

УДК 621.311.1.018.3

В. О. Комар, Поліщук А. Л.

Вінницький національний технічний університет

Вінницькі міські електричні мережі

## КРИТЕРІАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ

© Комар В. О., Поліщук А. Л., 2009

У статті проводиться аналіз параметрів, які мають враховуватись у критерії якості функціонування розподільних мереж. Пропонується метод його визначення, який ґрунтується на поєднанні теорії марковських процесів та критеріального методу.

In the article the analysis of properties to be considered in criterion of function quality of distribution networks is carried out. The method of its determination which is based on integration of Markov processes theory and criterial method is offered.

**Вступ.** Від надійності та якості електропостачання промисловості та населення безпосередньо залежить економічний розвиток держави. Обмеження фінансування розвитку, відновлення та модернізації розподільних мереж України стало причиною зростання коефіцієнту їх дефектності, який досягнув 13 % [1], і постачання електроенергією досить часто стає ненадійним і незадовільним щодо якості електроенергії.

Недостатній об'єм фінансових ресурсів електропостачальних компаній вимагає раціонального розподілу коштів з метою підтримання критерію дефектності на якомога нижчому рівні. Тому необхідно визначити оптимальне співвідношення між витратами на забезпечення відповідного рівня надійності та витрат зумовлених недовідпуском та незадовільною якістю електричної енергії. Крім цього неможливість проведення відновлювальних робіт протягом короткого терміну часу потребує розв'язування задачі забезпечення, на час ремонту, надійним і якісним електропостачанням споживачів за іншими схемами. Оскільки таких варіантів може бути декілька, тому необхідно виконати їх аналіз і вибрати кращий за надійністю і якістю електропостачання. Розв'язати поставлені задачі можна використовуючи критерій якості функціонування розподільних мереж.

**Метою цієї статті** є розроблення методу визначення критерію якості функціонування розподільних мереж.

**Характеристика об'єкта дослідження.** Електрична мережа представляє собою комплекс електрообладнання та пристроїв, які призначені для передачі й розподілу електричної енергії. Сучасні електричні мережі за своєю структурою, організацією експлуатації і принципами управління належать до складних технічних комплексів (систем). Під час прийняття рішення щодо управління такою системою важливими є оцінка її функціональної готовності або якості функціонування.

Під якістю функціонування складної системи розуміють сукупність властивостей, які визначають здатність системи виконувати задачі, поставлені під час її створення [2, 3]. Основною задачею розподільної мережі є забезпечення надійного постачання якісною електроенергією споживачів, які під'єднані до неї.

Певна функціональна надлишковість у структурі розподільних мереж призводить до того, що поява відмов окремих елементів або незначна зміна тих або інших робочих параметрів можуть призвести не до повної відмови системи електропостачання, а лише до певного погіршення якості функціонування й зниження ефективності її в цілому. Тому для оцінки якості функціонування розподільної мережі доцільним є введення кількісного показника, який враховував би вплив таких відмов.

Очевидно, що вибір відповідного показника якості функціонування в кожному конкретному випадку визначається типом системи, її призначенням, видом виконуваної задачі, характером різних зовнішніх факторів [4]. Для розподільної мережі показник якості повинен враховувати

надійність електропостачання споживачів енергією відповідної якості.

**Критеріальна модель якості функціонування розподільної мережі.** Під час оцінки якості функціонування розподільної мережі можна використати всі підходи, викладені в [4], як для складної системи.

Для опису процесу функціонування розподільної мережі можна використати теорію марковських процесів. Принципове допущення, зроблене при моделюванні, – це експоненційний закон розподілу виникнення подій, пов'язаних з відмовами та відновленнями елементів системи електропостачання. Є відомості [5, 6], які свідчать про більш складний характер закону розподілу часу виникнення відмов і часу відновлень, ніж експоненційний, однак використання саме експоненційного розподілу під час розрахунку ймовірності безвідмовної роботи цих елементів можна вважати загальноприйнятим. Пояснити це можна тим, що:

- поки немає єдиного погляду щодо дійсного закону розподілу часу відмов та відновлень;
- застосування експоненційного закону розподілу часу між відмовами призводить до похибок у сторону певного заниження розрахункової ймовірності безвідмовної роботи порівняно з фактичною, тобто не може бути причиною створення ненадійної системи;
- існують праці, наприклад [7], у яких розглянуті системи, які мають елементи, час відмов і відновлень яких є комбінацією експоненційного, вейбулівського і нормально-логічного розподілу, і де показано, що на досить значному проміжку часу ці системи поведуться так, ніби всі їх елементи мали експоненційний розподіл часу відмов та відновлень.

Отже, використавши теорію марковських процесів, після аналізу можливих станів розподільної мережі можна скласти систему рівнянь Колмогорова [8]. Як доведено в [3] система рівнянь Колмогорова, за умови  $\frac{dp_i}{dt} = 0$ , є подібною до системи рівнянь ортогонольності і нормування критеріального методу [9]. Це дозволяє отримати критеріальну модель якості функціонування виду:

$$E_* = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \frac{1}{p_i(A)^{v_{ii}}} \prod_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n p_j(A)^{v_{ji}} - \sum_{i=n+1}^m p_i \cdot \prod_{j=1}^n p_j(A)^{v_{ji}} . \quad (1)$$

де  $p_i$  – критерій подібності, який у даному випадку є ймовірністю перебування системи в стані  $i$ ;  $\prod_{j=1}^n p_j(A)^{v_{ji}}$  – показник якості функціонування стану  $i$ ;  $v_{ji}$  – елементи матриці переходів, які є алгебраїчними сумами інтенсивностей відмов  $\lambda$  та інтенсивностей відновлень  $\mu$ ;  $p_j(A)$  – ймовірність відповідності показників якості електроенергії ГОСТ 13109-97 в стані  $j$ ;  $A$  – множина показників якості електричної енергії;  $m$  – загальна кількість станів системи;  $n$  – кількість робочих станів.

За базове значення приймається значення якості функціонування "ідеальної", з огляду надійності та якості електричної енергії, розподільної мережі. Отриманий таким чином критерій дозволяє оцінювати зміну якості функціонування розподільної мережі і на його основі виконувати аналіз можливих варіантів живлення споживачів (див. рис. 1 та рис. 2).



Рис. 1. Приклад схеми для аналізу варіантів живлення споживачів

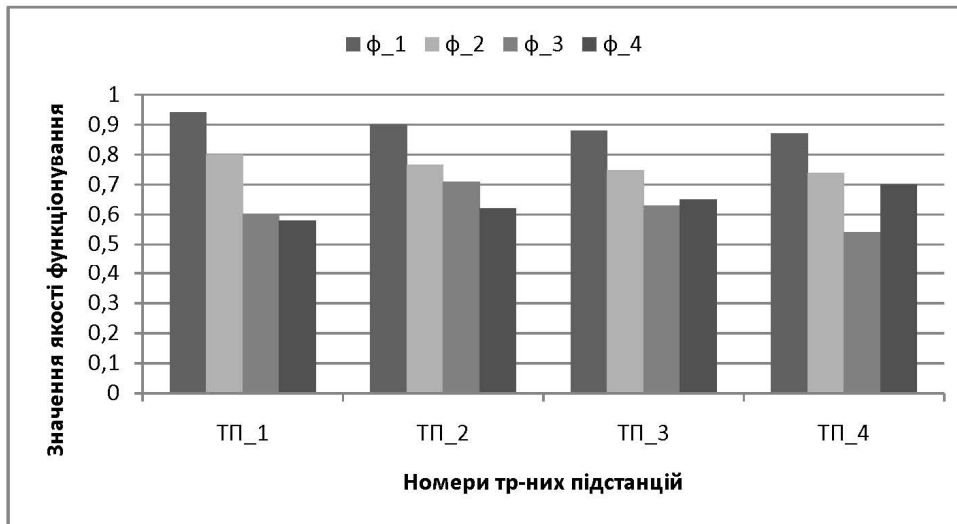


Рис. 2. Результати аналізу живлення споживачів чотирьох підстанцій від різних фідерів

Згідно теорії двоїстості до (1) можна поставити у відповідність двоїсту задачу (в даному випадку критерій відмов). Для оптимальних значень  $p_o$  (двоїста змінна) та  $p_o(A)$  (пряма змінна)

$$d(p_o) = E(p_o(A))$$

де  $d(p_o)$  – мінімальне значення двоїстої функції  $d(p)$ .

Сформулюємо двоїсту функцію. Оскільки:  $\sum_{i=1}^m p_{oi} = 1$  і  $\sum_{i=1}^m v_{ji} \cdot p_{oi} = 0$  то можна записати

$$d(p_o) = E(p_o(A)) \cdot \frac{1}{\prod_{j=1}^n p_{oj}(A)} \quad (2)$$

Прологарифмувавши (2) отримаємо

$$\ln d(p_o) = \ln \frac{E(p_o)}{\prod_{j=1}^n p_{oj}(A)} = \sum_{i=1}^m p_{oi} \cdot \ln \frac{E(p_o) \cdot a_i}{\prod_{j=1}^n p_{oj}(A)^{v_{ji}} \cdot a_i} = \sum_{i=1}^m \ln \left( \frac{a_i}{p_{oi}} \right)^{p_{oi}} \quad (3)$$

Пропотенціювавши (3) отримаємо двоїсту функцію

$$d(p_o) = \prod_{i=1}^m \left( \frac{a_i}{p_{oi}} \right)^{p_{oi}} \quad (4)$$

Приведемо (4) до критеріального виду прийнявши за базове значення двоїсту функцію для "ідеальної", з огляду надійності та якості електричної енергії, розподільної мережі:

$$d_* = \prod_{i=1}^m \left( \frac{p_{oi} \cdot p_{oi}}{p_i \cdot p_i} \right)$$

Отримавши значення показника якості функціонування  $E_*$  та відмов  $d_*$  можна виконувати оптимізацію витрат на підтримання достатнього рівня якості функціонування розподільної мережі використовуючи конкуруючий ефект між витратами на підвищення надійності і якості електричної енергії та витратами пов'язаними з недовідпуском електроенергії та незадовільною її якістю:

$$B = B' \cdot E_* + B''(d_* - 1)$$

де  $B'$  та  $B''$  коефіцієнти вартості якості функціонування та вартості відмов відповідно, для визначення, яких можна використати метод наведений в [10].

На рис. 3 показано конкуруючий ефект між вартістю якості функціонування та відмов в розподільній мережі.

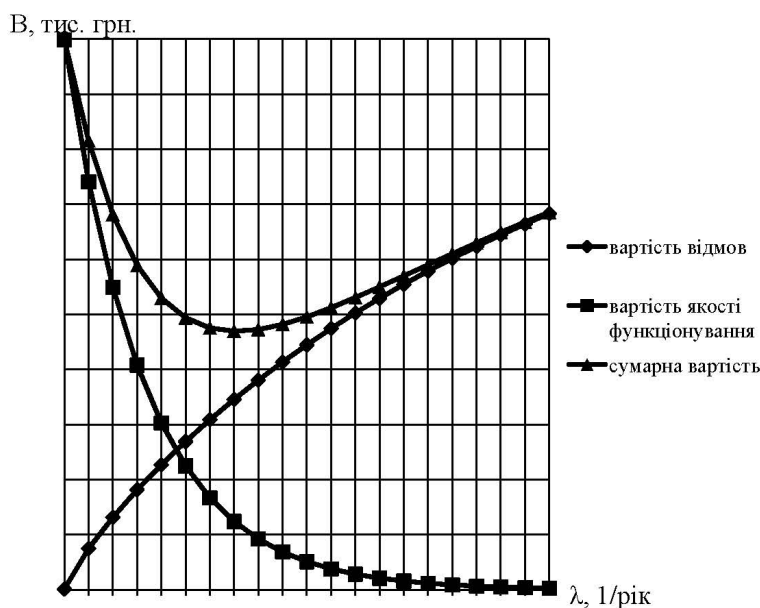


Рис. 3. Оцінка оптимального значення сумарної вартості розподільної мережі

**Висновок.** В статті запропоновано метод визначення критеріїв оцінки якості функціонування та відмови розподільної мережі, який ґрунтується на поєднанні теорії марковських процесів та критеріального методу. Використовуючи ці критерії, можна розв'язувати такі задачі:

1. Визначити стратегію підвищення якості функціонування розподільної мережі до заданого рівня в умовах природного старіння елементів та обмежень на ресурси.
2. Оцінювати можливі варіанти живлення споживачів розподільної мережі.
3. Виконувати оптимізацію сумарної вартості розподільної мережі.
4. Оцінювати необхідність і визначити черговість заходів для продовження терміну служби елементів.

1. Надійне та безпечне електропостачання, розвиток електромереж - під контролем Держенергонагляду [Електронний ресурс] 12 липня 2007. Режим доступу: [http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo/control/uk/publish/article?art\\_id=54905&cat\\_id=35981](http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo/control/uk/publish/article?art_id=54905&cat_id=35981).

2. Оценка надежности работы электрической сети (Трактат) [Електронний ресурс] / В. А. Скопинцев, В. И. Чемоданов, М. И. Чичинский // М.: - 2004. - 37 с. Режим доступу: [www.oaoesp.ru/file/b2b72409/pub4.doc](http://www.oaoesp.ru/file/b2b72409/pub4.doc).

3. Комар В. О. Критеріальне моделювання якості функціонування автоматичних систем керування / В. О. Комар, В. О. Лесько // Вісник національного університету «Львівська політехніка» №596. 2007. - С. 63-68.

4. Надежность технических систем: Справочник / Ю. К. Беляев, В. А. Богатырев, В. В. Болотин и др.; Под ред. И. А. Ушакова. - М.: Радио и связь, 1985. - 608 с.

5. Мокін Б. І., Юхимчук С. В. Математичні моделі робастної стійкості та чутливості нелінійних систем. Монографія 1999. - 122 с.

6. Р. Биллinton, Р. Аллан. Оценка надежности электроэнергетических систем / Пер. с англ. В. А. Туфанова, под. ред. Ю. А. Фокина.: Энергоатомиздат. М. 1988. - 287 с.

7. Фокин Ю. А., Туфанов В. А. Оценка надёжности систем электроснабжения. - М.: Энергоиздат, 1981. - 224 с.

8. Майн Х., Осаки С. Марковские процессы принятия решений. - М.: Наука, 1977. - 176 с.

9. Астахов Ю.Н., Лежнюк П.Д. Применение критеріального метода в электроэнергетике. - К.: УМК ВО, 1989. - 137 с.

10. Cost Related Reliability Measures for Power System Equipment / George J. Anders, Armando M. Leite da Silva // IEEE Transactions on Power Systems, vol. 15, №. 2, May 2000. - P. 654 - 660.