

**Висновки.** 1. Запропонована в роботі узагальнена модель реляційних відносин дає змогу оперативно управляти адаптацією інформаційних моделей електроенергетичного об'єкта.

2. Розроблені методи щодо технології обробки інформації реєстраторів реалізовано в інструментальних програмних засобах для аналізу аварійних ситуацій.

1. Kezunovic M., Rikalo I. *Detect and Classify Faults Using Neural Nets.* – *IEEE Computer Applications in Power*, October 1996. – P. 58–64. 2. Kezunovic M., Fromen C.W. *An Expert System for Transmission Substation Event Analysis* // *IEEE Transactions on Power Delivery*, October 1993. – Vol. 8, No. 4. – P. 121–128. 3. Заболотный И.П., Сазонов В.В. *Экспертная система анализа аварийных ситуаций в электрических системах* // *Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету. Серія. Електротехніка і енергетика. Вип. 50.* – Донецьк: ДонНТУ, 2002. – С. 165–171.

УДК 621.311.1.018.3

В.О. Комар, А.Л. Поліщук

Вінницький національний технічний університет

Вінницькі міські електричні мережі

## КРИТЕРІАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ

© Комар В.О., Поліщук А.Л., 2009

Наведено 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 коефіцієнта їх дефектності, який досягнув 13 % [1], і постачання електроенергією доволі 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 визначати оптимальне співвідношення між витратами на забезпечення відповідного рівня надійності та витрат зумовлених недовідпуском та незадовільною якістю електричної енергії. Крім цього неможливість виконання 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 являє 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 завдання, поставлені під час її створення [2, 3]. Основним завданням 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 загалом. 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 під час моделювання, – це експоненційний закон розподілу виникнення подій, пов'язаних з відмовами та відновленнями елементів системи електропостачання. Є відомості [5, 6], які свідчать про складніший 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 бік 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 доволі 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 ортогональності і нормування критеріального методу [9]. Це дозволяє отримати критеріальну модель якості функціонування вигляду

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

де  $p_i$  – критерій подібності, який у цьому 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 так критерій дозволяє

оцінювати зміну якості функціонування розподільної мережі і на його основі виконувати аналіз можливих варіантів живлення споживачів (див. рис. 1 та 2).

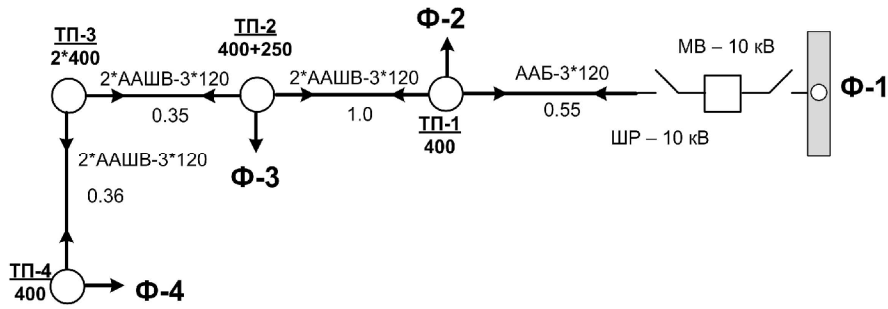


Рис. 1. Приклад схеми для аналізу варіантів живлення споживачів

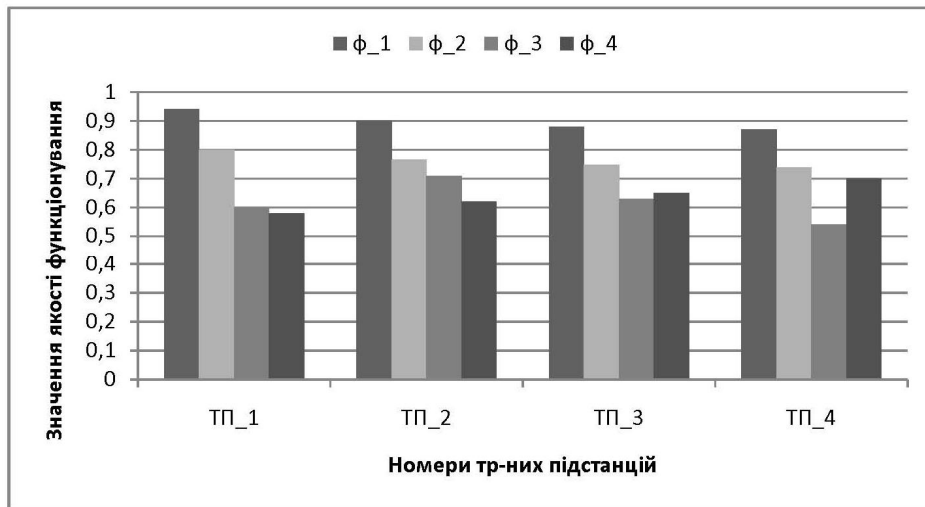


Рис. 2. Результати аналізу живлення споживачів чотирьох підстанцій від різних фідерів

Згідно з теорією двоїстості до (1) можна поставити у відповідність двоїсту задачу (у цьому 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

$$d(p_o) = E(p_o(A)) \cdot \frac{1}{\prod_{j=1}^n p_{oj}(A)} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^m v_{ji} \cdot p_{oi}} \quad (2)$$

Прологарифмувавши (2), отримаємо

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

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 вигляду, прийнявши за базове значення двоїсту функцію для “ідеальної”, з огляду надійності та якості електричної енергії, розподільної мережі

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

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.

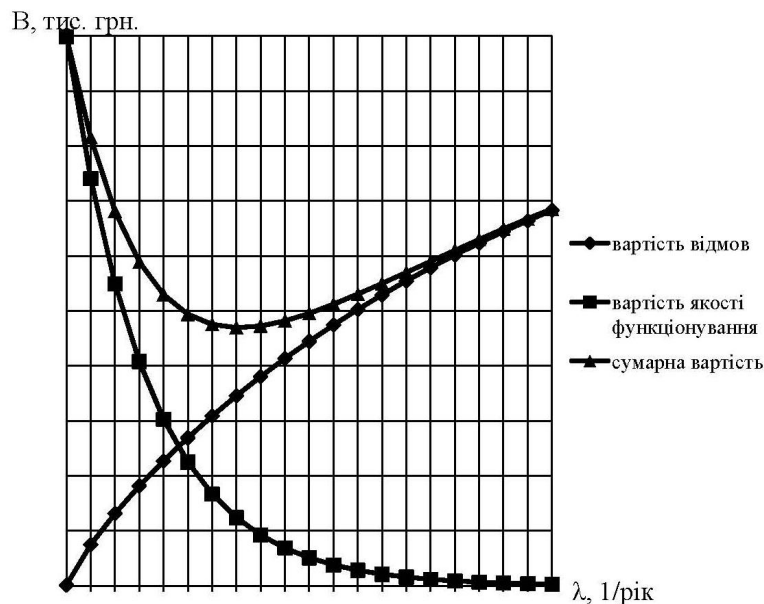


Рис. 3. Оцінка оптимального значення сумарної вартості розподільної мережі

**Висновки.** 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 визначати 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. 2. Оценка надежности работы электрической сети (Трактат) [Электронный ресурс] / В.А. Скопинцев, В.И. Чемоданов, М.И. Чичинский. – М., 2004. – 37 с. Режим доступа: [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 // Вісн. нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. – № 596. – 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. Биллinton Р., Аллан Р. Оценка надежности электроэнергетических систем / Пер. с англ. В.А. Туфанова, под ред. Ю.А. Фокина. – М.: Энергоатомиздат, 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 критериального 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.

УДК 621.311.072

П.Д. Лежнюк, В.М. Лагутін, О.І. Казьмірук  
Вінницький національний технічний університет

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ З РПН В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ ЕЕС

© Лежнюк П.Д., Лагутін В.М., Казьмірук О.І., 2009

**Розглянуто метод визначення використаного ресурсу трансформаторів і автотрансформаторів в умовах експлуатації і врахування його під час оптимального керування режимами електроенергетичних систем.**

**The method of transformers and autotransformer's used resource determination under working conditions and its using during optimal maintenance of power system conditions is considered.**

**Вступ.** Одним із засобів зменшення втрат в електричних мережах, що працюють паралельно (зокрема магістральні мережі та мережі обленерго), є трансформатори з регулюванням під навантаженням (РПН). Рівень оснащення електричних мереж трансформаторами з РПН сьогодні доволі великий. Проте використовуються вони для керування режимом електричних мереж і зменшення втрат електроенергії не досить ефективно. Особливо низький коефіцієнт використання регулюючих пристроїв в автоматичному режимі для керування потоками потужності і рівнями напруги [1]. Причин тут декілька. Основна з них – старіння електрообладнання. Це стосується і трансформаторів (Т) і автотрансформаторів (АТ), зношеність яких сягає 80 % і більше [2].

Ефективність розв'язання задач оптимізації режимів ЕЕС та зменшення втрат електроенергії в електричних мережах шляхом регулювання напруги та реактивної потужності визначається тим, наскільки точно і своєчасно здійснюється реалізація розрахованих оптимальних параметрів режиму [3]. Проте, через недостатній залишковий ресурс Т і АТ, оперативний персонал вважає за потрібне не ризикувати і не здійснює оптимізуючих впливів, враховуючи тим самим ненадійність пристроїв РПН і можливе перевантаження трансформаторів.

Навантаження Т і АТ, які беруть участь у перерозподілі потоків потужності з метою зменшення втрат електроенергії в ЕЕС, може змінюватися на 20–25 % відносно режиму, що передую