

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

СИРОТЕНКО МИХАЙЛО ОЛЕКСАНДРОВИЧ



УДК 621.311

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗТАШУВАННЯ
АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В МЕРЕЖАХ 10 КВ**

Спеціальність 05.14.02 – електричні станції, мережі та системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Тимчук Сергій Олександрович,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. Петра Василенка,
професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-
інтегрованих технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Тугай Юрій Іванович,
Інститут електродинаміки НАН України,
завідувач відділу оптимізації систем електропостачання

кандидат технічних наук, доцент
Довгалоюк Оксана Миколаївна,
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»,
доцент кафедри передачі електричної енергії

Захист відбудеться «29» серпня 2016 р. О 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.050.06 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «26» серпня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Шевченко С. Ю.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Тенденцією вдосконалення процесів виробництва і транспортування електроенергії є зниження втрат і витрат різної природи в електромережах. Згідно з Енергетичною стратегією України на період до 2030 року найбільший ефект в цьому напрямку можна отримати в розподільчих електромережах внаслідок їх значної протяжності, складної структури та розгалуженості. Серед причин низької ефективності електромереж вагому роль відіграє час відновлення електропостачання при аварійних відключеннях. В умовах ринкових відносин між постачальниками і споживачами електроенергії наслідком таких відключень є відшкодування збитку споживачам, що передбачено законодавством України.

Одним з основних чинників, що впливають на величину часу відновлення електропостачання, є час, який витрачається на виявлення пошкодженої ділянки мережі. Зменшити цей час дозволяє встановлення додаткових засобів підвищення ефективності електропостачання (ЗПЕЕ). Питанню визначення міць пошкодження (ВМП) в розподільчих електричних мережах (РЕМ) і розміщенню пристроїв, які дозволяють знижувати недовідтпуск електроенергії виключно за рахунок зменшення часу, витраченого на ВМП, в різні часи приділялося багато уваги провідними вченими, такими як: Аржаннікова А. Е., Бондаренко Л. Г., Борухман В. А., Гриб О. Г., Кузнецов А. П., Молодцов В. С., Приходько В. М., Izykowski J., Pereira C. E. M., Verho P та ін. У розвиток методів розміщення секціонуючих апаратів, які також дозволяють зменшувати час виявлення пошкодженої ділянки, внесли свій вклад: Гай А. В., Зорін В. В., Козирський В. В., Петров П. В., Попов В. А., Тисленко В. В., Goel L., Tomsovic K. та ін.

Однак, враховуючи поширеність і різноманітність засобів, що застосовуються для підвищення ефективності електропостачання в лініях електропередачі (ЛЕП) напругою 10 кВ, доцільним є створення науково обґрунтованої і практично прийнятної методики, що дозволяла б здійснювати вибір оптимальної кількості і місця установки при одночасному використанні відразу декількох видів пристроїв.

Таким чином, розроблення сучасного науково-методичного апарату, що враховує наявність у схемі електричної мережі як показників пошкодженої ділянки (ППД), так і секціонуючих апаратів, а також дозволяє визначати оптимальну кількість і місця установки цих ЗПЕЕ при їх поєднанні, являє собою актуальну науково-практичну задачу, оскільки дозволяє скоротити час відновлення електропостачання в мережі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій і кафедрі електропостачання та енергетичного менеджменту Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка згідно завдань держбюджетних НДР МОН України: «Розробка методів і засобів підвищення ефективності керування режимами та транспортуванням електричної енергії у електричних мережах» (ДР № 0110U002506), «Ро-

зробка систем енергетичного менеджменту та методів підвищення ефективності експлуатації електрообладнання АПК» (ДР № 0104U004600) у яких здобувач брав участь в якості виконавця окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. *Метою дослідження є підвищення ефективності електропостачання споживачів шляхом оптимізації кількості та місць встановлення пристроїв для пошуку пошкоджених ділянок та секціонування в розподільчих мережах.*

Для досягнення мети поставлені наступні задачі:

1) дослідження існуючих методів та засобів підвищення ефективності електропостачання в розподільчих мережах;

2) формулювання задачі пошуку оптимального рішення з пріоритетних для особи, що приймає рішення (ОПР), критеріїв;

3) розробка математичних моделей оцінки середнього часу перерв в електропостачанні в розрахунку на одне стійке пошкодження та інтегрального річного недовідпуску електроенергії споживачам, які враховують наявність в розгалуженій розподільчій мережі пристроїв для пошуку пошкоджених ділянок та секціонуючих апаратів;

4) розробка алгоритму пошуку оптимального рішення з пріоритетних для ОПР критеріїв при детермінованих вихідних даних, а також в умовах невизначеності вихідної інформації;

5) дослідження впливу невизначеності вхідних параметрів розроблених моделей і методів на результат оптимізації розташування ЗПЕЕ в розподільчій мережі;

6) розробка обчислювальної програми та визначення оптимальних схем розташування ЗПЕЕ для типових розподільчих мереж 10 кВ при різних поєднаннях потужності електроустановок споживачів та довжини ЛЕП.

Об'єкт дослідження – процес локалізації пошкоджень при аварійних режимах роботи розгалужених електричних мереж сільських регіонів з установленими засобами підвищення ефективності електропостачання.

Предмет дослідження – оптимізація розташування апаратних засобів підвищення ефективності електропостачання в розгалужених електричних мережах 10 кВ.

Методи дослідження. В основу роботи покладено системний підхід при проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, що базується на фундаментальних положеннях теорії нечітких множин, теорії матриць, теорії прийняття рішень та теорії ймовірності. Математична обробка результатів виконувалася з використанням сучасного програмного забезпечення (пакета MATLAB), методів нечіткого та дискретного програмування. Надійність розробки забезпечена коректним використанням методів дослідження та підтверджена експериментальними дослідженнями.

Наукова новизна отриманих результатів:

1) вперше розроблено математичну модель оцінки середнього часу перерв в електропостачанні в розрахунку на одне стійке пошкодження, яка дозволяє враховувати наявність у розгалуженій розподільчій мережі як пристроїв для пошуку пошкоджених ділянок, так і секціонуючих апаратів;

2) удосконалено метод оцінки інтегрального річного недовідпуску електроенергії споживачам, який дозволяє враховувати наявність різних апаратних ЗПЕЕ у розгалуженій розподільчій мережі 10 кВ в умовах невизначеності вихідної інформації;

3) вперше розроблений та теоретично обґрунтований метод пошуку оптимальної схеми розташування ЗПЕЕ за пріоритетними для ОПР критеріями, що дозволяє зменшити кількість ітерацій, а також здійснювати вибір типу та місця введення апарату при поетапній послідовній автоматизації мережі.

Практичне значення одержаних результатів для електроенергетичної галузі полягає у розробці методики оцінки середнього часу перерв в електропостачанні на основі використання рекурентних матричних виразів, яка дозволяє враховувати наявність різних ЗПЕЕ в мережах 10 кВ. Запропоновано алгоритм та програмне забезпечення оптимізації розташування ЗПЕЕ, які можуть бути використані при проектуванні та реконструкції розподільчих електромереж 10 кВ.

Результати дисертаційної роботи у вигляді методик та результатів розрахункових досліджень впроваджено: в АК «Харківобленерго» (м. Харків), у навчальному процесі Харківського національного технічного університету сільськогосподарства ім. Петра Василенка при підготовці лекційних курсів «Основи нечіткого логічного керування» та «Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів» для студентів спеціальностей 8.05020201 «Автоматизоване управління технологічними процесами» та 8.05020202 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва».

Особистий внесок здобувача. Наукові положення, що увійшли до дисертаційної роботи, отримані здобувачем самостійно. Серед них: розробка методів оцінки середнього часу перерв в електропостачанні в розрахунку на одне стійке пошкодження та інтегрального річного недовідпуску електроенергії споживачам; формулювання завдання пошуку оптимального рішення і розробка алгоритму, що дозволяє зменшувати кількість ітерацій при оптимізації схеми розташування ЗПЕЕ за пріоритетними для ОПР критеріями; розробка обчислювальної програми автоматизованого пошуку оптимальної кількості та місць встановлення різних ЗПЕЕ в розподільчих мережах; результати оцінки рівня ефективності використання розробленого програмного продукту; результати дослідження впливу параметрів ЛЕП на очікуваний результат оптимізації схеми розташування ЗПЕЕ в розподільчій мережі 10 кВ.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися та були схвалені на: Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК» (Харків, 2011 р., 2012 р., 2013 р., 2015 р.); 7-й Всеросійській науково-технічній конференції «Енергетика, управление, качество и эффективность использования энергоресурсов» (Благовещенськ, Росія, 2013 р.); 2, 3 Всеукраїнських науково-практичних конференціях «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (Київ, 2012 р., 2013 р.); Всеукраїнському науково-практичному семінарі «Системи засобів автоматизації: застосування у навчальному процесі й виробництві» (Харків, 2015 р.); 4-й заочній науковій конференції «Научные итоги

2015 г.» (Харків, 2015 р.).

Публікації. Основні наукові положення за матеріалами дисертаційної роботи опубліковані у 12 друкованих працях, з них: 9 статей у наукових фахових виданнях України (4 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз), 3 – у матеріалах конференцій та семінарів.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Загальний обсяг дисертації складає 217 сторінок, серед них: 43 рисунки по тексту, 20 таблиць по тексту, список використаних джерел містить 88 найменувань на 10 сторінках, додаток на 52 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність та доцільність теми дослідження, сформульовано мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значущість роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз існуючих підходів до ВМП та секціонування і досліджено засоби, які використовуються для підвищення ефективності електропостачання в розподільчих мережах сільських регіонів. Здійснено аналіз причин відключень споживачів, приєднаних до розподільчих мереж, і отримані дані про кількість, час та причину ушкоджень, що дозволяє використовувати їх в моделі з оцінки економічного ефекту від установки ЗПЕЕ. Проведено аналіз методів оцінки ефективності використання різних апаратних засобів в розподільчій мережі 10 кВ і показана доцільність використання елементарних показників економічного ефекту для побудови математичної моделі оптимізації кількості та місць установки ЗПЕЕ.

Відзначено, що підвищення ефективності електропостачання споживачів сільських регіонів доцільно шляхом оптимізації розташування апаратних засобів. Досягнення такого результату неможливе без розробки сучасних моделей та методів, які дозволяють враховувати одночасне використання секціонуючих комутаційних апаратів (КА) і ППД в розгалужених розподільчих мережах 10 кВ.

У **другому розділі** розроблені математичні моделі оцінки ефекту від установки різних видів ЗПЕЕ та сформовано підхід до оптимізації їх розташування в розгалужених розподільчих мережах сільських регіонів.

Математична модель розміщення ЗПЕЕ побудована виходячи з припущення, що процес функціонування розподільчої мережі підпорядковується закономірності, яка визначає стаціонарний пуассонівський потік. При цьому будь-яка розгалужена мережа розглядається як мережа (рис. 1, а), в якій кількість відгалужень від магістралі визначається числом N . Кожне з них, у свою чергу, має відгалуження, кількість яких визначається числом N_i , $N_{i(k)}$ і т. д. В залежності від кількості відгалужень, магістраль лінії (відгалуження, відгалуження від відгалуження і т. д.) розбивається на послідовні ділянки, які визначаються довжинами l_i ($l_{i(k)}$, $l_{i(k(r))}$) і т. д. відповідно). Нумерація послідовних ділянок, як і нуме-

рація відгалужень, починається з нуля, як це показано на рис. 1, б. Наприкінці магістралі лінії завжди знаходиться одна підстанція з розрахунковою активною споживаною потужністю електроустановок споживачів P (у випадку, якщо в мережі є магістральне резервування, $P=0$), відповідно в кінці відгалужень від магістралі – P_i , відгалужень від відгалужень – $P_{i(k)}$ і т. д.

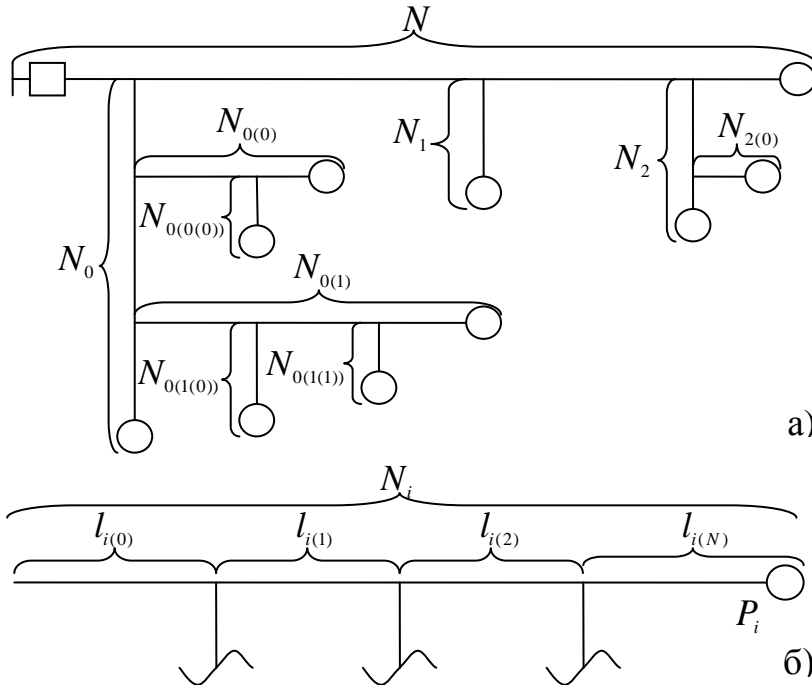


Рисунок 1 – Схема: а) мережі із зазначенням кількості відгалужень; б) i -го відгалуження із зазначенням довжин послідовних ділянок і потужності електроустановок споживачів

З урахуванням того, що місця потенційної установки будь-яких ЗПЕЕ, що сигналізують про місцезнаходження пошкодженої ділянки, знаходяться відразу після точок розгалуження лінії (при наявності мережевого резервування, допускається установка ЗПЕЕ і

а) безпосередньо перед відгалуженнями на ділянках магістралі) в якості можливих альтернатив для кожного такого місця аналізуються чотири варіанти:

а) установка ППД; б) установка ППД, який може передавати інформацію про місце пошкодження безпосередньо на диспетчерський пункт (ДП); в) установка ППД, який має можливість передачі інформації про місце пошкодження на ДП, спільно з ЛР, встановленим на сусідній опорі; г) установка автоматичного секціонуючого апарату.

Наявність або відсутність апарату визначається коефіцієнтами b^a , b^b , b^c і b^d відповідно, які приймають значення 1, якщо він встановлений в тому чи іншому місці можливої установки, і 0 – якщо ні.

Математичні моделі оцінки середнього часу, що витрачається бригадою від моменту початку пошуку до моменту ВМП τ' , та середньої тривалості етапу локалізації пошкодженої ділянки мережі τ_l описуються формулами:

$$\tau' = \tau_l + \frac{(s^{\text{нісл.нер.}} - s^{\text{обходу}}) \cdot k_{\text{кр.}}}{V_{\text{сер.}}} + \frac{s^{\text{обходу}}}{V_x}, \quad (1)$$

$$\tau_l = \frac{(s^{\text{пошуку}} - s^{\text{нісл.нер.}}) \cdot k_{\text{кр.}}}{V_{\text{сер.}}}, \quad (2)$$

де V_x – середня швидкість обходу, км/год; $V_{\text{сер.}}$ – середня швидкість руху брига-

ди на автомашині, км/год; $k_{кр}$ – коефіцієнт кривизни доріг по відношенню до повітряної прямої, що з'єднує кінцеві точки маршруту переїзду бригади.

Для розрахунку середньої відстані, що долає ремонтна бригада від моменту початку пошуку $s^{пошуку}$ і від моменту локалізації пошкодженої ділянки $s^{нісл.пер.}$ до моменту ВМП, а також середньої відстані, що долає бригада під час обходу пошкоджених ділянок мережі $s^{обходу}$, розроблені рекурентні матричні співвідношення:

$$s^{пошуку} = \left\{ \left[\frac{1}{2} \cdot L^{носл.} \cdot C^{носл.} + L^{носл.} \cdot (A \cdot C^{носл.} + A \cdot U) + \right. \right. \\ \left. \left. + 2 \cdot L^{абвз} \cdot H \cdot (N^{бвз T} \cdot C^{носл.} + K^{бвз T} \cdot Y^{бвз}) \right] / l_{заг.} + T^{пошуку} \right\} \cdot Q, \quad (3)$$

де матриця $L^{носл.}$ має вигляд $L^{носл.} : \{l_{1,n}^{эл.}\}$, $n = \overline{1, N+1}$, $l_{1,n}^{эл.} = l_{n-1}$; $C^{носл.} : \{c_{m,n}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $c_{m,n} = l_{m-1}$ при $m=n$, $c_{m,n} = 0$ при $m \neq n$; $A : \{a_{m,n}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $a_{m,n} = 0$ при $m \geq n$, $a_{m,n} = 1$ при $m < n$; $Q : \{q_{m,1}\}$, $m = \overline{1, N+1}$, $q_{m,1} = 1$; $U : \{u_{m,n}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $u_{m,n} = (L_{m-2}^{носл.} + Q_{m-2}^T \cdot U_{m-2}) \cdot Q_{m-2}$ при $m=n$ та $m \neq 1$, $u_{m,n} = 0$ при $m \neq n$ або $m=n=1$; $H : \{h_{m,n}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $h_{m,n} = \overline{b_m^a}$ при $m=n$ та $m \neq N+1$, $h_{m,n} = 0$ при $m \neq n$ або $m=n=N+1$; $L^{абвз} : \{l_{1,n}^{эл.}\}$, $n = \overline{1, N+1}$, $l_{1,n}^{эл.} = (L_{n-1}^{носл.} + L_{n-1}^{абвз}) \cdot X_{n-1}^{абвз} \cdot Q_{n-1}$ при $n \neq N+1$, $l_{1,n}^{эл.} = 0$ при $n = N+1$; $Y^{бвз} : \{y_{m,n}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $y_{m,n} = (L_{m-1}^{носл.} + Q_{m-1}^T \cdot Y_{m-1}^{бвз}) \cdot X_{m-1}^{бвз} \cdot Q_{m-1}$ при $m=n$ та $m \neq N+1$, $y_{m,n} = 0$ при $m \neq n$ або $m=n=N+1$; $X^{абвз} : \{x_{m,n}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $x_{m,n} = \prod_{k=0}^{m-1} \overline{b_k^a} \cdot \overline{b_k^б} \cdot \overline{b_k^в} \cdot \overline{b_k^г}$ при $m=n$, $x_{m,n} = 0$ при $m \neq n$; $X^{бвз} : \{x_{m,n}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $x_{m,n} = \prod_{k=0}^{m-1} \overline{b_k^б} \cdot \overline{b_k^в} \cdot \overline{b_k^г}$ при $m=n$, $x_{m,n} = 0$ при $m \neq n$; $N^{бвз} : \{n_{m,n}^{эл.}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $n_{m,n}^{эл.} = \overline{b_{m-1}^б} \cdot \overline{b_{m-1}^в} \cdot \overline{b_{m-1}^г}$ при $m=n+1$, $n_{m,n}^{эл.} = \prod_{k=n}^{m-1} \overline{b_k^б} \cdot \overline{b_k^в} \cdot \overline{b_k^г} \cdot \prod_{r=n}^{m-2} \overline{b_r^б'} \cdot \overline{b_r^в'} \cdot \overline{b_r^г'}$ при $m > n+1$, $n_{m,n}^{эл.} = 0$ при $m \leq n$; $K^{бвз} : \{k_{m,n}^{эл.}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $k_{m,n}^{эл.} = \prod_{k=n}^{m-1} \overline{b_k^б} \cdot \overline{b_k^в} \cdot \overline{b_k^г} \cdot \prod_{r=n}^{m-1} \overline{b_r^б'} \cdot \overline{b_r^в'} \cdot \overline{b_r^г'}$ при $m > n$, $k_{m,n}^{эл.} = 0$ при $m \leq n$; $T^{пошуку} : \{t_{1,n}\}$, $n = \overline{1, N+1}$, $t_{1,n} = s_{n-1}^{пошуку}$ при $n \neq N+1$, $t_{1,n} = 0$ при $n = N+1$; $l_{заг.}$ – загальна довжина лінії з відгалуженнями, км;

$$s^{нісл.пер.} = \left\{ \left[\frac{1}{2} \cdot L^{носл.} \cdot C^{носл.} + L^{носл.} \cdot (W^б \cdot C^{носл.} + Z^в \cdot Y^б) + \right. \right. \\ \left. \left. + 2 \cdot L^{абвз} \cdot H \cdot (N^{бвз T} \cdot C^{носл.} + K^{бвз T} \cdot Y^{бвз}) \right] / l_{заг.} + T^{нісл.пер.} \right\} \cdot Q, \quad (4)$$

де матриця $W^б$ має вигляд $W^б : \{w_{m,n}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $w_{m,n} = 0$ при $m \geq n$, $w_{m,n} = \prod_{k=m-1}^{n-2} \overline{b_k^б} \cdot \prod_{r=m}^{n-1} \overline{b_r^б'}$ при $m < n$; $Z^в : \{z_{m,n}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $z_{m,n} = 0$ при $m > n$,

$z_{m,n} = \overline{b_{m-1}^{\epsilon}}$ при $m=n$, $z_{m,n} = \prod_{k=m-1}^{n-1} \overline{b_k^{\epsilon}} \cdot \prod_{r=m}^{n-1} \overline{b_r^{\epsilon'}}$ при $m < n$; $Y^{\epsilon} : \{y_{m,n}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$,
 $y_{m,n} = (L_{m-1}^{носл.} + Q_{m-1}^T \cdot Y_{m-1}^{\epsilon}) \cdot X_{m-1}^{\epsilon} \cdot Q_{m-1}$ при $m=n$ та $m \neq N+1$, $y_{m,n} = 0$ при
 $m \neq n$ або $m=n=N+1$; $X^{\epsilon} : \{x_{m,n}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $x_{m,n} = \prod_{k=0}^{m-1} \overline{b_k^{\epsilon}}$ при $m=n$, $x_{m,n} = 0$
 при $m \neq n$; $T^{нісл.пер.} : \{t_{1,n}\}$, $n = \overline{1, N+1}$, $t_{1,n} = s_{n-1}^{носл.пер.}$ при $n \neq N+1$, $t_{1,n} = 0$ при $n = N+1$;

$$\begin{aligned}
 s^{обходь} = & \left\{ \left[\frac{1}{2} \cdot L^{носл.} \cdot C^{носл.} + L^{носл.} \cdot (W^{\overline{\delta\epsilon z}} \cdot C^{носл.} + Z^{\overline{\delta\epsilon z}} \cdot Y^{\overline{\delta\epsilon z}}) + \right. \right. \\
 & \left. \left. + L^{\overline{\delta\epsilon z}} \cdot H \cdot (N^{\overline{\delta\epsilon z} T} \cdot C^{носл.} + K^{\overline{\delta\epsilon z} T} \cdot Y^{\overline{\delta\epsilon z}}) \right] / l_{заг.} + T^{обходь} \right\} \cdot Q, \quad (5)
 \end{aligned}$$

де матриця $W^{\overline{\delta\epsilon z}}$ має вигляд $W^{\overline{\delta\epsilon z}} : \{w_{m,n}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $w_{m,n} = 0$ при $m \geq n$,
 $w_{m,n} = \prod_{k=m-1}^{n-2} \overline{b_k^{\delta}} \cdot \overline{b_k^{\epsilon}} \cdot \overline{b_k^{\zeta}} \cdot \prod_{r=m}^{n-1} \overline{b_r^{\delta'}}$ при $m < n$; $Z^{\overline{\delta\epsilon z}} : \{z_{m,n}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $z_{m,n} = 0$ при
 $m > n$, $z_{m,n} = \overline{b_{m-1}^{\delta}} \cdot \overline{b_{m-1}^{\epsilon}} \cdot \overline{b_{m-1}^{\zeta}}$ при $m=n$, $z_{m,n} = \prod_{k=m-1}^{n-1} \overline{b_k^{\delta}} \cdot \overline{b_k^{\epsilon}} \cdot \overline{b_k^{\zeta}} \cdot \prod_{r=m}^{n-1} \overline{b_r^{\delta'}}$ при $m < n$;
 $T^{обходь} : \{t_{1,n}\}$, $n = \overline{1, N+1}$, $t_{1,n} = s_{n-1}^{обходь}$ при $n \neq N+1$, $t_{1,n} = 0$ при $n = N+1$.

В основу математичної моделі оцінки річного недовідпуску електричної енергії покладено припущення, що його залежність від схеми установки секціонуючих апаратів, визначається деяким числом r розмірністю кВт*км. З урахуванням запропонованої моделі оцінки середнього часу перерв (1, 2) в електропостачанні, вираз для розрахунку недовідпуску електроенергії ΔW в будь-якій одноколовій нерезервованій мережі отримав вигляд

$$\Delta W = r^{\zeta} \cdot w \cdot (\tau_{\zeta} + \tau_{\delta}) + r^{\delta\zeta} \cdot w \cdot (\tau' - \tau_{\zeta} + \tau_p) + r^{\delta\zeta} \cdot \lambda \cdot \nu \cdot \eta, \quad (6)$$

де w , ν – частота аварійних та планових відключень відповідно, 1/(рік*км); η – середня тривалість планового відключення, год; λ – коефіцієнт, що враховує меншу тяжкість планових відключень; r^{ζ} та $r^{\delta\zeta}$ визначаються за рекурентними матричними формулами:

$$r^{\zeta} = (L^{носл.} + L^{\zeta}) \cdot (M - X^{\zeta}) \cdot B^{\zeta} \cdot (M - X^{\zeta}) \cdot S^{ном.} + R^{\zeta} \cdot Q, \quad (7)$$

де матриця M має вигляд $M : \{m_{m,n}^{\zeta}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $m_{m,n}^{\zeta} = 1$ при $m=n$, $m_{m,n}^{\zeta} = 0$ при
 $m \neq n$; $L^{\zeta} : \{l_{1,n}^{\zeta}\}$, $n = \overline{1, N+1}$, $l_{1,n}^{\zeta} = (L_{n-1}^{носл.} + L_{n-1}^{\zeta}) \cdot X_{n-1}^{\zeta} \cdot Q_{n-1}$ при $n \neq N+1$, $l_{1,n}^{\zeta} = 0$ при
 $n = N+1$; $X^{\zeta} : \{x_{m,n}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $x_{m,n} = \prod_{k=0}^{m-1} \overline{b_k^{\zeta}}$ при $m=n$, $x_{m,n} = 0$ при $m \neq n$;
 $B^{\zeta} : \{b_{m,n}^{\zeta}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $b_{m,n}^{\zeta} = \prod_{k=n}^{m-1} \overline{b_k^{\zeta}}$ при $m > n$, $b_{m,n}^{\zeta} = 1$ при $m \leq n$;
 $S^{ном.} : \{s_{m,1}\}$, $m = \overline{1, N+1}$, $s_{m,1} = Q_{m-1}^T \cdot S_{m-1}^{моуфт.}$ при $m \neq N+1$, $s_{m,1} = P \cdot \overline{b^{M.пез.}}$ при $m = N+1$;
 $R^{\zeta} : \{r_{1,n}^{\zeta}\}$, $n = \overline{1, N+1}$, $r_{1,n}^{\zeta} = r_{n-1}^{\zeta}$ при $n \neq N+1$, $r_{1,n}^{\zeta} = 0$ при $n = N+1$;

$$r^{6z} = (L^{nocl.} + L^{6z}) \cdot (M - X^{6z}) \cdot B^{6z} \cdot (M - X^{6z}) \cdot S^{nom.} + R^{6z} \cdot Q, \quad (8)$$

де матриця L^{6z} має вигляд $L^{6z} : \{l_{1,n}^{6z}\}$, $n = \overline{1, N+1}$, $l_{1,n}^{6z} = (L_{n-1}^{nocl.} + L_{n-1}^{6z}) \cdot X_{n-1}^{6z} \cdot Q_{n-1}$ при $n \neq N+1$, $l_{1,n}^{6z} = 0$ при $n = N+1$; $X^{6z} : \{x_{m,n}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $x_{m,n} = \prod_{k=0}^{m-1} \overline{b_k^g} \cdot \overline{b_k^z}$ при $m = n$, $x_{m,n} = 0$ при $m \neq n$; $B^{6z} : \{b_{m,n}^{6z}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $b_{m,n}^{6z} = \prod_{k=n}^{m-1} \overline{b_k^g} \cdot \overline{b_k^z}$ при $m > n$, $b_{m,n}^{6z} = 1$ при $m \leq n$; $R^{6z} : \{r_{1,n}^{6z}\}$, $n = \overline{1, N+1}$, $r_{1,n}^{6z} = r_{n-1}^{6z}$ при $n \neq N+1$, $r_{1,n}^{6z} = 0$ при $n = N+1$.

У випадку ж якщо на магістралі лінії встановлене автоматичне введення резерву (АВР), формула для розрахунку очікуваного недовідпуску електроенергії ΔW приймає вигляд

$$\begin{aligned} \Delta W = & \left\{ \left[L^{nocl.} \cdot (N^z + Z^z) + L^z \cdot (K^z + K^{zT} + M) \right] \cdot S^{nom.} + R^z \cdot Q \right\} \cdot w \cdot (\tau_n + \tau_\theta) + \\ & + \left\{ \left[L^{nocl.} \cdot (N^{6z} + Z^{6z}) + L^{6z} \cdot (K^{6z} + K^{6zT} + M) \right] \cdot S^{nom.} + R^{6z} \cdot Q \right\} \cdot w \cdot (\tau' - \tau_n + \tau_p) + \\ & + \left\{ \left[L^{nocl.} \cdot (N^{6z} + Z^{6z}) + L^{6z} \cdot (K^{6z} + K^{6zT} + M) \right] \cdot S^{nom.} + R^{6z} \cdot Q \right\} \cdot \lambda \cdot v \cdot \eta, \quad (9) \end{aligned}$$

де матриця Z^{6z} має вигляд $Z^{6z} : \{z_{m,n}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $z_{m,n} = 0$ при $m > n$, $z_{m,n} = \overline{b_{m-1}^g} \cdot \overline{b_{m-1}^z}$ при $m = n$, $z_{m,n} = \prod_{k=m-1}^{n-1} \overline{b_k^g} \cdot \overline{b_k^z} \cdot \prod_{r=m}^{n-1} \overline{b_r^{g'}}$ при $m < n$; $N^z : \{n_{m,n}^z\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $n_{m,n}^z = \overline{b_{m-1}^g}$ при $m = n+1$, $n_{m,n}^z = \prod_{k=n}^{m-1} \overline{b_k^g} \cdot \prod_{r=n}^{m-2} \overline{b_r^{g'}}$ при $m > n+1$, $n_{m,n}^z = 0$ при $m \leq n$; $N^{6z} : \{n_{m,n}^{6z}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $n_{m,n}^{6z} = \overline{b_{m-1}^g} \cdot \overline{b_{m-1}^z}$ при $m = n+1$, $n_{m,n}^{6z} = \prod_{k=n}^{m-1} \overline{b_k^g} \cdot \overline{b_k^z} \cdot \prod_{r=n}^{m-2} \overline{b_r^{g'}}$ при $m > n+1$, $n_{m,n}^{6z} = 0$ при $m \leq n$; $K^z : \{k_{m,n}^z\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $k_{m,n}^z = \prod_{k=n}^{m-1} \overline{b_k^g} \cdot \prod_{r=n}^{m-1} \overline{b_r^{g'}}$ при $m > n$, $k_{m,n}^z = 0$ при $m \leq n$; $K^{6z} : \{k_{m,n}^{6z}\}$, $m, n = \overline{1, N+1}$, $k_{m,n}^{6z} = \prod_{k=n}^{m-1} \overline{b_k^g} \cdot \overline{b_k^z} \cdot \prod_{r=n}^{m-1} \overline{b_r^{g'}}$ при $m > n$, $k_{m,n}^{6z} = 0$ при $m \leq n$.

Для розрахунку загального збитку від недовідпуску електричної енергії в нерезервованих та резервованих мережах використовуються вирази (6) та (9) відповідно. Проте, для урахування можливості приєднання до однієї розподільчої мережі споживачів з різною величиною удільного збитку від перерв в електропостачанні у (у.о./кВт*год), величини r^z та r^{6z} в цих виразах замінюються на e^z та e^{6z} , розрахунок яких здійснюється аналогічно формулам (7) та (8) відповідно, де замість матриці $S^{nom.}$ використовується матриця $S^{збум.}$, яка має вигляд $S^{збум.} : \{s_{m,1}\}$, $m = \overline{1, N+1}$, де $s_{m,1} = Q_{m-1}^T \cdot S_{m-1}^{збум.}$ при $m \neq N+1$ та $s_{m,1} = P \cdot y \cdot \overline{b^{м.рез.}}$ при $m = N+1$.

Ефект Eff від впровадження певної схеми розташування апаратів, визначеної альтернативою x_i , розраховується як сума ефектів від зменшення недовідпуску електроенергії та скорочення витрат на пошук місця пошкодження. При

цьому доцільність установки ЗПЕЕ, визначається перевагою очікуваного ефекту над річними приведеними витратами та обслуговуванням цих апаратів $Eff(x_i) > Z_{np.}(x_i)$. У разі ж якщо схема розміщення пристроїв x_i , задовольняє цій умові, то $x_i \in X$. З безлічі альтернатив X і здійснюється пошук єдиних рішень за пріоритетними для ОПР оптимізаційними критеріями:

$$r_{Eff(i)} \in \arg \min_{y_i \in \arg \max_{x_i \in X} (Eff(x_i))} Z_{np.}(y_i), \quad (10)$$

$$r_{Z_{np.}(i)} \in \arg \max_{y_i \in \arg \min_{x_i \in X} (Z_{np.}(x_i))} Eff(y_i), \quad (11)$$

$$r_{Opt(i)} \in \arg \min_{x_i \in X} \left((Eff(x_i) - Eff_{perf})^2 + (Z_{np.}(x_i))^2 \right), \quad (12)$$

де $r_{Eff(i)}$ – оптимальне рішення за пріоритетом ефекту від установки; $r_{Z_{np.}(i)}$ – оптимальне рішення за пріоритетом приведених витрат; $r_{Opt(i)}$ – оптимальне рішення при паритеті обох критеріїв; Eff_{perf} – очікуваний середньорічний збиток від перерв в електропостачанні споживачів без ЗПЕЕ, у.о./рік.

Розрахункові дослідження показали, що оптимальна схема розміщення ЗПЕЕ при пріоритеті одного з критеріїв для i точок, зайнятих апаратами, завжди включає оптимальну схему розміщення ЗПЕЕ при пріоритеті того ж критерію для $(i-1)$ точок. Дана властивість системи дозволила розробити алгоритм пошуку раціональних рішень, що значно знижує кількість виконуваних ітерацій, за рахунок розбиття кінцевої множини альтернатив X на непересічні класи X_i :

$$X = X_1 \cup X_2 \cup \dots \cup X_k : X_i \cap X_j = \emptyset, \text{ при } \forall i, j \in \{1; \dots; k\}, i \neq j, \quad (13)$$

де k – відповідає загальній кількості точок у мережі, установка апаратів в яких може бути доцільною; i – відповідає кількості точок, в яких встановлені апарати, у поточній альтернативі.

У третьому розділі обґрунтовано необхідність задавання величин вхідних параметрів розробленої математичної моделі оцінки удільних збитків від перерв в електропостачанні у вигляді нечітких трикутних чисел та показано доцільність використання критерію Гурвіца при виборі оптимальної системи підвищення надійності в умовах невизначеності.

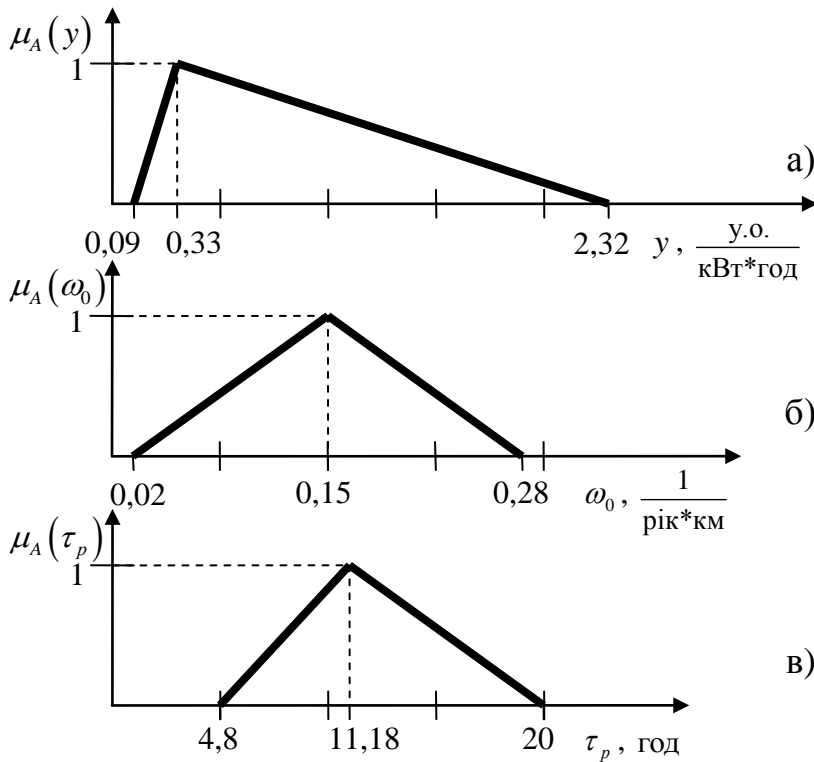


Рисунок 2 – Трикутна функція приналежності величини: а) питомого збитку; б) питомої частоти стійких відказів; в) середнього часу ремонту

На рис. 2 показані трикутні функції приналежності величин питомого збитку $\mu_A(y)$ та показників надійності $\mu_A(\omega_0)$ і $\mu_A(\tau_p)$, які були отримані в ході проведення розрахункового дослідження. Проведений чисельний експеримент довів, що невизначеність цих показників тягне за собою й невизначеність на етапі вибору оптимальної схеми розміщення ЗПЕЕ, розкриття якої за допомогою критеріїв крайнього песимізму неможливе через відсутність альтернатив, що задовольняють умові $Eff(x_i) > Z_{np.}(x_i)$ у такому випадку. У той же час ОПР має володіти достатньо високим ступенем відповідальності, який у запропонованій методиці забезпечується використанням критерію Гурвіца

$$M = \max_{1 \leq i \leq m} \left\{ \alpha \cdot \min_{1 \leq j \leq n} a_{ij} + (\alpha - 1) \cdot \max_{1 \leq j \leq n} a_{ij} \right\}, \quad (14)$$

Задавання значення альфа-коефіцієнта $\alpha \in [0;1]$ надає можливість ОПР максимально точно ідентифікувати ступінь своїх конкретних ризикових переваг та отримувати раціональні рішення в умовах невизначеності вихідної інформації.

У четвертому розділі наведено результати практичної реалізації розроблених методів пошуку оптимальної кількості та місць розташування ЗПЕЕ в розгалужених розподільчих мережах.

Для автоматизації процесу пошуку оптимального рішення в середовищі Delphi 7 розроблена спеціалізована обчислювальна програма «ПоискСПН.exe», яка реалізує запропоновані моделі (1–9) і методи розташування ЗПЕЕ. Інтерфейс даного програмного продукту передбачає форми для задавання топології мережі, параметрів навантаження і довжини кожного відгалуження, а також загальних параметрів, необхідних для розрахунку недовідпуску електроенергії та ефекту від встановлення ЗПЕЕ. Результат оптимізації виводиться у вигляді графіку, на якому відображається множина невідомованих альтернатив, отримана в ході реалізації запропонованого алгоритму, а також у вигляді текстової

інформації про параметри мережі, єдине рішення з пріоритетних для ОПР критеріїв та схеми установки ЗПЕЕ відповідно до кожної альтернативи, відзначеної на зображеному графіку.

Виконано розрахунковий експеримент з оцінки ефективності використання запропонованої методики оптимізації схеми розташування ППД в секціонованих електромережах. В табл. 1 представлена схема розташування ЗПЕЕ (рис. 3) в типовій розподільчій мережі 10 кВ, що впроваджена за допомогою існуючих методик, а також результати пошуку раціональних рішень, що отримані за до-

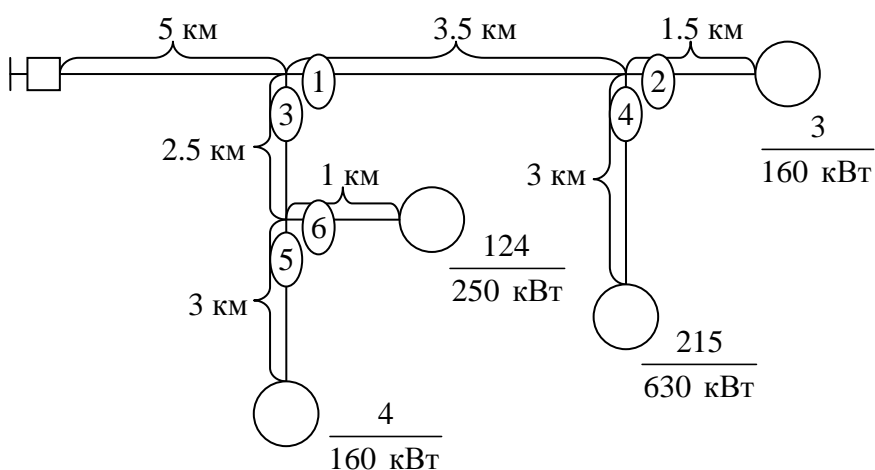


Рисунок 3 – Схема типової розгалуженої мережі 10 кВ із зазначенням потенційних місць установки ЗПЕЕ

помогою розроблених моделей та методів з зазначенням терміну окупності та зменшення загального збитку від перерв в електропостачанні порівняно з мережею без ЗПЕЕ.

Проведене дослідження показало, що зниження загального збитку від перерв в електропостачанні споживачів у випадку застосування запропо-

нованої методики до 58% вище, ніж при застосуванні стандартних підходів до проектування розподільчих мереж.

Таблиця 1 – Схема розміщення ЗПЕЕ в типовій розподільчій мережі 10 кВ

Засіб отримання результатів	№ альт.	Наявність ЗПЕЕ в потенційному місці установки						Термін окупності $T_{ок.}$, рік	Зменшення заг. збитку до, %
		1	2	3	4	5	6		
Існуючі методики	–	–	–	ЛР	ЛР	–	–	0,13	32,44
Запропонована методика оптимізації розташування ЗПЕР	1	в	–	в	–	–	–	0,51	40,90
	2	в	в	в	–	–	–	0,72	45,21
	3	в	в	в	–	в	–	0,92	48,39
	4	в	в	в	в	в	–	1,14	50,51
	5	в	в	в	в	в	в	1,40	51,32

На рис. 4 показано як в залежності від поєднань значень довжини ЛЕП від джерела живлення до i -го споживача та потужності його електроустановок змінюється очікуваний результат оптимізації схеми розташування ЗПЕЕ в резервованій та нерезервованій РЕМ.

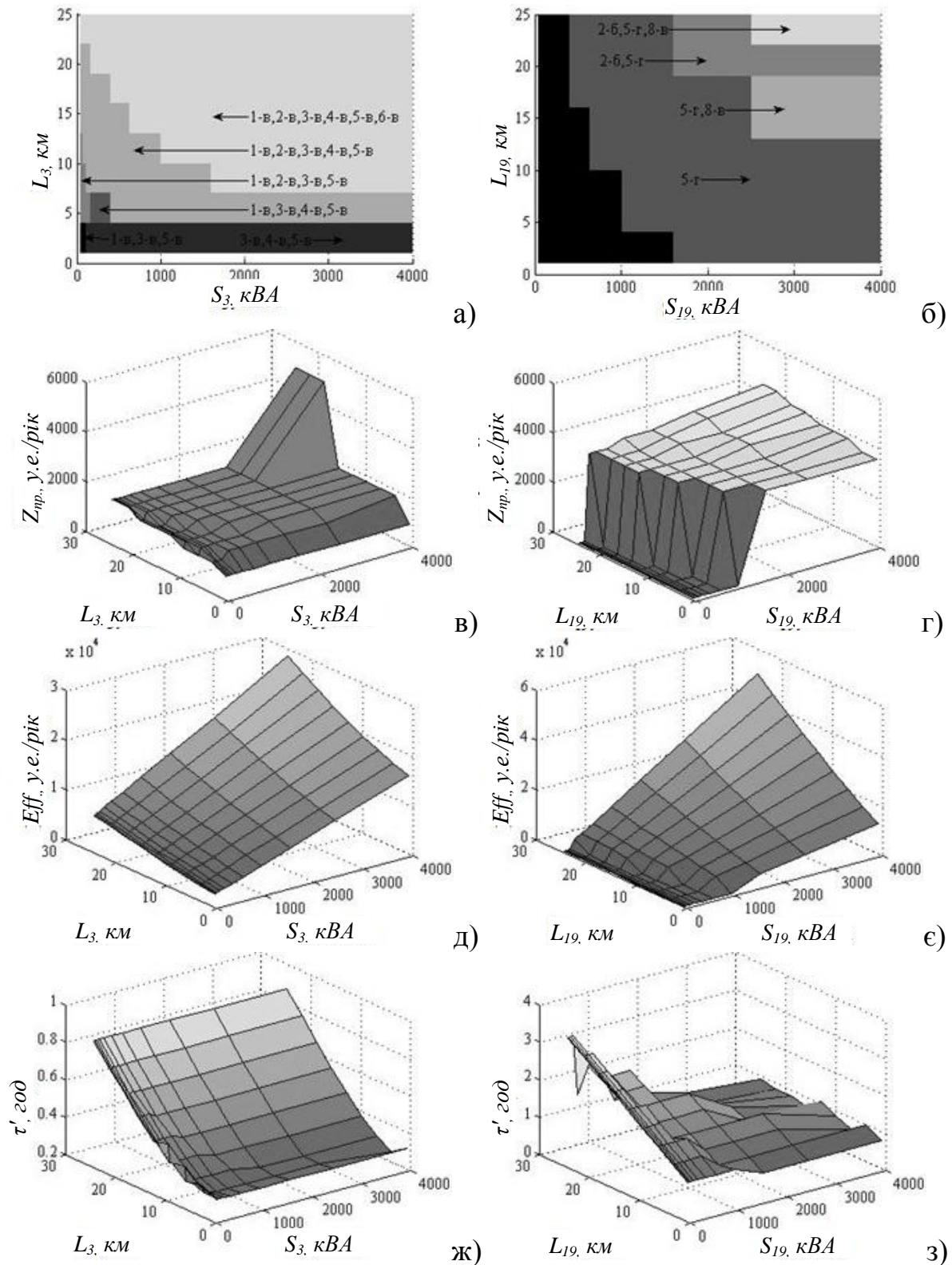


Рисунок 4 – Вплив довжини ЛЕП та потужності електроустановок споживачів на: а) оптимальну схему розташування ЗПЕЕ при паритеті критеріїв в нерезерованій РЕМ; б) оптимальну схему розташування ЗПЕЕ при паритеті критеріїв в резервованій РЕМ; в) величину приведених витрат на установку пристроїв в нерезерованій РЕМ; г) величину приведених витрат на установку пристроїв в резервованій РЕМ; д) величину ефекту від установки ЗПЕЕ в нерезерованій РЕМ; е) величину ефекту від установки ЗПЕЕ в резервованій РЕМ; ж) величину середнього часу ВМП в нерезерованій РЕМ; з) величину середнього часу ВМП в резервованій РЕМ

Проведені чисельні експерименти визначили, що в розгалужених нерезервованих мережах 10 кВ як при малих, так і при великих потужностях електроустановок споживачів найбільш ефективною є установка ЛР спільно з ППД, що дозволяє передавати інформацію про місце пошкодження на ДП. У той же час установка ЗПЕЕ в мережах з резервуванням є більш дорожчою, з огляду на необхідність установки хоча б одного автоматичного секціонуючого апарату на магістралі лінії, та, як наслідок, неефективною при малих (менше 250 кВА) потужностях електроустановок споживачів. Таким чином установка оптимальної схеми розташування ЗПЕЕ дозволяє знизити (у порівнянні з мережею без ЗПЕЕ): очікуваний річний збиток від перерв в постачанні електричної енергії до 83,17% – в нерезервованих мережах, до 89,93% – в мережах з АВР; очікуваний середній час, що витрачається бригадою на ВМП, до 82,37% – в мережах без АВР, до 75,99% – в резервованих мережах.

ВИСНОВКИ

У дисертації запропоновано вирішення науково-практичної задачі – розробка моделей та методів оптимізації розташування ЗПЕЕ в розгалужених мережах 10 кВ, що має певні переваги в техніко-економічних показниках.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Проведений аналіз методів та засобів підвищення ефективності електропостачання показав, що задачі оптимізації розташування секціонуючих апаратів та пристроїв для пошуку пошкоджених ділянок мережі здебільше розглядаються окремо, що не дозволяє враховувати наявність в системі підвищення ефективності різних засобів, призначених для зменшення часу пошуку місця пошкодження.

2. Сформульована задача пошуку оптимального рішення та показана доцільність використання елементарних показників ефективності для побудови математичної моделі оптимізації кількості та місць установки ЗПЕЕ.

3. Розроблено рекурентні матричні залежності, що дозволяють проводити оцінку середнього часу перерв в електропостачанні в розрахунку на одне стійке пошкодження та оцінку інтегрального річного недовідпуску електроенергії споживачам з урахуванням наявності в розподільчій мережі як пристроїв для пошуку пошкоджених ділянок, так і секціонуючих апаратів.

4. Теоретично обґрунтовано та запропоновано алгоритм, що дозволяє зменшити кількість ітерацій при пошуку оптимальної схеми розташування ЗПЕЕ за пріоритетними для ОПР критеріями, а також вибирати тип і місце введення апарату при поетапній послідовній автоматизації мережі.

5. Результатами чисельного експерименту доведено, що невизначеність значень показників надійності та питомого збитку тягне за собою й невизначеність на етапі вибору оптимальної схеми розміщення ЗПЕЕ. Показано необхідність задавання величин вхідних параметрів математичної моделі у вигляді трикутних нечітких чисел. Показано доцільність використання критерію Гурвіца при виборі оптимальної схеми розташування ЗПЕЕ в умовах невизначеності

вихідної інформації.

6. Розроблено та здійснено оцінку рівня ефективності використання обчислювальної програми автоматизованого пошуку оптимальної кількості та місць встановлення ППД в секціонованих розподільчих мережах сільських регіонів при детермінованому і недетермінованому способі задання вихідних параметрів мережі. Показано, що зниження загального збитку від перерв в електропостачанні при застосуванні запропонованої методики до 58% вище в порівнянні зі стандартними підходами до проектування розподільчих мереж.

Доведено можливість застосування розробленої методики при пошуку оптимальної схеми розміщення ЗПЕЕ в розгалуженій резервованій і нерезервованій розподільчій мережі по пріоритетним для ОПР критеріям, як на етапі її проектування, так і на етапі реконструкції. Проведене дослідження впливу величини навантаження і довжини ЛЕП на очікуваний результат оптимізації розташування ЗПЕЕ в типовій розподільчій мережі 10 кВ показало, що:

- установка ЗПЕЕ за оптимальною схемою їх розміщення дозволить знизити (у порівнянні з мережею без ЗПЕЕ): очікуваний річний збиток від перерв в постачанні електричної енергії до 83,17% – у нерезервованій мережі, до 89,93% – в резервованій; очікуваний середній час, який витрачається бригадою на пошук місця пошкодження, до 82,37% – у нерезервованій мережі, до 75,99% – в резервованій;

- в розгалужених нерезервованих мережах 10 кВ найбільш ефективним апаратним засобом є ЛР, встановлений спільно з ППД, що дозволяє передавати інформацію про місце пошкодження на ДП;

- в резервованих розподільчих мережах 10 кВ, потужності електроустановок споживачів яких не перевищують 250 кВА, встановлення додаткових ЗПЕЕ, у тому числі і самих АВР, не ефективне.

7. Результати роботи у вигляді методик та результатів розрахункових досліджень впроваджено в АК «Харківобленерго» та у навчальному процесі кафедри «автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій» Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Сиротенко М. О. Оптимізація секціонування сільськогосподарських мереж 10 кВ [Текст] / С. О. Тимчук, М. О. Сиротенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 117. – С. 30-31.

Здобувачем запропоновано метод оптимізації розташування секціонуючих апаратів в сільських розподільчих електромережах.

2. Сиротенко М. А. Нечеткая математическая модель расчета недоотпуска электроэнергии в секционированных электрических сетях 10 кВ [Текст] / С. А. Тимчук, М. А. Сиротенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Харків: ХНТУСГ, 2012. – Вип. 130. – С. 53-54.

Здобувачем запропонована математична модель розрахунку недовідпуску електричної енергії в залежності від розташування секціонуючих апаратів в розподільчих мережах напругою 10 кВ.

3. Сиротенко М. А. Структурная оптимизация разветвленной секционированной сети [Текст] / С. А. Тимчук, И. А. Фурман, М. А. Сиротенко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – Вип. 12, т. 4. – С. 265-274.

Здобувачем запропоновані математичні моделі, що описують залежність загального збитку, спричиненого перервами в електропостачанні, від кількості та місць розташування секціонуючих апаратів в розгалуженій мережі.

4. Сиротенко М. А. Вычислительная программа поиска оптимального количества и мест размещения средств повышения надёжности в распределительных электрических сетях 10 кВ [Текст] / М. А. Сиротенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Харків: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 142. – С. 62-63.

5. Сиротенко М. А. Нечеткая математическая модель расчета недоотпуска электроэнергии в разветвленной секционированной электрической сети 10 кВ [Текст] / С. А. Тимчук, И. А. Фурман, М. А. Сиротенко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2013. – № 1. – С. 54-57.

Здобувачем запропонована математична модель розрахунку недовідпуску електричної енергії, яка враховує наявність в складі системи підвищення надійності розподільчої мережі як секціонуючих, так і індикаторних пристроїв для виявлення пошкоджених ділянок.

6. Сиротенко М. А. Повышение надёжности нерезервируемой распределительной сети 10 кВ в условиях неопределённости исходной информации [Текст] / С. А. Тимчук, М. А. Сиротенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Харків: ХНТУСГ, 2015. – Вип. 165. – С. 65-67.

Здобувачем запропоновано метод пошуку оптимальної системи підвищення надійності нерезервованої розгалуженої мережі 10 кВ в умовах невизначеності вихідної інформації з використанням критерію Гурвіца.

7. Сиротенко М. А. Алгоритм поиска оптимальных параметров системы повышения надёжности в разветвлённых распределительных сетях 10 кВ [Текст] / С. А. Тимчук, М. А. Сиротенко // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2015. – № 6/8 (78). – С. 4-10.

Здобувачем запропоновано алгоритм, який за рахунок використання особливостей об'єкта моделювання дозволяє суттєво зменшити кількість ітерацій, виконуваних при пошуку оптимальної схеми розташування засобів підвищення надійності в розгалуженій мережі.

8. Сиротенко М. А. Разработка моделей и методов оптимизации параметров системы повышения надёжности в разветвлённых сетях 10 кВ [Текст] / М. А. Сиротенко // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 6/6 (26). – С. 31-38.

9. Сиротенко М. А., Тимчук С. А. Оптимизация средств повышения надёжности нерезервируемой распределительной сети 10 кВ в условиях неопределённости / М. А. Сиротенко, С. А. Тимчук // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – 2015. – № 1 (3). – С. 64-66.

Здобувачем отримано результати оптимізації розташування засобів підвищення надійності в нерезервованій розгалуженій мережі 10 кВ в умовах невизначеності вихідної інформації.

10. Сиротенко М. О. Пошук оптимальної схеми розміщення секціонуючих апаратів у мережі 10 кВ [Текст] / С. О. Тимчук, М. О. Сиротенко // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології: Матеріали Другої Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, студентів і аспірантів (АКІТ-2012); Київ, НУТУ «КП», 19-20 квітня 2012 р. – К.: НТУУ «КП», 2012. – С. 8-9.

Здобувачем запропоновано метод пошуку оптимальної кількості та місць розташування секціонуючих апаратів в резервованій розподільчій мережі.

11. Сиротенко М. О. Пошук оптимальної схеми розміщення індикаторних пристроїв в мережі 10 кВ [Текст] / М. О. Сиротенко // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології: Матеріали Третьої Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, студентів і аспірантів (АКІТ-2013); Київ, НУТУ «КП», 17-18 квітня 2013 р. – К.: НТУУ «КП», 2013. – С. 16-17.

12. Сиротенко М. А. Нечёткая математическая модель расчёта недоотпуска электроэнергии в нерезервируемой разветвленной электрической сети 10 кВ [Текст]: сб. трудов 7-й Всеросс. науч.-тех. конф. / С. А. Тимчук, А. В. Мирошник, М. А. Сиротенко // Енергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. – Благовещенск: АмГУ, 2013. – С. 298-302.

Здобувачем запропоновані рекурентні матричні залежності для розрахунку недовідпуску електричної енергії в секціонованій мережі без магістрального резервування.

АНОТАЦІЇ

Сиротенко М. О. Моделі та методи оптимізації розташування апаратних засобів підвищення ефективності електропостачання в мережах 10 кВ. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, системи та мережі. – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Харків, 2016.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуальної науково-прикладної проблеми прийняття рішень з оптимізації розташування апаратних засобів, призначених для підвищення ефективності електропостачання в розгалужених розподільчих мережах, в умовах невизначеності вихідної інформації.

Розроблено та вдосконалено ряд методів з оцінки недовідпуску електроенергії та середнього часу пошуку місця пошкодження, що дозволяють враховувати наявність різних засобів підвищення ефективності електропостачання в мережі. Сформульована задача пошуку оптимального рішення в умовах невизначеності вихідної інформації. Теоретично обґрунтовано та запропоновано алгоритм, що дозволяє зменшити кількість ітерацій при пошуку оптимальної схеми розташування засобів підвищення ефективності електропостачання за пріоритетними критеріями для особи, що приймає рішення. Досліджено залежність оптимальних рішень від протяжності лінії електропередачі та потужності електроустановок споживачів в розподільчих мережах 10 кВ.

Ключові слова: розподільча електрична мережа, пошкодження, секціонування, технічні засоби, оптимізація розташування, невизначеність.

Сиротенко М. А. Модели и методы оптимизации размещения аппаратных средств повышения эффективности электроснабжения в сетях 10 кВ. На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – электрические станции, системы и сети. – Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, Харьков, 2016.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной проблемы принятия решений по оптимизации размещения аппаратных средств, предназначенных для повышения эффективности электроснабжения в разветвлённых распределительных сетях, в условиях неопределённости исходной информации.

В диссертации разработан и усовершенствован ряд методов по оценке недоотпуска электроэнергии потребителям и среднего времени поиска места повреждения, что позволило учитывать наличие различных средств повышения эффективности электроснабжения (СПЭЭ) в сети. Предложена математическая модель оценки экономического эффекта от установки различных видов СПЭЭ в разветвлённых распределительных сетях сельских регионов, позволяющая оце-

нивать не только эффект от снижения недоотпуска электроэнергии, но и эффект от снижения затрат на поиск места повреждения.

Сформулирована задача поиска оптимального решения. Показано, что оптимальная схема размещения СПЭЭ в распределительной сети при приоритете одного из критериев для i точек, занимаемых аппаратами, всегда включает оптимальную схему размещения СПЭЭ при приоритете того же критерия для $(i-1)$ точек. Теоретически обоснован и предложен алгоритм, использующий данную особенность объекта исследования, который позволил уменьшить количество итераций, выполняемых при поиске оптимальной схемы размещения устройств по приоритетным для ЛПР критериям.

Результатами численного эксперимента доказано, что неопределённость значений показателей надёжности и удельного ущерба влечет за собой и неопределённость на этапе выбора оптимальной схемы размещения СПЭЭ. Показана необходимость задания величин входных параметров математической модели в виде треугольных нечётких чисел. Обоснована целесообразность использования критерия Гурвица при выборе единственного решения в условиях неопределённости исходной информации, что позволяет ЛПР максимально точно отразить степень своих рискованных предпочтений.

Доказана возможность применения разработанной методики, как на этапе проектирования, так и на этапе реконструкции распределительной сети. Показано, что снижение общего ущерба от перерывов в электроснабжении при применении предложенной методики до 58% выше по сравнению со стандартными подходами к проектированию распределительных сетей.

Проведенное исследование влияния величины нагрузки и длины линии электропередачи на ожидаемый результат оптимизации размещения СПЭЭ в типовой распределительной сети 10 кВ показало, что установка СПЭЭ позволит снизить (по сравнению с сетью без СПЭЭ) ожидаемый ущерб от годового недоотпуска электрической энергии до 89,93%, а ожидаемое среднее время, затрачиваемое бригадой на поиск места повреждения, – до 82,37%. При этом, в резервируемых разветвлённых сетях наиболее эффективным аппаратным средством является линейный разъединитель, установленный совместно с указателем повреждённого участка, позволяющим передавать информацию о месте повреждения на диспетчерский пункт. В то же время, в резервируемых распределительных сетях напряжением 10 кВ, мощности электроустановок потребителей которых не превышают 250 кВА, установка дополнительных СПЭЭ, в том числе и автоматического ввода резерва, не эффективна.

Основные результаты диссертации нашли практическое применение в виде вычислительной программы, позволившей в условиях неопределённости исходных данных определить оптимальное количество и места установки различных средств повышения эффективности электроснабжения в конкретных распределительных сетях 10 кВ.

Ключевые слова: распределительная электрическая сеть, повреждения, секционирование, технические средства, оптимизация размещения, неопределённость.

Sirotenko M. A. Models and methods of placement optimization of efficiency improving means in 10 kV distribution networks. The manuscript.

Dissertation for scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.14.02 – electric power stations, networks and systems. – Kharkiv national technical University of agriculture named after Peter Vasilenko, Kharkiv, 2016.

The dissertation is devoted to the resolution of the actual scientific and technical problems of decision-making on the placement optimization of efficiency improving means in distribution networks under initial information uncertainty to improve the efficiency of electricity consumers.

It was developed and improved a number of methods for evaluate electricity shortage and average time of search fault location to take into account the existence of different means for efficiency improving of the network. The problem of the optimal solutions finding under the initial information uncertainty was formulated. It was theoretically grounded and suggested the algorithm that reduces the number of iterations when looking for optimal solution by the priority criteria for the decision making person. The dependence of optimal solutions on the length of transmission lines and power consumers was researched in 10 kV distribution networks.

Keywords: distribution electric network, interruption, sectionalizing, technical devices, position optimization, uncertainty.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a long horizontal stroke followed by a circular flourish.

Підписано до друку 24.05.2016 р. Формат 60×84^{1/16}. Папір офсет.
Друк ксерографічний. Ум. друк. арк. 0,9.
Наклад 100 прим. Зам. №05-16

Надруковано ТОВ «Видавництво «Форт»
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців
ДК №333 від 09.02.2001 р.
61023, м. Харків, а/с 10325. Тел. (057)714-09-08