, за формулою (19) можна розрахувати прогнозовану величину SAIDI для мережі без секціонуючих КА.

Формула для розрахунку індексу середньої частоти довгих перерв в електропостачанні в системі (SAIFI) відрізняється від SAIDI лише чисельником

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{\omega_0 \cdot L_{\Sigma}} n_i}{n} = \frac{\omega_0 \cdot L_{\Sigma} \cdot n}{n} = \omega_0 \cdot L_{\Sigma} . \quad (20)$$

Аналогічно до SAIDI та SAIFI отримано формулу для визначення розрахункового обсягу недовідпущеної електроенергії (ENS)

$$ENS = \sum_{i=1}^{\omega_0 \cdot L_{\Sigma}} n_i \cdot P_i \cdot \tau = \omega_0 \cdot L_{\Sigma} \cdot \tau \cdot P_{\Sigma} . \quad (21)$$

де P_i – середнє навантаження споживачів, відключених у результаті i -ї довгої перерви в електропостачанні.

Для типових моделей ЛЕП визначено, що використання автоматичних роз'єднувачів для секціонування розподільних мереж напругою 10 кВ довільної конфігурації (включаючи мережі з ДРГ) дозволяє покращити індекси надійності SAIDI, SAIFI та ENS на величину до 70%.

Результати розрахунків інтегральних показників надійності для типових моделей ЛЕП без резерву, з автоматичним та ручним включенням резерву приведені в таблиці 3.

З таблиці 3 видно, що використання автоматичних роз'єднувачів дозволяє покращити інтегральні індекси надійності SAIDI, SAIFI та ENS на 5-55%, 5-55% та 10-52% при встановленні одного автоматичного роз'єднувача, та 8-65%, 8-64% та 15-72% при встановленні двох автоматичних роз'єднувачів.

Таблиця 3 – Результати розрахунків інтегральних показників надійності для розподільних мереж без резерву, з автоматичним та ручним включенням резерву

Вид резервування ЕМ	Значення зниження індексів надійності при встановленні					
	одного секціонуючого КА			двох секціонуючих КА		
	SAIDI, %	SAIFI, %	ENS, %	SAIDI, %	SAIFI, %	ENS, %
без резерву	5-16	5-16	10-27	8-26	8-26	15-32
з ручним резервом	23-30	8-16	33-44	25-37	8-35	53-67
з АВР	42-55	41-55	47-52	48-65	45-64	52-72

У додатках до дисертації надано рекомендації щодо реалізації приводу автоматичного роз'єднувача, отримано залежності недовідпуску електричної енергії споживачам під час секціонування автоматичними роз'єднувачами розподільних ЕМ без резервування, з ручним та автоматичним резервом, а також для аналогічних мереж з ДРГ.

Наведено результати розрахунку відносних довжин зон до місця встановлення одного або двох автоматичних роз'єднувачів та відносного недовідпуску електричної енергії споживачам в розподільних ЕМ, а також результати техніко-економічних розрахунків раціональних місць встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів в ЕМ для типових моделей ЛЕП. Акти про впровадження результатів дисертаційної роботи та список опублікованих праць за темою дисертації.

ВИСНОВКИ

В даній дисертаційній роботі вирішено актуальну наукову задачу підвищення надійності повітряних розподільчих мереж напругою 10 кВ різної конфігурації, шляхом використання автоматичних роз'єднувачів для виділення пошкодженої ділянки мережі під час безструмової паузи.

В роботі отримано наступні наукові та практичні результати:

1. В результаті аналізу технічного стану розподільних електричних мереж напругою 10 кВ з повітряними лініями різної конфігурації було виявлено недостатній рівень оснащення засобами дистанційного визначення місць пошкодження в розподільних мережах. Існуючі методи визначення пошкодженої ділянки в розподільних мережах вимагають великої кількості техніки та персоналу, та потребують значних затрат часу на переїзди ОВБ. Використання для виділення пошкодженої ділянки реклоузерів потребує значних капіталовкладень, що, не зважаючи на ряд переваг та високі показники надійності, обмежує їх використання.

2. Розроблено метод секціонування розподільних електричних мереж напругою 10 кВ з використанням автоматичних роз'єднувачів. Перевагою запропонованого методу є більш конкретна оперативна інформація щодо визначення зони знеструмлення, скорочення витрат на переїзди ОВБ та зменшення часу, необхідного для відновлення електропостачання споживачам. Показано можливість використання запропонованого методу секціонування розподільних мереж напругою 10 кВ, в яких є джерела розподіленої генерації.

3. Запропоновано алгоритм роботи приводу роз'єднувача, який дозволить реалізувати метод автоматичного секціонування розподільних мереж за допомогою роз'єднувачів РЛК-10 та забезпечити їх відключення лише під час безструмової паузи.

4. Для визначення раціональних місць встановлення секціонуючих КА в електричних мережах напругою 10 кВ довільної конфігурації без резерву, з ручним та автоматичним включенням резерву, та в аналогічних мережах з ДРГ, запропоновано дискретний розподіл споживачів по довжині ЛЕП представити у вигляді функціональних залежностей, які характеризують мережі, у яких основна потужність зосереджена на початку лінії, рівномірно розподілена та зосереджена в її кінці.

5. Показано, що використання середнього значення навантаження для визначення недовідпуску електричної енергії споживачам є некоректним, оскільки при виникненні пошкодження в електричній мережі в різні моменти часу недовідпуск електричної енергії споживачам, а відповідно і збитки, будуть різними.

6. Визначено, що використання автоматичних роз'єднувачів для секціонування розподільних мереж напругою 10 кВ довільної конфігурації (включаючи мережі з ДРГ) дозволяє покращити надійності SAIDI, SAIFI та ENS на величину до 70%.

7. Результати, отримані в дисертаційній роботі, були впроваджені на підприємстві ЗАО ЗЕТО «Торговий дім Елво-Україна» у виробничій діяльності та при впровадженні новітнього комутаційного обладнання в енергопостачальних компаніях України та інших країн. А також в нормативному документі СОУ-Н 40.1-00100227-99:2014 «Побудова схем секціонування розподільчої електричної мережі напругою 6-10кВ. Методичні рекомендації», який використовується під час розробки проектів перспективного розвитку та реконструкції розподільних електричних мереж України.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Діхтярук І. В. Использование разъединителя РЛКВ-С-10 для секционирования распределительных сетей напряжением 10 кВ / Р. А. Буйный, И. В. Діхтярук, А. В. Красножон // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: зб. – 2012. – № 1(55). – С. 227-232.

Здобувачем розглянуто особливості використання сучасних комутаційних апаратів для підвищення надійності електропостачання споживачів.

2. Діхтярук І. В. Автоматичне секціонування розподільних електричних мереж напругою 6–10 кВ із застосуванням роз'єднувачів нового покоління / Р. О. Буйний, І. В. Діхтярук, В. В. Зорін // Технічна електродинаміка – 2014. – № 3. – С. 70-75.

Здобувачем запропоновано метод секціонування розподільних електричних мереж напругою 6-10 кВ з використанням комутаційних апаратів нового покоління.

3. Діхтярук І. В. Застосування роз'єднувачів нового покоління у схемах автоматизованого секціонування розподільних мереж напругою 6-10 кВ / Р. О. Буйний, І. В. Діхтярук, Ю. О. Калюжний, А. О. Квицинський // Енергетика та електрифікація. – 2013. – № 4(55). – С. 34-40.

Здобувачем показано можливість використання роз'єднувачів РЛК-10, оснащених автоматичним приводом, для виділення ділянки розподільної мережі, на якій виникло пошкодження.

4. Діхтярук І. В. Використання роз'єднувачів нового покоління для секціонування розподільних електричних мереж з джерелами розподіленої генерації / І. В. Діхтярук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 1(112). – С. 58-61.

5. Діхтярук І. В. Визначення раціональних місць встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів в розподільних мережах напругою 10 кВ / І. В. Діхтярук // Технічна електродинаміка. – 2014. – № 4. – С. 53-54.

6. Діхтярук І. В. Вплив секціонування розподільних мереж напругою 6-10 кВ автоматичними роз'єднувачами на інтегральні показники надійності / І. В. Діхтярук // Технічний аудит та резерви виробництва. – 2016. – № 2/1(28). – С. 35-39.

7. Dikhtiaruk I. V. Removal of insensibility of main protection of the 10kV voltage lines / I. V. Dikhtiaruk, R. A. Byinyi, S.V.Litvyn // Тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі». – Чернігів: ЧНТУ, 2012, Т. 1, с. 277-280.

Здобувачем показано необхідність використання автоматичних секціонуючих комутаційних апаратів для підвищення надійності розподільних мереж напругою 10 кВ.

8. Діхтярук І. В. Автоматичне виділення пошкодженої ділянки в нерезервованих розподільних електричних мережах напругою 6-10 кВ із застосуванням роз'єднувачів нового покоління / І. В. Діхтярук, Р. О. Буйний // Тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі». – Чернігів: ЧНТУ, 2013, Т. 1, с. 295-297.

Здобувачем запропоновано використовувати роз'єднувачі РЛКВ-С-10 з двигунним приводом типу ПДЖ-1 для секціонування розподільних електричних мереж напругою 10 кВ.

9. Діхтярук І. В. Використання автоматичних секціонуючих роз'єднувачів та визначення раціональних місць їх встановлення в мережах з джерелами розосередженої генерації // Тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі». – Чернігів: ЧНТУ, 2015, с. 118-119.

Здобувачем запропоновано використовувати представлення дискретного розподілу потужності споживачів по довжині ЛЕП неперервною функцією для визначення раціональних місць встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів в мережах з ДРГ.

10. Діхтярук І. В. Забезпечення надійності електричних мереж 10 кВ з повітряними лініями з використанням автоматичних роз'єднувачів / І. В. Діхтярук, Р. О. Буйний // Тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі». – Чернігів: ЧНТУ, 2016, с. 113-114.

Здобувачем запропоновано визначати раціональні місця встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів за допомогою представлення дискретного розподілу навантаження споживачів по довжині ЛЕП.

11. Діхтярук І. В. Вплив розподілу ТП вздовж ЛЕП та їх завантаження на величину недовідпуску електричної енергії / І. В. Діхтярук, Р. О. Буйний // Тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі». – Чернігів: ЧНТУ, 2017, с. 68-69.

Здобувачем досліджено вплив зміни навантаження споживачів в електричних мережах напругою 10кВ на раціональні місця встановлення автоматичних роз'єднувачів.

12. Діхтярук І. В. Підвищення ефективності роботи електричних мереж 10 кВ з ДРГ за рахунок автоматичного секціонування // Тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі». – Чернігів: ЧНТУ, 2018, с. 127-128.

АНОТАЦІЇ

Діхтярук І.В. Підвищення надійності електропостачання споживачів в повітряних розподільних мережах напругою 10кВ за рахунок секціонування автоматичними роз'єднувачами. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – Електричні станції, мережі і системи. – Чернігівський національний технологічний університет, Чернігів 2018.

Дисертація присвячена підвищенню надійності розподільних електричних мереж напругою 10 кВ за рахунок секціонування автоматичними роз'єднувачами. В роботі розглянуто основні методи виділення пошкодженої ділянки електричної мережі за допомогою новітніх комутаційних апаратів. Запропоновано використовувати автоматичні секціонуючі роз'єднувачі для виділення пошкодженої

ділянки мережі під час безструмової паузи. Показано можливість використання запропонованого методу для секціонування розподільних мереж напругою 10 кВ, в яких є джерела розподіленої генерації.

Запропоновано дискретний розподіл споживачів по довжині ЛЕП представити у вигляді функціональних залежностей, які характеризують мережі, у яких основна потужність зосереджена на початку лінії, рівномірно розподілена та зосереджена в її кінці. За допомогою представлення дискретного розподілу споживачів по довжині ЛЕП неперервною функцією було вирішено задачу визначення раціональних місць встановлення автоматичних секціонуючих роз'єднувачів в мережах напругою 10 кВ довільної конфігурації без резерву, з ручним та автоматичним включенням резерву, та в аналогічних мережах з ДРГ.

Ключові слова: секціонування, автоматичні роз'єднувачі, показники надійності.

Дихтярук И.В. Повышение надежности электроснабжения потребителей в воздушных распределительных сетях напряжением 10 кВ за счет секционирования автоматическими разъединителями. На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции, сети и системы. – Черниговский национальный технологический университет, Чернигов 2018.

Диссертация посвящена повышению надежности распределительных электрических сетей напряжением 10 кВ за счет секционирования автоматическими разъединителями. В работе рассмотрены основные подходы к выделению поврежденного участка электрической сети с помощью новейших коммутационных аппаратов. Обоснована возможность использования автоматических разъединителей для повышения надежности электроснабжения потребителей за счет выделения поврежденного участка сети во время бестоковой паузы. Суть такого секционирования распределительной электрической сети заключается в выделении отдельных участков электрической сети во время бестоковой паузы (по аналогии с работой отделителей в сетях напряжением 35-110 кВ). Причем выделение участков должно начинаться после второго цикла автоматического повторного включения (АПВ), поскольку первый цикл АПВ позволяет устранить основную массу неустойчивых повреждений. Для всех типов распределительных электрических сетей напряжением 6-10 кВ можно реализовать два цикла АПВ и один цикл ручного повторного включения (РПВ). Преимуществом предложенного метода является более точная оперативная информация относительно определения зоны обесточивания, сокращение расходов на переезды ОВБ и уменьшение времени, необходимого для восстановления электроснабжения потребителей. Простота конструкции и технических решений не требует привлечения специализированного персонала служб и лабораторий электроснабжающих компаний. Показана возможность использования предложенного метода секционирования в распределительных сетях напряжением 10 кВ в которых присутствуют источники распределенной генерации.

Предложен алгоритм работы привода разъединителя, который позволит реализовать метод автоматического секционирования распределительных сетей с помощью разъединителей РЛК-10 и обеспечить их отключение только во время бестоковой паузы.

Предложено дискретное распределение потребителей по длине ЛЭП представить в виде функциональных зависимостей, которые характеризуют сети, в которых основная мощность сосредоточена в начале линии, равномерно распределенная и сосредоточенная в ее конце. Это позволит аналитически определять рациональные места установки автоматических секционирующих разъединителей в электрических сетях напряжением 10 кВ произвольной конфигурации без выполнения громоздких расчетов. С помощью представления дискретного распределения потребителей по длине ЛЭП непрерывной функцией была решена задача определения рациональных мест установки автоматических секционирующих разъединителей в сетях напряжением 10 кВ произвольной конфигурации без резерва, с ручным и автоматическим включением резерва, и в аналогичных сетях с ДРГ.

Эффективность использования автоматических секционирующих разъединителей в распределительных электрических сетях была подтверждена технико-экономическими расчетами.

Показано, что использование автоматических разъединителей для секционирования распределительных сетей напряжением 10 кВ произвольной конфигурации (включая сети с ДРГ) позволяет улучшить надежности SAIDI, SAIFI и ENS.

Ключевые слова: секционированием, автоматические разъединители, показатели надежности.

Dikhtyaruk I.V. Improving the reliability of power supply of consumers in the overhead distribution networks with the voltage 10kV by sectionalization of automatic disconnectors. Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.14.02 - Electric power stations, networks and systems. Chernihiv National University of Technology, Chernihiv 2018.

The dissertation is dedicated to improving the reliability of distribution power networks with voltage 10 kV by automatic partitioning disconnectors. We consider the allocated basic methods of damaged area electrical network using the latest switching devices. The possibility to use automatic disconnects to improve the reliability of power supply by isolating the damaged area network down time during the pause. The possibility of using the proposed method for partitioning distribution networks voltage of 10 kV, which is a source of distributed generation.

A discrete consumer distribution along the length of the transmission line represented as functional relationships that characterize the network in which the main power is concentrated at the beginning of the line evenly distributed and concentrated in the end. With the presentation of discrete consumer distribution along the length of the transmission line continuous function was solved the problem definition of rational places of installation of automatic seksionuyuchykh disconnectors in the 10 kV voltage networks of arbitrary configuration without reserve, with manual and automatic start of reserve, and in similar networks with DRG.

Keywords: sectionalization, automatic disconnectors, reliability.



Підписано до друку 22.10.2018. Формат 60х84/16.

Друк різнографія. Умов. др. арк. 0,9.

Тираж 100 пр. Замов. № 433/18.

Редакційно-видавничий відділ
Чернігівського національного технологічного університету
14035, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.