Биомасса, загрязняющие ингредиенты выбросов в атмосферу, продукты сгорания, энергоэффективность.

The environmental aspect of using biomass to generate heat is analyzed. The requirements to be followed in the implementation of biomass boilers are given.

Biomass, polluting ingredients emissions, waste products, energy efficiency.

УДК 621.316.1

ПІДХІД ІЗ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

О.В. Гай, кандидат технічних наук
С.В. Стахнюк, студент

Розкрито підхід із визначення показників надійності системи електропостачання з використанням методу імітаційного моделювання та сформовано математичну модель пошуку можливого діапазону кількості циклів генерування випадкової величини для подальшого отримання адекватних значень показників надійності імітаційним методом.

Система електропостачання, показники надійності, імітаційне моделювання.

Внаслідок ускладнення структури електричної мережі та розвитку фінансових взаємовідносин між споживачем та постачальником електричної енергії актуальним є питання з визначення показників надійності системи електропостачання методом імітаційного моделювання.

Мета досліджень – формування підходу з визначення показників надійності системи електропостачання з використанням методу імітаційного моделювання і вивчення зміни кількості циклів генерування випадкової величини для адекватних результатів.

Матеріали та методика досліджень. Для дослідження використано метод імітаційного моделювання – Монте-Карло [5]. Це численний метод для вирішення математичних задач за допомогою моделювання випадкових величин. Завданням цієї роботи є визначення кількості випробувань для отримання адекватного значення показників надійності.

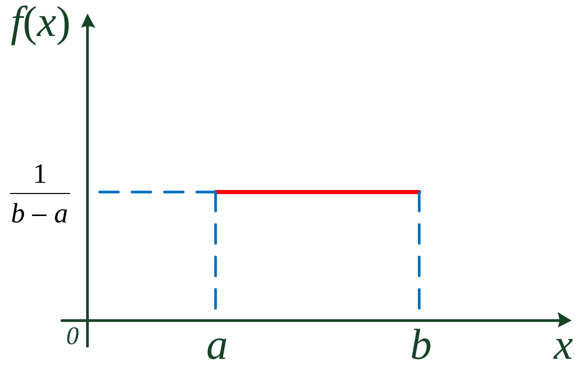

Рис. 1. Функція густини рівномірного розподілу випадкового числа

Для знаходження кількості циклів виконуємо такі стадії:

1. Генеруємо випадкове число (в.ч.) x_1 рівномірним законом розподілу (густина розподілу показана на рис. 1 [3]).

2. Якщо перше генероване випадкове число x_1 не дорівнює математичному очікуванню, то генеруємо друге випадкове число x_2 з тими самими параметрами розподілу рівномірного закону і знаходимо середнє значення цих випадкових чисел ($\frac{x_1 + x_2}{2}$). У цьому випадку математичне очікування m – це значення ймовірності безвідмовної роботи одного елемента системи. Якщо середнє значення в.ч. не дорівнює математичному очікуванню, то генеруємо третє в.ч., і т. д.

Такі операції виконуємо доти, поки випадкове число буде дорівнювати математичному очікуванню. Щоб операція знаходження середнього значення випадкового числа, яке дорівнює математичному очкуванню, не проходила нескінченно довго, задаємося обмеженням. Для достовірнішого результату початкове обмеження повинно становити 1000, тобто з генерованих 1000 випадкових чисел знаходимо середнє значення випадкового числа, яке дорівнює математичному очікуванню. Тоді програма запам'ятовує цикл, при якому такий збіг відбувся (наприклад, на 560-му циклі генерування випадкового числа). Якщо ж такого збігу не відбулося, то запам'ятовується 1000 циклів.

Ці всі операції здійснюються в одному циклі, який назвемо внутрішнім.

Один зовнішній цикл – це та кількість циклів, при якому середнє значення випадкових величин збіглася з математичним очікуванням, тобто кількість внутрішніх циклів. Діаграма для п'яти зовнішніх циклів із значенням обмеження 1000 і середнім значенням циклів 230,4 зображена на рис. 2.

Зовнішніх циклів можна задати безліч. При цьому, кожен зовнішній цикл має свою кількість циклів, яка підсумовується і ділиться на кількість зовнішніх циклів, тобто знаходимо середнє значення зовнішніх циклів.

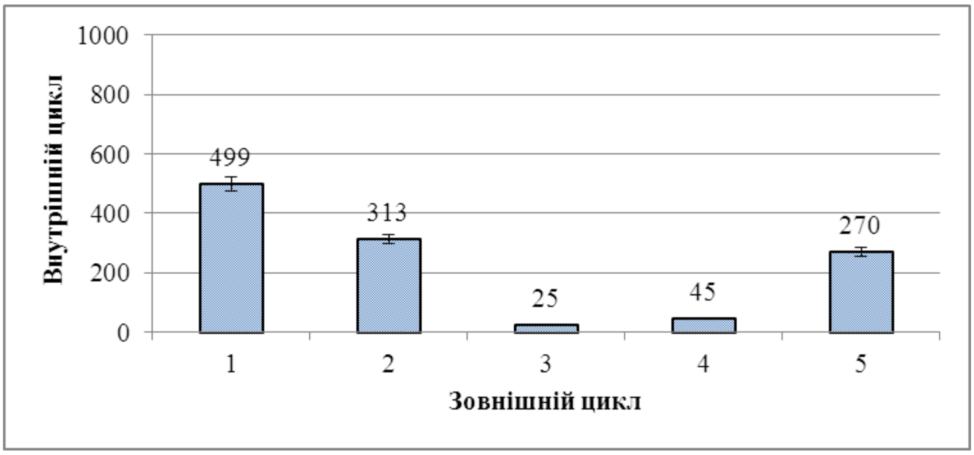

Рис. 2. Формування зовнішніх циклів

Приклад 1. При математичному очікуванні *m* = 0,996; зовнішніх циклів – **100**; обмеження – 1000; отримуємо такі значення:

При 1-му генеруванні – 474, при 2-му – 396, при 3-му – 400, при 4-му – 413, при 5-му генеруванні - 484

Висновок: середня кількість циклів випадкових чисел, яку потрібно згенерувати, щоб отримати ймовірність безвідмовної роботи елемента електромережі 0,996 знаходиться в інтервалі 396 – 484.

Приклад 2. При математичному очікуванні *m* = 0,996; зовнішніх циклів – **500**; обмеження – 1000; отримуємо такі значення:

При 1-му генеруванні – 421, при 2-му – 472, при 3-му – 441, при 4-му – 417, при 5-му генеруванні – 447.

У цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи елемента електромережі 0,996 знаходиться в інтервалі 417 – 472.

Приклад 3. При математичному очікуванні *m* = 0,996; зовнішніх циклів – **1000**; обмеження – 1000; отримуємо такі значення:

При 1-му генеруванні – 436, при 2-му – 437, при 3-му – 424, при 4-му – 434, при 5-му генеруванні – 413.

У цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи елемента електромережі 0,996 знаходиться в інтервалі 413 – 437.

Як показано в прикладах 1–3 із збільшенням кількості зовнішніх циклів інтервал циклів в.ч. при ймовірності безвідмовної роботи елемента 0,996 зменшується. При достатньо великій кількості зовнішніх циклів можна отримати ту кількість циклів, при яких ймовірність буде становити 0,996.

Для вищенаведеного була розроблена програма в середовищі C++, яка дозволяє розрахувати методом імітаційного моделювання Монте-Карло для кожного елемента електромережі із заданою ймовірністю безвідмовної роботи чи ймовірністю відмови, кількість циклів в.ч., розподілених за рівномірним законом розподілу, при якій ця ймовірність досягається.

Блок-схема алгоритму програми зображена на рис. 3.

Алгоритм працює так:

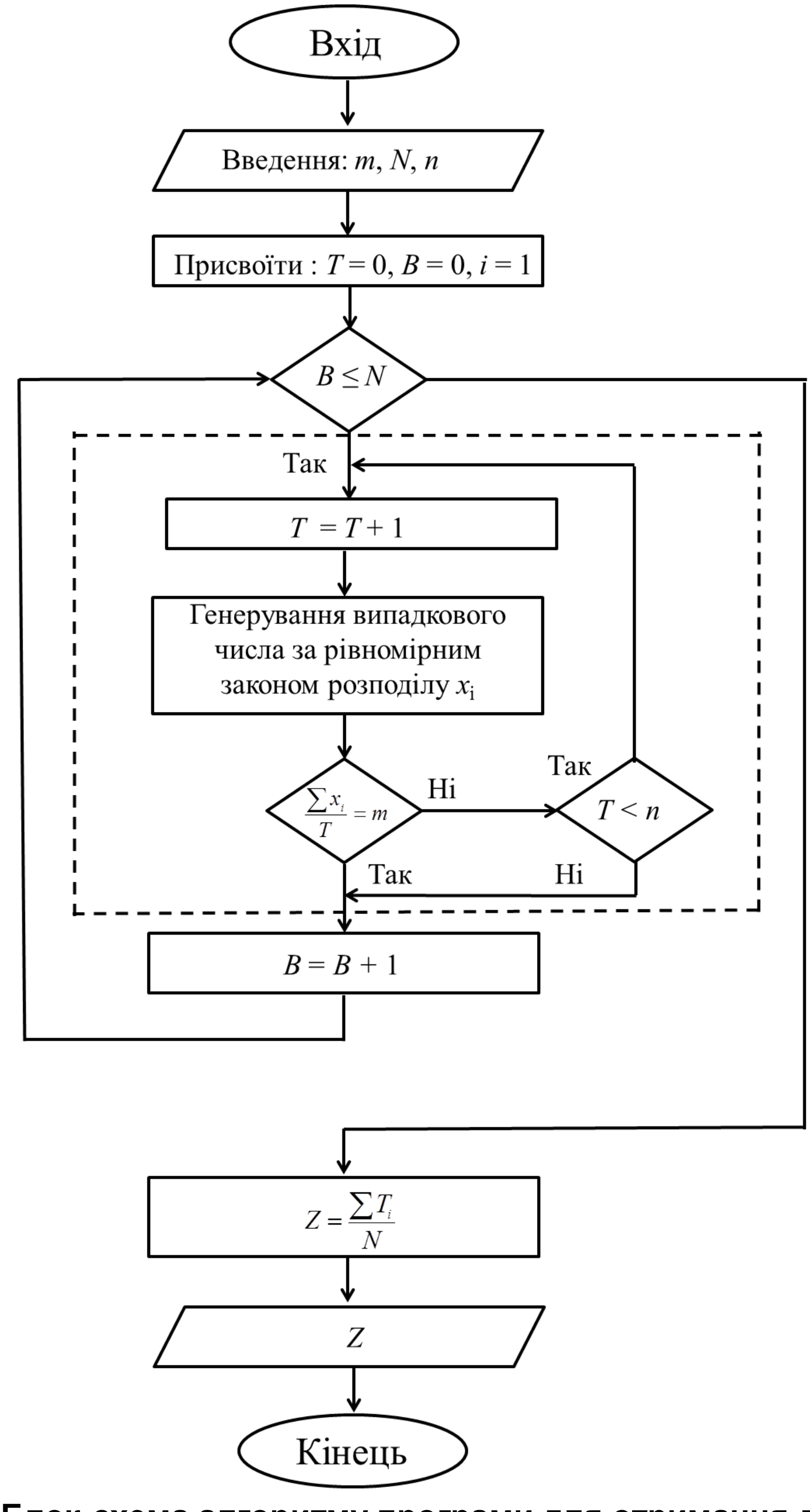

Рис. 3. Блок-схема алгоритму програми для отримання дійсного значення показників надійності

Після запуску програми вводимо початкові дані, m – математичне очікування, N – кількість зовнішніх циклів, n – кількість внутрішніх циклів (обмеження).

Після введення початкових даних у програмі генерується випадкове число x за рівномірним законом розподіл, де x є [0,1]. Це випадкове число порівнюється із заданим математичним очікуванням m.

Якщо $x_{сер} \neq m$, то знову генерується випадкове число, тобто іде наступний цикл T, щоб він проходив нескінченно довго, задаємо обмеження n. Щоб знаходження кількості циклів T не проходило нескінечно-довго, задаємо обмеженням n.

Якщо $x_{сер} = m$ при деякому циклі T (наприклад, $T = 536$), то цей цикл запам'ятовується, як K_i. Всі ці вищезроблені операції здійснюються в внутрішньому циклі (на блок-схемі обмежені штриховою лінією).

Далі знаходимо друге число кількості циклі, при якому $x_{сер} = m$. Кількість внутрішніх циклів, генеруємо певну кількість N.

Після підсумовування кількість циклів, при яких випадкове число збіглося з математичним очікуванням, знаходимо їх середнє значення Z:

$$Z = \frac{K_1 + K_2 + \ldots + K_n}{N}.$$

Далі програма виводить число Z, тобто кількість циклів, яку потрібно згенерувати, щоб отримати випадкове число із заданою ймовірністю (у цьому випадку m).

При кожному запуску програми будемо отримувати різне число Z. Але здійснивши оцінку отриманих значень, можна наблизитися до дійсного числа циклів $Z_{дійсн.}$.

При початкових параметрах ($m = 0{,}996$, $N = 100$, $n = 10000$), отримаємо :

Кількість дослідів *n*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Отримані цикли Z	1966	1586	1227	1529	1347	1528	1454	1833	1016	1295

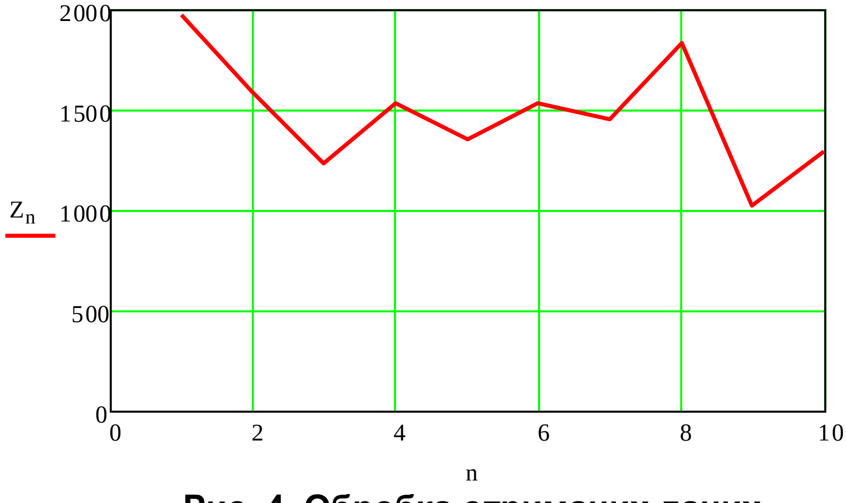

Рис. 4. Обробка отриманих даних

Математичне очікування отриманих даних (рис. 4) розраховується за формулою [1]:

$$m = \frac{\sum_{n} Z_n}{n} = 1478{,}1 .$$

Дисперсія:

$$D = \frac{\sum_{n} (Z_i)^2}{n} - m^2 = 70860{,}49 .$$

Середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{70860{,}49} = 266.196 .$$

На рис. 5 показано межі випадкового числа.

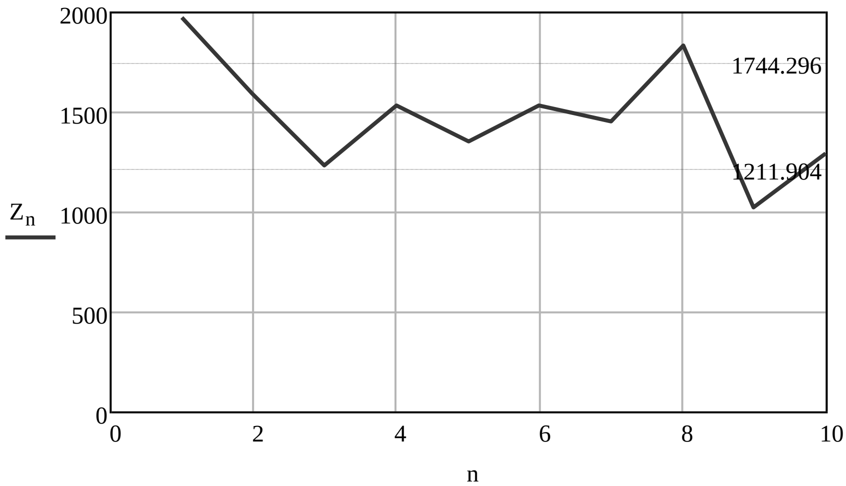

Рис. 5. Межі змінення випадкового числа

Наведено приклад для знаходження кількості циклів для одного елемента електромережі із заданою ймовірністю безвідмовної роботи.

Але, оскільки мережа складається із багатьох елементів (лінії, кабелі, шини, трансформатори, вимикачі, запобіжники та ін.), то доцільно визначити яку ж кількість циклів генерування в.ч. потрібно провести для цієї мережі, щоб отримати достовірні результати. Припускаємо, що кожний елемент мережі має певну ймовірність безвідмовної роботи (довідкові дані), то потрібно для кожного елемента із своєю ймовірністю знайти кількість циклів і з них вибрати найбільше число циклів [2].

Результати досліджень. Допустимо в складі досліджуваної схеми заміщення електричної мережі є три послідовно включені елементи, кожен із яких має свою ймовірність безвідмовної роботи (рис. 6).

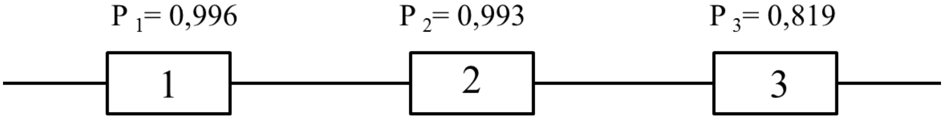

Рис. 6. Структурна схема заміщення об’єкта дослідження

Знайдемо для кожного елемента кількість циклів, при яких досягається задана ймовірність елемента, задавши для вищенаведеної програми такі вхідні дані:

1 – й елемент:

– математичне очікування $m_1 = 0{,}996$;

– кількість зовнішніх циклів – **1000**;

– обмеження – 1000.

Кількість дослідів *n*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Отримані цикли Z	440	441	423	428	427	454	444	441	439	416

Математичне очікування $m = \frac{\sum_n Z_n}{n} = 435,3.$

Дисперсія $D = \frac{\sum_n (Z_i)^2}{n} - m^2 = 117,21.$

Середнє квадратичне відхилення $\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{70860,49} = 10,826.$

2 – й елемент:

– математичне очікування m_1 = 0,993;

– кількість зовнішніх циклів – **1000**;

– обмеження – 1000.

Кількість дослідів *n*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Отримані цикли Z	443	443	445	442	438	423	448	441	455	444

Математичне очікування $m = \frac{\sum_n Z_n}{n} = 442,2.$

Дисперсія $D = \frac{\sum_n (Z_i)^2}{n} - m^2 = 59,76.$

Середнє квадратичне відхилення $\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{70860,49} = 7,73.$

3 – й елемент:

– математичне очікування m_1 = 0,819;

– кількість зовнішніх циклів – **1000**;

– обмеження – 1000.

Кількість дослідів *n*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Отримані цикли Z	431	441	448	429	452	422	462	438	448	438

Математичне очікування $m = \frac{\sum_n Z_n}{n} = 442,1.$

Дисперсія $D = \frac{\sum_n (Z_i)^2}{n} - m^2 = 117,49.$

Середнє квадратичне відхилення $\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{70860,49} = 10,839.$

Математичні очікування кожного елемента запишемо в таблиці:

Результати досліджень елементів системи

Параметр	Елемент мережі		
	1	2	3
Математичне очікування *m*	453,3	442,2	442,1
Дисперсія D	117,21	59,76	117,49
Середньоквадратичне відхилення σ	10,826	7,73	10,839
Кількість циклів $Z_{прийняті}$	**454**	**443**	**443**

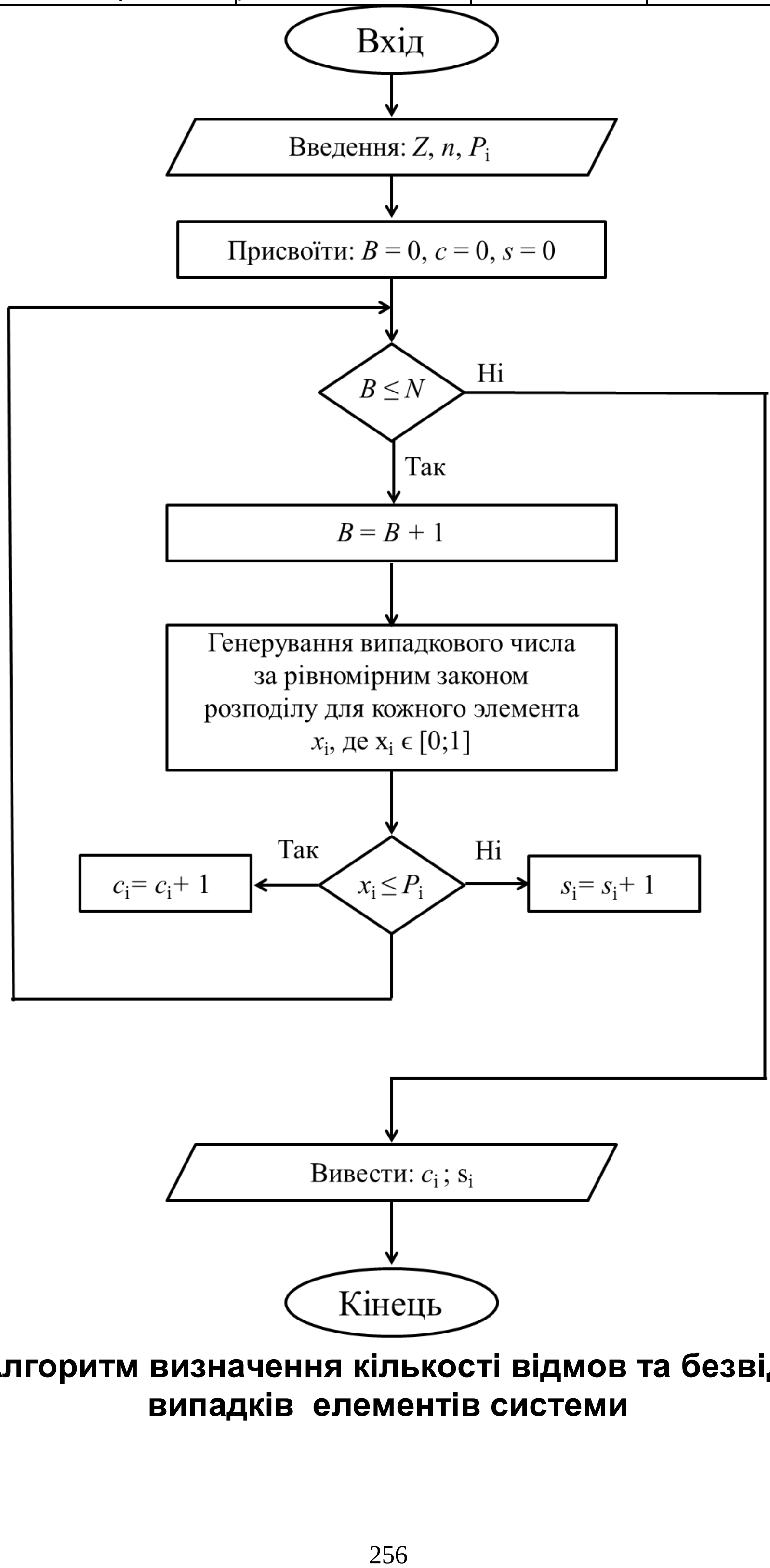

Рис. 7. Алгоритм визначення кількості відмов та безвідмовних випадків елементів системи

Отже, потрібно для дослідження системи, яка складається із трьох елементів, здійснити 454 випробувань.

Якщо, наприклад, для цих елементів (див. рис. 6) одночасно згенерувати в.ч. за рівномірним законом розподілу 454 рази і порівняти його з ймовірністю безвідмовної роботи, припускаючи, що в.ч. більше заданої імовірності, то елемент відмовив.

Для визначення відмови елементів складаємо такий алгоритм (див. рис. 7) і виконуємо дії.

1. Задаємо кількість циклів (Z), кількість елементів (n) та ймовірність безвідмовної роботи кожного елемента (P_i).
2. Присвоюємо при моделюванні початкову кількість здійснювальних циклів (B = 0), кількість випадків без відмов елемента c_i =0 та кількість відмов елемента s_i = 0.
3. Виконуємо генерацію випадкових чисел [0-1] за рівномірним законом розподілу для кожного елемента.
4. Порівнюємо в.ч. із заданою ймовірністю безвідмовної роботи елемента. Якщо в.ч. менше заданої ймовірності безвідмовної роботи ($x_i \le P_i$), то елемент працює, якщо більше ($x_i \ge P_i$), то – відмовив.
5. Операції 3 і 4 повторюємо Z разів.
6. Виводимо кількість відмов кожного елемента s_i і кількість безвідмовних випадків c_i.

Блок-схема цієї програми зображена на рис. 7.

Для моделі, наведеної на рис. 8, при кількості циклів Z = 454, отримаємо:

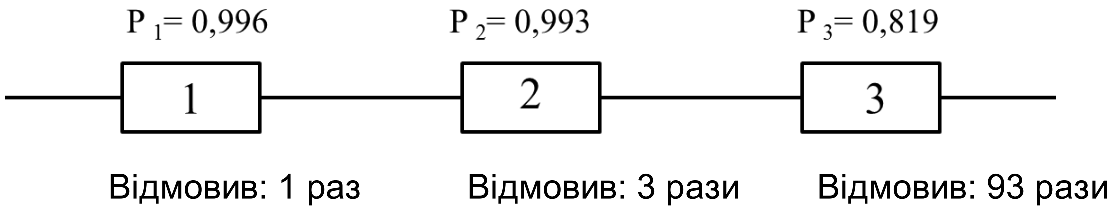

Рис. 8. Структурна схема заміщення досліджуваної схеми з результатами моделювання

Для визначення ймовірності безвідмовної роботи кожного елемента використаємо таку формулу [2]:

$$P_{екс} = \frac{c_i}{N},$$

де c_i – кількість безвідмовних випадків; N – сумарна кількість дослідів (у розглянутому випадку кількість циклів Z);

Отже, 1-й елемент має ймовірність безвідмовної роботи $P_{екс1} = 0{,}998$;

2-й – $P_{екс2} = 0{,}993$;

3-й – $P_{екс3} = 0{,}795$.

Висновки

Результати наведеного математичного експерименту показують, що довідкові та експериментальні ймовірності безвідмовної роботи елементів, відрізняються між собою на величини, які менші за 5 %, що вказує на адекватність використання цього методу моделювання.

Список літератури

1. Денисов-Винский Н. Д. Mathcad. III курс. Теория вероятностей и математическая статистика / Н. Д. Денисов-Винский. – М.: МИЭЭ, 2009. – 93 с.
2. Козирський В.В. Методи та моделі розрахунку надійності систем електропостачання: монографія / В.В. Козирський, О.В. Гай. – К.: Гнозіс, 2013. – 563 с.
3. Тичинська Л.М. Теорія ймовірностей. Ч. 1. Історичні екскурси та основні теоретичні відомості / Л.М. Тичинська, А. А. Черепащук. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 112 с.
4. Billinton Roy. Reliability Evaluation of Power Systems / Roy Btlllnton and Ronald N. Allan. New York, Plenum, 1984 – 534 p.
5. Godha N. R. Godha. Time Sequential Monte Carlo Simulation for Evaluation of Reliability Indices of Power Distribution System / N.R. Godha, S.R. Deshmukh, R.V. Dagade. Department of Electrical Engineering, PVG'sCOET and BSCOER, Pune University, Pune, India 2012. Режим доступу до сервера: http://www.ieor.iitb.ac.in/files/ieorweb/ISCI2012/B1MonteCarloMethods/ISCI2012_paper_#30.pdf

Раскрыто подход по определению показателей надежности системы электроснабжения с использованием метода имитационного моделирования и сформирована математическая модель поиска возможного диапазона количества циклов генерирования случайной величины для дальнейшего получения адекватных значений показателей надежности имитационным методом.

Система электроснабжения, показатели надежности, имитационное моделирование.

Disclosed approach on defining power system reliability using the simulation and mathematical model formed searching possible range of the number of cycles for generating random values to continue to receive adequate values of reliability indices simulation method.

Power supply system, reliability indicators, simulation.