

УДК 621.316

Т.П. Супрун

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ ПРИ РАПТОВИХ ВІДМОВАХ

Система електропостачання (СЕП) – складна система, що характеризується рядом специфічних особливостей, що складається з безлічі елементів, кожен з яких, у свою чергу, також є складною системою (наприклад, електростанція, повітряна і кабельна лінії електропередач). Розрахунок такої системи об'ємний. Тому для розрахунку показників надійності системи розроблена методика проектування MathCAD-програм для обробки статистичних параметрів по відмовах елементів системи електропостачання.

Ключові слова: система електропостачання, надійність, відмова, раптова відмова, розрахунок показників надійності, експериментальні дані елементів СЕП.

Вступ

Відмова СЕП у всіх випадках небажане явище. Знання параметрів безвідмовності СЕП дозволяє заздалегідь виявляти не надійно працюючі елементи СЕП. Наявність експериментальних даних по відмовах [1, 6, 7] дозволяє отримувати оцінки параметрів безвідмовності СЕП (елементів СЕП).

Розрахунок параметрів СЕП, а також розрахунок СЕП на надійність описаний в даних джерелах [6 – 10], не дає можливості швидкого, і конкретного розрахунку параметрів надійності згідно з ГОСТом [1]. У даних виданнях добре описані вимоги до надійності СЕП, причини відмов СЕП, обробка експериментальних даних.

Мета даної статті – розробка пропозицій по обробці експериментальних даних за показниками надійності елементів СЕП при раптових відмовах елементів СЕП.

Для об'єктів різного призначення і пристрою застосовуються різні показники надійності. В даний

час можна виділити чотири групи технічних об'єктів, що розрізняються показниками і методами оцінки надійності:

- 1) невідновні об'єкти, вживані до першої відмови (резистор, конденсатор);
- 2) відновлювані поза процесом застосування об'єкти;
- 3) відновлювані в процесі застосування об'єкти, для яких недопустимі перерви в роботі (резервована ЛЕП);
- 4) відновлювані в процесі застосування об'єкти, для яких допустимі короткочасні перерви в роботі (АВ).

Ознаки, по яких можна розрізняти відмови в СЕП, показані на рис. 1. Класифікація відмов в СЕП по відношенню до оцінюваних показників надійності показана на рис. 2.

Причини відмов основних елементів СЕП показані на рис. 3. Причини раптових відмов основних елементів СЕП показані на рис. 4.

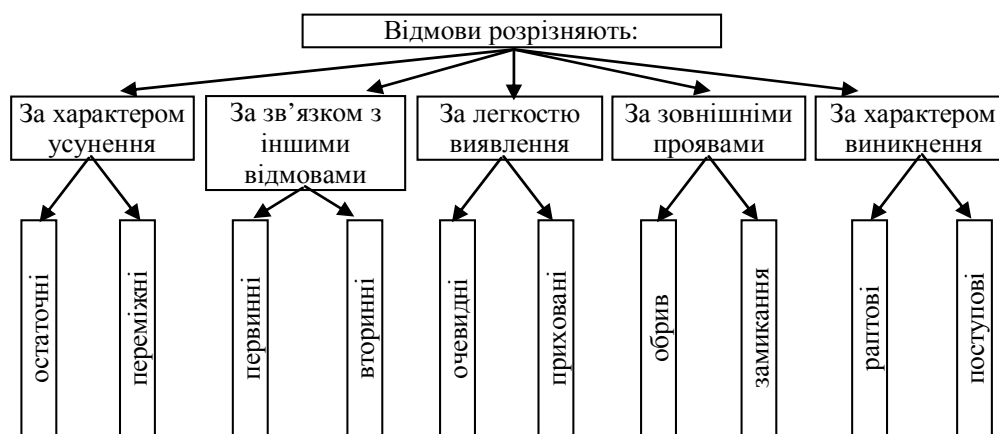


Рис. 1. Ознаки, по яких розрізняють відмови в СЕП

Оцінка показників надійності об'єктів за експериментальними даними

Експериментальні дані про надійність технічних об'єктів можуть бути отримані в результаті спо-

стережень за їх роботою або в умовах реальної експлуатації, або при спеціальних випробуваннях на безвідмовну роботу.

Дані випробувань зазвичай не можуть повністю замінити експлуатаційні дані. Реальна ж експлуата-

ція є недосяжною по своїх масштабах в лабораторних умовах експеримент. Проте і при реальній експлуатації далеко не завжди вдається отримати потрібну інформацію по причинах вказаних в [4].

Тому виникає питання про застосування і розвиток моделювання процесу експлуатації виробів і розробку методів прискорених випробувань.

Для проведення випробувань складається план,

в якому указуються: кількість об'єктів, порядок заміни об'єктів, що відмовили, тривалість випробувань.

Результати випробувань зазвичай представляють у вигляді впорядкованої послідовності (варіаційного ряду) чисел, які є значеннями напрацювання повністю об'єктів. Графіки інтенсивності відмов $\lambda(t)$ або щільності розподілу напрацювання повністю $f(t)$ будуються за статистичними даними про відмови.



Рис. 2. Класифікація відмов в СЕР

Розрахунок показників надійності, як окремих структурних елементів СЕР, так і СЕР в цілому

Результати випробувань (спостережень) очищені попередньою обробкою, підлягають статистичній обробці. Статистична обробка зводиться до оцінки параметрів функцій розподілу випадкових величин, що визначають шукані показники надійності, тобто до традиційного завдання математичної статистики. Дані завдання можна описувати і обробляти по-різному, як це описано в багатьох джерелах. Але, як для будь-якої технічної системи існує ГОСТ, тому кращий варіант розрахунку і обробки це розробка методик заснованих на Гості.

Розрахунок параметрів надійності [1] параметричним методом (тобто при відомому законі розподілу випадкової величини, яка включає оцінку параметрів закону розподілу, що входять в розрахункову формулу визначуваного показника надійності, і оцінку показника надійності по обчислених оцінках параметрів (закону розподілу), проводимо по одному з планів випробувань на надійність. Класифікація планів згідно [1] показана на рис. 5. Розрахунок по планах випробувань для невідновлюваних і відновлюваних елементів показаний на рис. 6 і 7.

Умовні позначення основних чинників випробувань: N – число виробів; U – відсутність заміни

або відновлення; R – заміна виробів, що відмовили; M – відновлення виробів, що відмовили; T – випробування (спостереження) закінчуються після закінчення фіксованого відліку часу (напрацювання); r – випробування (спостереження) закінчуються після досягнення фіксованого числа реалізацій (відмов, відновлень)/

Для зниження об'єму обчислювальної роботи при розрахунку показників надійності, як окремих структурних елементів СЕР, так і СЕР в цілому розроблені підпрограми системи обчислювальної математики MATHCAD для розрахунку показників надійності.

Підпрограми для розрахунку показників надійності при раптових відмовах (експоненціальний закон розподілу) для невідновлюваних елементів СЕР

Підпрограму складаємо для плану [NUN].

Початкові дані:

t_i – окремі значення випадкової величини напрацювання повністю (напрацювання між відмовами); N – число випробовуваних об'єктів; r – число відмов; T – розрахункова тривалість інтервалу основної роботи.

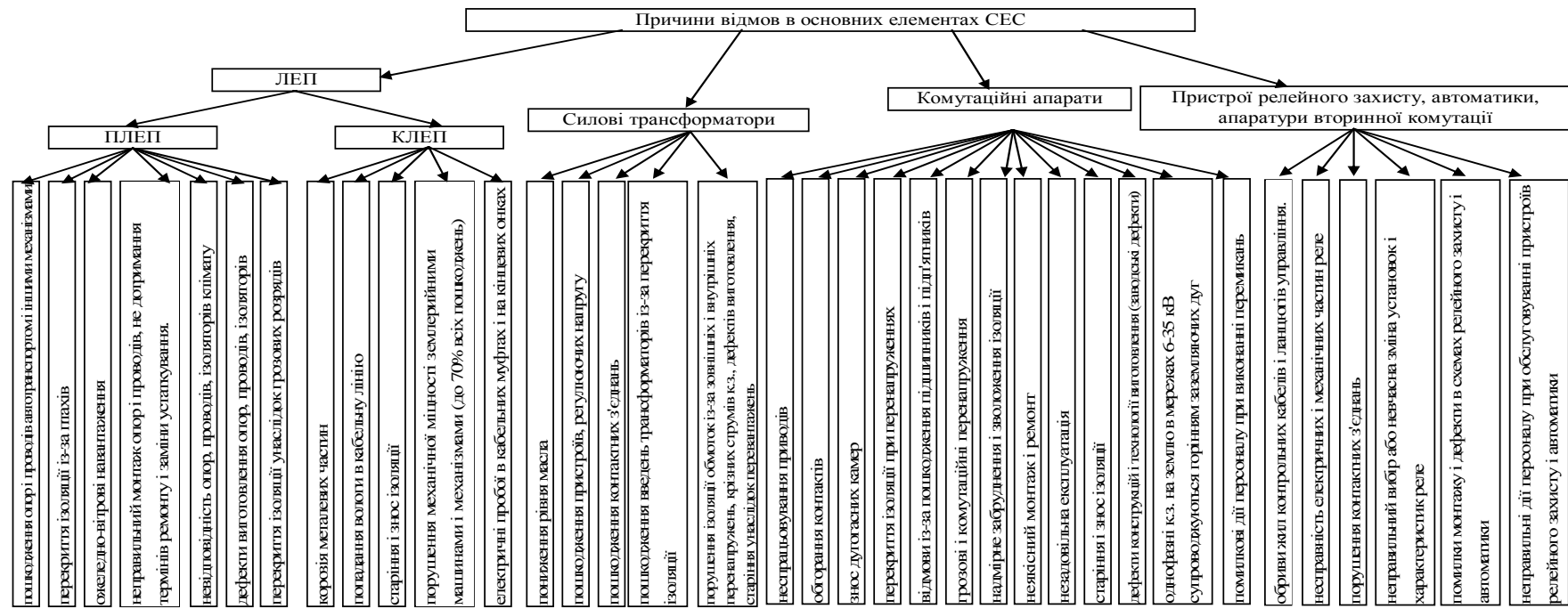


Рис. 3. Причини відмов основних елементів СЕС

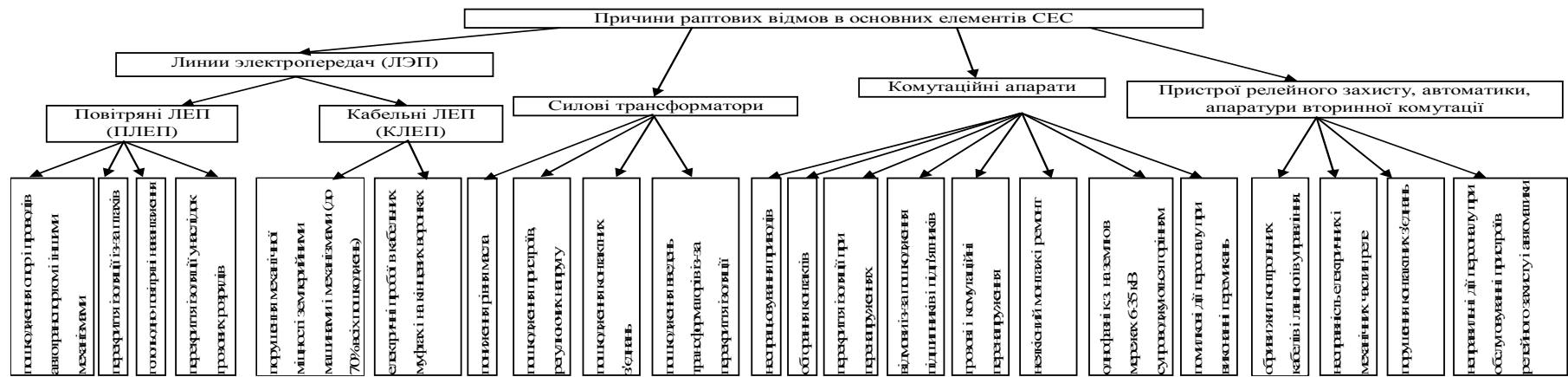


Рис. 4. Причини раптових відмов основних елементів СЕС

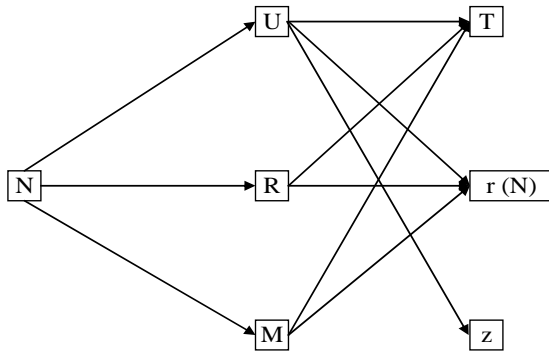
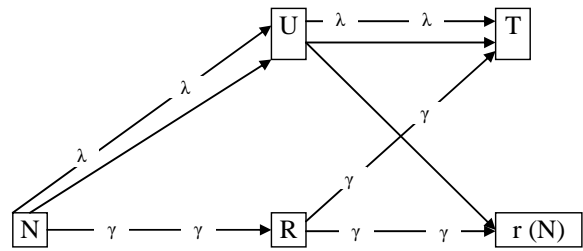


Рис. 5. Класифікація планів випробувань на надійність



— середнє напрацювання на відмову
 — λ — інтенсивність відмов
 — γ — гамма-відсоткове напрацювання повністю

Рис. 6. Розрахунок по планах випробувань на надійність для невідновних елементів СЕП (або СЕП в цілому)

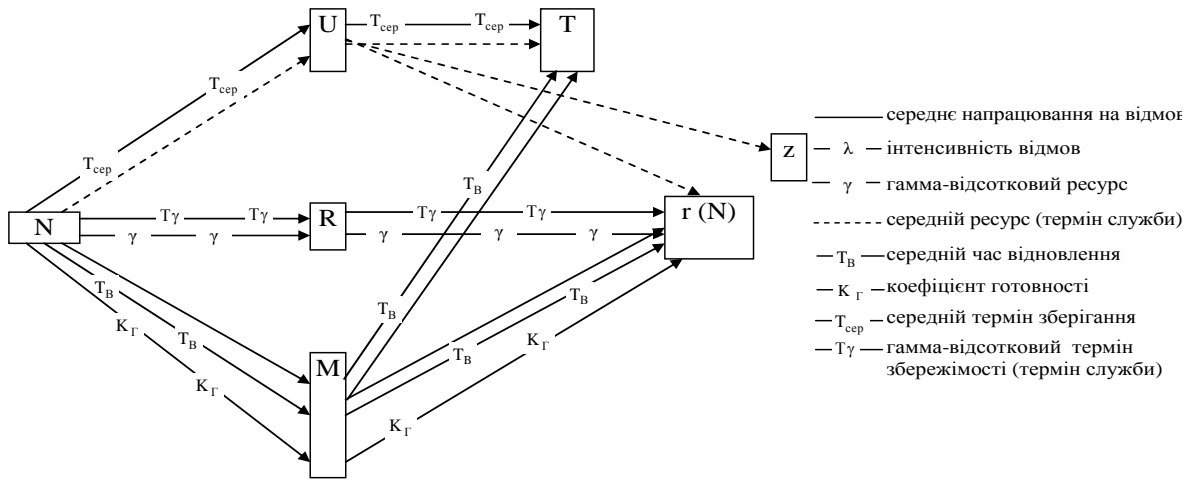


Рис. 7. Розрахунок по планах випробувань на надійність для відновлюваних елементів СЕП (або СЕП в цілому)

Необхідно визначити: $\hat{\lambda}(T)$ – інтенсивність відмов в перебігу часу T ; $\hat{T}_{сер}$ – середнє напрацювання повністю в перебігу часу T ; $\hat{P}(T)$ – вірогідність безвідмовної роботи в перебігу часу T ; $\hat{Q}(T)$ – ймовірність відмови об'єкту протягом часу T . Визначаємо точкову оцінку інтенсивності відмов $\lambda(T)$ в перебігу часу T :

Для плану [NUN]

$$\hat{\lambda}(T) = \frac{N-1}{N} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^N t_i}, \quad 1/\text{час}, N > 1 \quad (1)$$

Для плану [NUr]

$$\hat{\lambda}(T) = \frac{r-1}{\sum_{i=1}^r t_i + (N-r) \cdot t_r}, \quad 1/\text{час}, r > 1 \quad (2)$$

де t_i – вибіркові значення напрацювання повністю, ресурсу, терміну служби, терміну збереження елементу СЕП.

Для плану [NUT]

$$\hat{\lambda}(T) = \frac{d}{\sum_{i=1}^d t_i + (N-d) \cdot T}, \quad 1/\text{час}, d > 0 \quad (3)$$

де d – число елементів, що відмовили, за час роботи, причому $d < N$.

Визначаємо вірогідність безвідмовної $P(T)$ роботи в перебігу часу T за формулою:

$$\hat{P}(T) = e^{-\hat{\lambda}(T) \cdot T} \quad (4)$$

Визначаємо $Q(T)$ вірогідність відмови об'єкту протягом часу T по формулі:

$$\hat{Q}(T) = 1 - \hat{P}(T) \quad (5)$$

Визначаємо середнє напрацювання повністю $T_{сер}$:

$$\hat{T}_{сер} = \frac{1}{\hat{\lambda}(T)}, \text{ час} \quad (6)$$

Для зниження об'єму обчислювальної роботи при розрахунку показників надійності, як окремих структурних елементів СЕП, так і СЕП в цілому розроблена підпрограма VOEXPUNUN(t, N, T).

Підпрограма для розрахунку показників надійності при раптових відмовах (експоненціальний закон розподілу). Аргументи підпрограми VOEXPUNUN(t, N, T): t – вектор-стовпець значень випадкової величини напрацювання повністю (напрацювання між відмовами); T – значення часу [го-

дина], протягом якого необхідно визначити вірогідність безвідмовної роботи; $T_{\text{ср}}$ – середній час роботи безвідмовної роботи [година] резервованої системи; PT – вірогідність безвідмовної роботи об'єкту протягом часу T ; $QT = 1 - PT$ – вірогідність відмови об'єкту протягом часу T .

Схема підпрограми $VOEXPNUN(t_i, N, T)$ для плану [NUN] наведена на рис. 8, а.

Для плану [NUr] і [NUT] в тексті підпрограми замінюємо розрахунок точкової оцінки $\hat{\lambda}(T)$ (формули (2) або (3)).

Результат розрахунку виводиться у вигляді вектора-стовпця з показниками надійності СЕП.

Підпрограми для розрахунку показників надійності при раптових відмовах (експоненціальний закон розподілу) для відновлюваних елементів СЕП

Підпрограму складаємо для плану [NUN].

Початкові дані: t_i – окремі значення випадкової величини напрацювання повністю (напрацювання між відмовами); N – число випробовуваних об'єктів; r – число відмов; t_{B_i} – окремі значення часу відновлення; M – число відновлених елементів; T – розрахункова тривалість інтервалу основної роботи.

Необхідно визначити: $\hat{\lambda}(T)$ – інтенсивність відмов в перебігу часу T ; $\hat{\omega}(T)$ – параметр потоку відмов в перебігу часу T ; $\hat{P}(T)$ – вірогідність безвідмовної роботи в перебігу часу T ; $\hat{Q}(T)$ – вірогідність відмови об'єкту протягом часу T ; \hat{T}_0 – середнє напрацювання на відмову; \hat{T}_B – середній час відновлення; \hat{K}_r – коефіцієнт готовності; $\hat{K}_{OG}(T)$ коефіцієнт оперативної готовності в перебігу часу T .

Визначаємо точкову оцінку інтенсивності відмов $\hat{\lambda}(T)$ в перебігу часу T :

Для планів [NUN], [NUr] і [NUT] $\hat{\lambda}(T)$ визначуваний по формулах (1) (2) (3).

Для плану [NUz]

$$\hat{\lambda}(T) = \frac{r \cdot N}{(N-1) \cdot \left(\sum_{i=1}^r t_i + \sum_{j=1}^n \tau_j \right)}, \text{ 1/ час,} \quad (7)$$

де τ_j – вибіркові значення напрацювання працездатних елементів СЕП.

Для плану [NMr]

$$\hat{\lambda}(T) = \frac{r}{N \cdot t_r}, \text{ 1/ час.} \quad (8)$$

Для плану [NMT]

$$\hat{\lambda}(T) = \frac{d}{N \cdot T}, \text{ 1/ час.} \quad (9)$$

$$VOEXPNUN(t, N, T) := \begin{pmatrix} \lambda \leftarrow \frac{N-1}{\sum t} \\ T_{\text{ср}} \leftarrow \frac{1}{\lambda} \\ PT \leftarrow 1 - e^{-\lambda \cdot T} \\ QT \leftarrow 1 - PT \\ \left(\begin{array}{c} \lambda \\ T_{\text{ср}} \\ PT \\ QT \end{array} \right) \end{pmatrix}$$

а

$$VOEXPVOSSNUN(t, N, M, t_B, T) := \begin{pmatrix} \lambda \leftarrow \frac{N-1}{\sum t} \\ \omega \leftarrow \lambda \\ T_0 \leftarrow \frac{1}{\lambda} \\ T_B \leftarrow \frac{1}{M} \cdot \sum t_B \\ K_r \leftarrow \frac{T_0}{T_0 + T_B} \\ K_{OG} \leftarrow \frac{T_0}{T_0 + T_B} \cdot e^{-\frac{1}{T_0}} \\ PT \leftarrow 1 - e^{-\lambda \cdot T} \\ QT \leftarrow 1 - PT \\ \left(\begin{array}{c} \lambda \\ T_0 \\ K_r \\ K_{OG} \\ PT \\ QT \end{array} \right) \end{pmatrix}$$

б

Рис. 8. Схеми підпрограм для плану [NUN]:

а – $VOEXPNUN(t_i, N, T)$;

б – $VOEXPVOSSNUN(t, N, M, t_B, T)$

Ймовірність безвідмовної $\hat{P}(T)$ роботи в перебігу часу T за формулою (4), вірогідність відмови $\hat{Q}(T)$ об'єкту протягом часу T за формулою(5).

Визначаємо середнє напрацювання на відмову T_0 за формулою:

$$\hat{T}_0 = \frac{1}{\hat{\lambda}(T)}, \text{ час.} \quad (10)$$

Визначуваний параметр потоку відмов $\omega(T)$ в перебігу часу T за формулою:

$$\widehat{\omega}(T) = 1/\widehat{T}_0, \quad 1/\text{час}. \quad (11)$$

Визначаємо середній час відновлення \widehat{T}_B за формулою:

$$\widehat{T}_B = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n t_{Bi}, \text{ час}, \quad (12)$$

де n – число відновлень

Визначуваний коефіцієнт готовності \widehat{K}_G за формулою:

$$\widehat{K}_G = \frac{\widehat{T}_0}{\widehat{T}_0 + \widehat{T}_B}. \quad (13)$$

Визначуваний коефіцієнт оперативної готовності $\widehat{K}_{OG}(T)$ за формулою:

$$\widehat{K}_{OG}(T) = \widehat{K}_G \cdot e^{-\frac{1}{T_0}} = \frac{\widehat{T}_0}{\widehat{T}_0 + \widehat{T}_B} \cdot e^{-\frac{1}{T_0}}. \quad (14)$$

Для зниження об'єму обчислювальної роботи при розрахунку показників надійності, як окремих структурних елементів СЕП, так і СЕП в цілому розроблена підпрограма $VOEXPVOSSNUN(t, N, M, t_B, T)$, її аргументи: t – вектор-стовпець значень випадкової величини напрацювання повністю (напрацювання між відмовами); T – значення часу [година], протягом якого необхідно визначити вірогідність безвідмовної роботи; T_B – вектор-стовпець значень час відновлення [година].

Схема підпрограми $VOEXPVOSSNUN(t, N, M, t_B, T)$ плану [NUN] наведена на рис. 8, б. Для планів [NUT], [NUT], [NUZ], [NMG], [NMT] в тексті підпрограми замінюємо розрахунок точкової оцінки

Висновок

Розроблені підпрограми системи обчислювальної математики MATHCAD, які дозволяють розраховувати точкові оцінки показників надійності.

Результати розрахунку виводяться у вигляді вектора-стовпця з чотирьох (для невідновних елементів) або шести (для відновлюваних елементів) чисел, що дозволяє наочно аналізувати оцінки параметрів надійності елементів і розрахунок системи електропостачання в цілому.

Список літератури

1. ГОСТ 3004-95 "Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным", 1996.01.01.
2. ГОСТ 27.410 "Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность", 1996.01.01.
3. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – 2-е изд., перераб. И доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
4. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. Практикум. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 506 с.
5. ГОСТ 2860-94 "Надійність техніки. Терміни та визначення", 1996.01.01.
6. ГОСТ 2862-94 "Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності" (загальні вимоги), 1996.01.01.
7. Беляев Ю.К., Богатырев В.А., Болотин В.В. и др. Надежность технических систем: Справочник / Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 123 с.
8. Конюхова Е.А., Киреева Э.А. Надежность электроснабжения промышленных предприятий. – М.: НТФ "Энергопрогресс", 2001. – 92 с; ил. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу "Энергетик"; Вып. 12(36)].
9. Архирейский А.А., Рассоха Е.Н. Статистическая обработка данных о надежности: Методические указания к выполнению расчетно-графической работы. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 35 с.
10. Коняхин И.А. Методы и средства статистического моделирования (Анализ надежности): Учебн. пособие. – СПб: ИТМО, 2005.

Поступила в редколлегию 7.10.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.Т. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ ПРИ ВНЕЗАПНЫХ ОТКАЗАХ

Т.П. Супрун

Система электроснабжения – сложная система, характеризующаяся рядом специфических особенностей, состоящая из множества элементов, каждый из которых, в свою очередь, также является сложной системой (например, электростанция, воздушная и кабельная линии электропередач). Расчет такой системы объемный. Поэтому для расчета показателей надежности системы разработана методика проектирования MathCAD программ для обработки статистических параметров по отказам элементов системы электроснабжения.

Ключевые слова: система электроснабжения, надежность, отказ, внезапный отказ, расчет показателей надежности, экспериментальные данные элементов СЭС.

DETERMINATION OF RELIABILITY OF SYSTEM OF POWER SUPPLY INDEXES FROM EXPERIMENTAL DATA AT SUDDEN REFUSES

T.P. Suprun

The system of power supply is the difficult system, characterized the row of specific features, consisting of great number of elements, each of which, in same queue, also is the difficult system (for example power-station, air and cable lines of electricity transmissions). A calculation of such system is a volume. Therefore for the calculation of reliability of the system indexes a design technique MATHCAD of the programs is developed for treatment of statistical parameters on the refuses of elements of the system of power supply.

Keywords: system of power supply, reliability, refuse, sudden refuse, a calculation of reliability indexes is experimental information of elements of PS.