

УДК 620.1.052/62-192

С.О. Кудрик

Луцький національний технічний університет

### Огляд існуючих методик статистичного моделювання надійності

Проведено огляд існуючих методик моделювання надійності для передбачення поведінки системи у реальних умовах експлуатації. Розглянуто алгоритми статистичного моделювання, що ґрунтуються на застосуванні генераторів випадкових чисел, розподілених за заданим законом розподілу на прикладі типових структурних схем надійності.

Ключові слова: надійність, відновлення, відновлювальний орган, мажоритарний відновлювальний орган, моделювання надійності, об'єм вибірки, автоматизована система управління.

В сучасному світі дедалі більшого поширення набувають автоматизовані системи управління (АСУ). Їх складність, а відповідно і вартість збільшується з космічною швидкістю. Ще на перших етапах проектування фахівці намагаються мінімізувати кількість матеріалів, що будуть в майбутньому складати певну систему. Однією з ключових проблем на етапі розробки є моделювання надійності функціонування майбутньої АСУ.

Моделюванні дає можливість більш адекватно аналізувати технічні особливості та структуру системи, що в кінцевому результаті впливає на якість проектування і знижує складність системи.

Розробка та налагодження апаратних і програмних засобів систем управління є дорогим процесом через складність алгоритмів функціонування, тривалість випробувань, необхідності використання унікального технологічного обладнання і т.д., тому вдосконалення АСУ на етапі їх проектування на основі методів прогнозування надійності є актуальним завданням.

Перші запропоновані варіанти розробки АСУ часто не відповідають потрібним вимогам надійності. Знайти найбільш ефективний, з точки зору надійності, варіант побудови АСУ можна з використанням методів статистичного моделювання.

Статистичне моделювання досить часто використовується в практиці прогнозування надійності. Його можна ефективно використовувати для імітації результатів випробувань на надійність виробів і систем.

Методи статистичного моделювання ґрунтуються на застосуванні генераторів випадкових чисел, розподілених за заданим законом розподілу. В якості випадкової величини найчастіше вибирається час до відмови. Статистичне моделювання дозволяє отримувати статистичні оцінки всіх кількісних показників надійності об'єкта, що «віртуально відмовляє» в процесі статистичного «експерименту».

Методи статистичного моделювання дозволяють оцінювати показники надійності, як окремих елементів, так і системи в цілому. При моделюванні під системою розуміється будь-який об'єкт, який можна представити у вигляді елементів, з'єднаних в одну із структурних схем надійності.

Можливість більш адекватно аналізувати технічні особливості та структуру системи, що в кінцевому підсумку впливає на якість проектування і знижує складність системи, здійснюється при генерації випадкових величин, що підпорядковуються заданому закону розподілу.

В теорії надійності виділяють два найпростіших види з'єднання елементів у систему – послідовне і паралельне. Як приклад подібного моделювання системи з послідовним з'єднанням елементів можна розглянути [1] систему з трьох послідовно з'єднаних елементів (рис. 1).

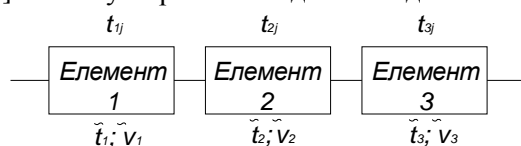


Рис. 1. Структурна схема не відновлювальної нерезервованої (послідовної) системи

Введено такі допущення:

1. Відмова елементів системи виявляється миттєво після її виникнення.

2. Відмова елемента системи не залежить від інших.
3. Відмова будь-якого елемента системи призводить до відмови всієї системи.

Для моделювання надійності системи використовується стільки генераторів випадкових чисел, скільки елементів входить до складу системи.

Метод статистичного моделювання надійності ґрунтується на принципі «слабкої ланки», тобто в розрахунках основних показників надійності використовується напрацювання на відмову системи, якому відповідає найменший час відмови елемента системи. Моделювання проводиться за рядками матриці станів елементів системи (рис. 2).

$N_2$	$G_1$	$G_2$	$G_3$
1	$t_{11}$	$t_{21}$	$t_{31}$
→	...	...	...
→	$t_{1j}$	$t_{2j}$	$t_{3j}$
$N$	$t_{1n}$	$t_{2n}$	$t_{3n}$

Рис. 2. Моделювання за рядками матриці станів елементів системи

Результати моделювання опрацьовуються, після цього в кожному рядку вибирається мінімальний час елемента, який і приймається за відмову системи.

$$t_j = \min\{t_{1j}, t_{2j}, t_{3j}\}.$$

Отже в [1] розроблений метод моделювання надійності не відновлювальної нерезервованої системи з послідовною структурою елементів на основі використання генераторів випадкових чисел, що мають заданий закон розподілу (Гауса, Вейбула, експоненціальний закон чи ін.). Системи з таким з'єднанням елементів поширені в АСУ тому моделювання надійності таких систем має велике практичне значення.

На практиці частіше використовуються системи з відновлювальною структурою. При цьому структури можуть бути як паралельного підключення, так і типу «k із n» елементів. Ряд статей дослідників надійності присвячено саме таким системам. Зокрема, у [2] розглянуто схема відновлювальної резервованої системи з структурою типу «2 з 3».

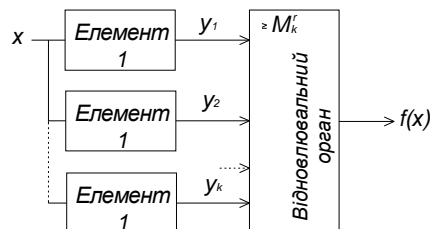


Рис. 3. Структурна схема відновлювальної резервованої системи з структурою типу «k з n»

Введено такі припущення:

1. Мажоритарний відновлювальний орган є абсолютно надійним.
2. При виявленні відмови одного з каналів системи миттєво починається процес відновлення його працездатності.
3. Після відновлення працездатності каналу його надійність повністю відновлюється.
4. Система є працездатною лише у тому випадку, якщо працездатні хоча б k=2 каналів з n=3.

Принцип моделювання полягає в наступному: для кожного каналу застосовується генератор випадкових чисел, за допомогою яких отримують значення напрацювання до відмови конкретного каналу. Вхідними даними генераторів є середній час напрацювання до відмови і коефіцієнт варіації напрацювання до відмови. Для отримання значення часу відновлення несправного каналу також використовується генератор випадкових чисел. Його вхідними даними є середній час відновлення каналу і коефіцієнт варіації часу відновлення.

Моделювання надійності розпочинається з задання початкових параметрів генератора випадкових чисел. Процес моделювання системи зі структурою «k з n» передбачає N циклів. На протязі кожного з них генеруються час напрацювання до відмови для кожного каналу системи. Ці

значення часу напрацювання розміщуються за зростанням, знаходиться мінімальний час напрацювання до відмови і генерується значення часу відновлення даного каналу. Якщо час відновлення одного каналу виявиться більшим, ніж час до початку відмови іншого каналу системи, то відмова другого каналу призведе до відмови всієї системи. Якщо час відновлення першого каналу, що відмовив, не перевищує часу до появи відмови другого, то цей час приймається за новий поточний момент моделювання. Одночасно проводиться генерація нового часу напрацювання до відмови відновлювального каналу і розрахунок інших напрацювань до відмови працездатних каналів системи. Описані вище дії повторюються доти, доки не буде зафіксовано відмову системи.

Даний метод дозволяє моделювати надійність системи типу «k з n». На основі досліджень систем за даним методом доведено наступну закономірність: при зменшенні часу відновлення системи середнє напрацювання на відмову системи зростає. Зменшення коефіцієнта варіації часу відновлення також призводить до росту середнього напрацювання на відмову системи.

Розглянемо [3] структурну схему відновлювальної системи з «холодним» резервом ( рис. 4).

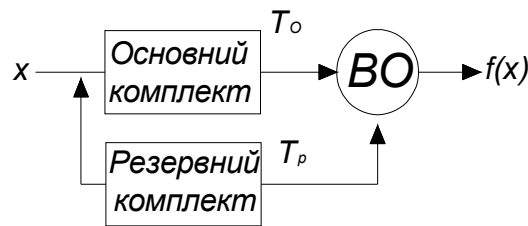


Рис. 4. Структурна схема відновлювальної системи з «холодним» резервом

Для організації моделювання надійності введені припущення:

1. Відновлювальний орган абсолютно надійний.
2. Переключення на резервний комплект і зворотно за допомогою відновлювального органу відбувається миттєво.
3. Резервний комплект в ждучому режимі абсолютно надійний.
4. Діагностична властивість відновлювального органу абсолютна.
5. Надійність основного і резервного комплектів не змінюються з часом.

Моделювання надійності починається з задання початкових параметрів генераторів випадкових чисел: один із них моделює надійність основного комплекту, інший – резервного комплекту. Обидва генератори мають параметри: середнє напрацювання до відмови і коефіцієнт варіації напрацювання до відмови. Третій генератор моделює протяжність відновлення системи та має параметри: середній час відновлення і коефіцієнт варіації часу відновлення. Також задається об'єм вибірки  $Q$ .

Спочатку генерується момент відмови основного комплекту системи, потім віртуально підключається резервний комплект і генерується момент його відмови, одночасно генерується час відновлення основного комплекту. Якщо час відновлення основного комплекту є меншим, ніж час напрацювання на відмову резервного комплекту, то система залишається працездатною. Після відновлення знову підключається основний елемент, а резервний переводиться в режим очікування. При цьому обчислюється сумарне напрацювання системи, як сума часу від попередньої відмови до поточної, часу напрацювання до відмови основного комплекту, часу відновлення основного комплекту і цикл моделювання повторюється.

Якщо час відновлення основного комплекту більший, ніж напрацювання на відмову резервного комплекту то фіксується відмова системи і обчислюється напрацювання на відмову системи як сума часу від попередньої відмови до поточної, часу напрацювання до відмови основного комплекту, часу напрацювання до відмови резервного комплекту. Після проведення необхідної кількості циклів моделювання ( $Q$  – об'єм вибірки) обчислюється середнє напрацювання на відмову системи і коефіцієнт варіації напрацювання на відмову.

Представлений метод дозволяє статистично змоделювати надійність відновлювальної системи з «холодним» резервом і як найточніше прогнозувати працездатність системи. Збільшуючи об'єм вибірки можна уточнити значення надійності систем такого виду.

У статті [4] автори уточнюють моделювання надійності системи шляхом врахування відмов відновлювального органу. Структурна схема такої системи наведена на рис. 5.

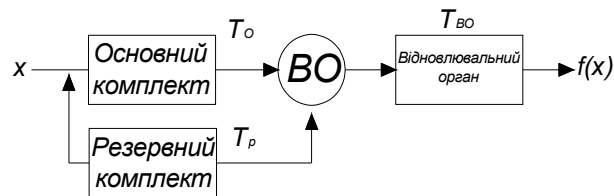


Рис. 5. Структурна схема відновлювальної системи з «холодним» резервом і ненадійним відновлювальним органом

Моделювання допускає наступні допущення відносно ВО:

1. Відмова відновлювального органу виявляється миттєво після її виникнення.
2. Відмова відновлювального органу приводить до відмови системи в цілому.
3. Відновлювальний орган є невідновним об'єктом.

Моделювання надійності починається з задання початкових параметрів генераторів випадкових чисел: перший генератор моделює надійність основного комплекту системи; другий – надійність резервного комплекту; третій – надійність відновлювального органу. Всі перераховані генератори мають параметри: середнє напрацювання до відмови та коефіцієнт варіації напрацювання до відмови. Четвертий генератор моделює протяжність відновлення системи і має параметри: середній час відновлення та коефіцієнт варіації часу відновлення. Також задається об'єм експериментальних даних надійності – об'єм вибірки  $Q$ .

Моделювання розпочинається з генерації моменту відмови відновлювального органу. Потім генеруються моменти відмови основного і резервного комплектів системи та час відновлення основного комплекту системи.

Якщо відновлювальний орган справний, а час відновлення основного комплекту менший, ніж час напрацювання на відмову резервного комплекту, то відмова системи не відбувається. Після закінчення часу відновлення знову підключається основний елемент, а резервний переводиться в режим очікування. При цьому обчислюється сумарне напрацювання системи як сума часу від попередньої відмови до поточної, часу напрацювання до відмови основного комплекту, часу відновлення основного комплекту і цикл моделювання повторюється.

Відмова системи виникає, якщо час відновлення основного комплекту більший, ніж час напрацювання на відмову резервного комплекту або якщо відмовляє відновлювальний орган. В першому випадку фіксується відмова системи і обчислюється напрацювання на відмову системи як сума часу від попередньої відмови до поточної, часу напрацювання до відмови основного та часу напрацювання до відмови резервного комплекту. У другому випадку в якості часу напрацювання на відмову системи приймається напрацювання до відмови відновлювального органу.

Після проведення необхідної кількості циклів моделювання ( $Q$  – об'єм вибірки) обчислюється середнє напрацювання на відмову системи і коефіцієнт варіації напрацювання на відмову.

Даний алгоритм моделювання дає можливість врахувати вплив відмов відновлювального органу на систему в цілому. Це дає змогу підвищити точність розрахунків в порівнянні з методом моделювання без врахування відмов відновлювального органу, оскільки в реальних умовах відновлювальний орган має значну їх кількість.

Таким чином, огляд існуючих досягнень у галузі моделювання надійності систем дозволяє зробити висновок про доцільність застосування статистичних методів для передбачення поведінки системи у реальних умовах експлуатації. Реалізацію розглянутих алгоритмів можна здійснити на сучасній комп'ютерній техніці на основі будь-якої мови програмування. При цьому слід враховувати точність обчислень, помилки техніки, досконалість програмного продукту та інші фактори, що можуть призвести до помилкового визначення параметрів надійності майбутньої системи.

## Література

1. Федухин А. В. Моделирование надежности невосстанавливаемой нерезервированной системы с последовательной структурой элементов // Мат. машини і системи. 2008, N 1, с. 171-177

2. Федухин А. В. Моделирование надежности восстанавливаемой резервированной системы со структурой типа «k из n» // *Мат. машини і системи*. 2008, N 4, с. 189-193
3. Федухин А. В., Сеспедес-Гарсия Н.В. Моделирование надежности восстанавливаемой системы с "холодным" резервом // *Мат. машини і системи*. 2007, N 1, с. 144-180
4. Федухин А. В., Сеспедес-Гарсия Н.В. Моделирование надежности восстанавливаемой системы с "холодным" резервом и ненадежным восстанавливающим органом // *Мат. машини і системи*. 2007, N 2, с. 125-131