

СТАТИСТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛІЗУ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Тугай Ю. І.¹, Нікішин Д. А.¹ Гай А. В.²¹Інститут електродинаміки НАН України²Національний університет біоресурсів і природокористування України

Запропонована статистична модель для обчислення показників надійності системи електропостачання, яка ґрунтується на імітаційному моделюванні за допомогою методу Монте-Карло.

Постановка проблеми. Одним з головних критеріїв якості послуг при постачанні електроенергії є надійність [1]. Оцінити цей фактор можна за кількістю і тривалістю перерв в постачанні споживача електроенергією. Взагалі при проектуванні або реконструкції елементів енергосистеми виконують аналіз перерв у постачанні енергії, а за базу для порівняння використовують характеристики аналогічного об'єкту. Але оскільки кожен з них має свої індивідуальні характеристики, то й аналіз показників надійності виявляється також специфічним. Таким чином, розробка математичних моделей для розрахунків показників надійності елементів конкретної системи електропостачання є актуальним завданням. Вирішення цього завдання дозволить отримати показники надійності, які в повній мірі характеризують специфіку систем електропостачання АПК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом була запропонована певна кількість методів для об'єктивної оцінки надійності систем електропостачання. Ці методи можна умовно класифікувати як аналітичні методи і методи імітаційного моделювання.

Перші засновані на безперервних марковських процесах і представляють собою систему математичних моделей для оцінки показників надійності за допомогою математичних рівнянь [3]. Однак відповідний аналіз для випадкових подій виявляється надто складним, навіть для порівняно невеликих систем, причому рівень складності швидко зростає зі збільшенням розмірності задачі. Тому аналітичні методи використовуються для отримання значень показників надійності тільки в окремих точках навантаження або в певних елементах системи.

Друга група методів базується на використанні генераторів випадкових чисел для отримання інформації про стохастичних події і оцінки загальної надійності системи.

Мета статті. Пропонується виконувати аналіз параметрів систем електропостачання, які характеризують структурну надійність, шляхом імітаційного статистичного моделювання методом Монте-Карло.

Основні матеріали дослідження. Найбільш часто використовувани показники надійності це інтенсивність відмов $\lambda(t)$ та середній час відновлення τ . Розподільна електромережа складається з багатьох елементів: лінії, кабелі, трансформатори, вимикачі, запобіжники та ін. Кожен елемент мережі може перебувати протягом періоду спостереження в двох станах. Справний стан, в якому елемент працює безвідмовно протягом певного часу, характеризується часом на-

працювання між відмовами T_H . Несправний стан, під час якого елемент відмовив або відключений на період технічного обслуговування (поточного ремонту), характеризується часом відновлення τ . Вказані параметри є випадковими величинами.

Досвід експлуатації електротехнічного обладнання показує, що час напрацювання між відмовами ТН елемента описується експоненціальним законом розподілу. Тому можна записати [4]

$$T_H = -\frac{1}{\lambda_i} \ln U \cdot 8760, \quad (1)$$

де λ_i - інтенсивність відмов даного елемента системи електропостачання;

U - випадкове число з рівномірного розподілу в інтервалі $[0;1]$.

Середній час відновлення τ , визначимо як випадкове число, яке розподілене по нормальному розподілу (розподіл Гауса) з математичне сподіванням, що дорівнює заданому часу відновлення елемента системи.

Для обчислення інтенсивності відмов і середнього часу відновлення елемента системи застосуємо алгоритм методу статичного моделювання Монте-Карло.

1. Для системи електропостачання, яку аналізуємо, за схемою та характеристиками елементів визначаємо вихідні дані λ_i та τ_i . В першому наближенні орієнтовну інформацію можна знайти в довідковій літературі.

2. Задаємо число зразкових років N і період моделювання T рік, а також таймер моделювання $t=0$.

3 Генеруємо випадкові числа на інтервалі $[0;1]$ по рівномірному закону розподілу для кожного елемента в системі і знаходимо його час напрацювання за виразом (1).

4. Порівнюємо час напрацювання між відмовами кожного елемента системи з заданим T . Якщо час напрацювання між відмовами елемента менше заданого то приймаємо факт, що елемент відмовив.

5. Елемент, який відмовив, вважаємо несправним елементом і виконуємо наступні дії:

- визначаємо місце розташування елемента, який відмовив;
- визначаємо кількість точок навантаження Li , які відключені через відмову елемента;
- визначаємо тривалість відключення кожної з

цих точок навантаження;

- обчислюємо час відновлення елемента шляхом генерування відповідного випадкового числа по нормального закону розподілу.

6. Генеруємо нове випадкове число для несправного елемента і визначаємо новий час напрацювання між відмовами T'_H .

7. Змінюємо значення таймеру $t = t + \tau_i + T'_H$.

8. Якщо t менше періоду моделювання T , то перейти до кроку 5, інакше до кроку 9.

9. Розрахуємо кількість відмов (λ_{ij}) і тривалість відмов (τ_{ij}) кожної j -тої точки навантаження в кожному з i -тих періодів моделювання T .

10. Якщо розглянуто всі зразкові роки, то переходимо до кроку 11, інакше – до кроку 3.

11. Обчислюємо середнє значення інтенсивності відмов елемента системи $\lambda_{сер}$, як відношення сумарної кількості відмов елемента до кількості зразкових років N .

13. Середній час відновлення елемента $\tau_{сер}$ визначаємо, як відношення сумарного часу відновлення за всі зразкові роки до загальної кількості відмов елемента.

Для перевірки адекватності запропонованої моделі за даним алгоритмом було виконано аналіз надійності схеми електропостачання з типовими елементами шляхом моделювання з використанням математичного забезпечення Mathcad [2]. В таблиці 1 виконано порівняння результатів моделювання зі зразковими результатами, що були отримані аналітичним методом.

Таблиця 1 – Значення показників надійності

Показник надійності	Аналітичний метод	Метод Монте-Карло	Похибка
$\lambda_{сер}$	0,315	0,2966	-5,8%
$\tau_{сер}$	4,0952	4,3195	+5,5%
Достовірність відмов	0,27	0,26	-3,7%

Як бачимо результати отримані по аналітичному методу і методом моделювання Монте Карло близькі. Слід відзначити, що аналітичний підхід забезпечує пряму і практичну техніку для розрахунків показників надійності радіальної мережі і є доцільним, якщо потрібні тільки середні значення даних показників. Але цей метод не враховує стохастичний характер поведінки системи.

Висновки. Результати, отримані за допомогою запропонованої моделі відповідають результатам отриманих класичним аналітичним методом з достатньою для розв'язку інженерних задач точністю.

Статистична модель дозволяє знайти функцію достовірності розподілу показників надійності системи.

Запропонований метод імітаційного моделювання дає можливість простежити зміну показників надійності, що є неможливим при використанні аналітичних методів.

Список використаних джерел

1. Гай О. В. Оптиміальне секціонування схем розподільних електричних мереж / О. В. Гай, Ю. І. Тугай // Праці ІЕД НАНУ. – 2011. – Вип. 28. – С. 10–15.
2. Денисов-Винский Н. Д. Mathcad. Теория вероятностей и математическая статистика / Н. Д. Денисов-Винский. – М.: МИЭЭ, 2009, 93 с.
3. Козирський В. В. Методи та моделі розрахунку надійності систем електропостачання / В. В. Козирський, О. В. Гай. – К.: Гнозис, 2013. – 563 с.
4. Godha N. R. Time Sequential Monte Carlo Simulation for Evaluation of Reliability Indices of Power Distribution System / N. R. Godha, S.R. Deshmukh, R.V. // Department of Electrical Engineering, Pune University, Pune, India 2012. Режим доступу : http://www.ieor.iitb.ac.in/files/ieorweb/ISCI2012/B1MonteCarloMethods/ISCI2012_paper_#30.pdf.

Аннотация

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Тугай Ю. И., Никишин Д. А., Гай А. В.

В данной работе представлен подход к анализу параметров характеризующих структурную надежность систем электроснабжения на основе имитационного статистического моделирования методом Монте Карло. Это дает возможность проследить изменение показателей надежности, которое нельзя определить с помощью аналитических методов.

Abstract

THE STATISTICAL MODEL FOR ANALYSIS OF ELECTRICAL SUPPLY SYSTEMS RELIABILITY

Yu. Tugay, D. Nikishin, A. Guy

The article presents an approach to the calculation of power system reliability indices based on simulation Monte Carlo method. The simulation method that used in article makes it possible to trace the change in reliability indicators, which cannot be determined using analytical methods.