

# Метод статистичного моделювання для визначення показників надійності пожежної та аварійно-рятувальної техніки

Е.М. Гуліда, д.т.н. проф., І.О. Мовчан

(Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)

Основою любого методу, який базується на статистичному моделюванні, є багаторазова імітація процесів функціонування об'єктів і їхніх складових частин. В процесі багаторазового розрахунку параметрів певного закону розподілу встановлено, що отримані показники надійності є випадковими результатами. Кожний отриманий результат розглядається як випадкова реалізація функції розподілу напрацювання. За отриманими результатами моделювання методами математичної статистики у вигляді впорядкованого варіаційного ряду можна визначити вид і параметри функції розподілу напрацювання до відмови.

Вхідними даними для формування в випадкових величин з різними законами розподілу є випадкові числа, які розподілені в інтервалі  $[0, 1]$ . Ці числа можна отримати за допомогою давача випадкових чисел комп'ютера або з використанням довідникової літератури.

Метод статистичного моделювання для прогнозування надійності доцільно використовувати у випадку аналізу складної пожежної та аварійно-рятувальної техніки, тобто для цього випадку статистичного моделювання доцільно використовувати закон розподілу Вейбулла [1].

В цьому випадку рахуємо, що імовірність безвідмовної роботи  $R(t)$  є значення випадкового числа  $X$ , яке отримано з інтервалу  $[0, 1]$ . Для отримання випадкових чисел  $Y$ , якими будуть напрацювання до відмови  $t$  необхідно визначити функцію, яка обернена  $R(t)$ , тобто  $t=f(R(t))$ , тобто використовуємо залежність.

$$t = a\sqrt[b]{-\ln R(t)} \quad (1)$$

Підставляючи в залежність (1) замість  $R(t)$  випадкові числа  $X_i$ , можна статистичним моделюванням визначити:

1) параметри розподілу  $a$  і  $b$  у випадку, якщо напрацювання  $t$  встановлено експериментально;

2) напрацювання  $t$  за залежністю (1), якщо параметри розподілу  $a$  і  $b$  відомі для аналогічних виробів чи систем. Статистичну оцінку імовірності того, що час безвідмовної роботи  $t$  системи не перевищує  $t_i$ , визначаємо імовірність безвідмовної роботи з урахуванням  $t_i$  за залежністю

$$R(t_i) = 1 - \frac{i}{N+1}, \quad (2)$$

де  $i = 1; 2; 3; \dots; n$  – цілі числа, які вказують номер проведення числового експерименту;  $N$  – загальна кількість проведених числових експериментів (реалізації випадкового процесу).

Для перевірки розподілу отриманих значень у цьому випадку використовують графічний метод з використанням програмного пакету Microsoft Excel, побудови графічної залежності з накладанням на неї лінії Тренда та отриманням рівняння прямої, яка не проходить через початок координат, у вигляді

$$y = bx - c, \quad (3)$$

де  $b$  – параметр форми, який дорівнює  $\tan \alpha$ , тобто тангенсу кута нахилу лінії Тренда до осі  $X$ .

Значення  $c$ , яке отримано з рівняння (3), необхідно прирівняти до залежності  $b \lg a + 0,362$ , тобто  $c = b \lg a + 0,362$ .

Для розподілу Вейбулла значення залежності  $b \lg a + 0,362$  можна отримати на підставі наступного. Прологарифмуємо залежність  $R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{a} \right)^b \right]$ , тобто

$$\lg R(t) = -\left(\frac{t}{a}\right)^b \lg e,$$

де  $\lg e = 0,4343$ . Тоді

$$-\lg R(t) = 0,4343 \left(\frac{t}{a}\right)^b. \quad (4)$$

Отриману залежність (4) прологарифмуємо ще раз і отримаємо

$$\lg(-\lg R(t)) = \lg 0,4343 + b \lg t - b \lg a, \quad (5)$$

де  $\lg 0,4343 = -0,362$ . Тоді

$$\lg(-\lg R(t)) = -0,362 - b \lg a + b \lg t. \quad (6)$$

В залежності (4) позначимо  $0,362 + b \lg a$  через  $c$ , тобто

$$c = 0,362 + b \lg a, \quad (7)$$

що і необхідно було довести.

Тоді залежність (6) буде мати вигляд

$$\lg(-\lg R(t)) = b \lg t - c. \quad (8)$$

Залежність (8) є рівнянням прямої лінії та при  $\lg t = 0$  ордината буде приймати значення  $c$ , а  $b$  в цьому рівнянні дорівнює тангенсу кута нахилу цієї прямої до осі абсцис. Тоді значення параметру масштабу можна визначити з урахуванням залежності (7)

$$b \lg a = c - 0,362.$$

З відси значення параметру масштабу  $a$  буде

$$a = 10^{\frac{c-0,362}{b}}. \quad (9)$$

На підставі розглянутого методу статистичного моделювання для оцінки надійності насосної установки пожежних автомобілів типу АЦ, АНР, АА, АВ, АКТ при середньому наробітку до відмови в період між ТО-1 і ТО-2. Для оцінки надійності системи розраховуємо десять ( $N=10$ ) значень напрацювання системи до відмови. Розподіл напрацювання системи приймаємо відповідно закону Вейбулла з параметрами  $a=100$  год.[2],  $b=2$  (в цьому випадку розподіл Вейбулла перетворюється в розподіл Релея з лінійною функцією відмов). Результати статистичного моделювання розподілу Вейбулла заносимо до табл. 1.

З таблиці випадкових чисел в інтервалі  $[0, 1]$  вибираємо десять випадкових чисел  $X_i$ , які дорівнюють імовірності безвідмовної роботи  $R_i(t)$ . Значення  $X_i$  заносимо в рядок 1 табл. 2.4. Приймавши  $R_i(t) = X_i$ , визначаємо напрацювання  $t_i$  за залежністю (1) і заносимо в рядок 2 табл. 1. Впорядковуємо отриманий ряд напрацювань і записуємо в рядок 3 табл. 1.

За залежністю (2) визначаємо імовірність безвідмовної роботи  $R(t_i)$  і записуємо в рядок 4 табл. 1.

Таблиця 1

Результати статистичного моделювання розподілу Вейбулла

№ з/п	$i (N=10)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Випадкові значення $X_i$	0,60	0,33	0,55	0,12	0,29	0,50	0,05	0,95	0,07	0,83
2	Напрацювання до відмови $t_i$ , год.	71,47	105,29	77,32	145,61	111,26	83,26	173,08	22,65	163,07	43,17
3	Впорядкований ряд $t_i$	22,65	43,17	71,47	77,32	83,26	105,29	111,26	145,61	163,07	173,08
4	$R(t_i)$ за залежністю (2)	0,909	0,818	0,727	0,636	0,545	0,455	0,364	0,273	0,182	0,091
5	$\lg t_i$	1,854	2,022	1,888	2,163	2,046	1,920	2,238	1,355	2,212	1,635
6	$\lg(-\lg R(t_i))$	-1,38	-1,06	-0,86	-0,71	-0,58	-0,47	-0,36	-0,25	-0,13	0,02

На підставі отриманих даних (рядок 5 і 6) табл. 1 будемо в системі Microsoft Excel графічну залежність, яка зображена на рис. 1. Через отримані точки проводимо пряму Тренда, рівняння якої буде

$$y = 1,5584x - 3,5905.$$

Тангенс кута нахилу прямої Тренда до осі абсцис (рис. 1) відповідає параметру форми розподілу Вейбулла, тобто  $b = 1,5584$ , а значення  $c = 3,5905$ . Тоді параметр масштабу розподілу Вейбулла буде

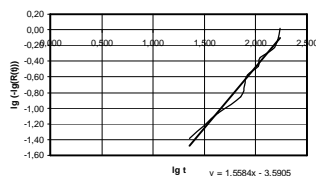


Рис.1.

$$a = 10^{\frac{c-0,362}{b}} = 10^{\frac{3,5905-0,362}{1,584}} = 10^{2,04} = 109 \text{ год.}$$

Для визначених значень  $a$  і  $b$  імовірність безвідмовної роботи буде з урахуванням нормативного часу гасіння пожежі  $t = 1,2$  год. [3, 4]

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{a} \right)^b \right] = \exp \left[ - \left( \frac{1,2}{109} \right)^{1,5584} \right] = 0,999.$$

Визначена імовірність безвідмовної роботи  $R(t) = 0,999$  відповідає цьому значенню у випадку, коли коефіцієнт готовності, що визначається за залежністю буде

$$K_r(t) = \frac{T_B(t)}{T_B(t) + T_{\text{від}}(t)} = \frac{109}{109 + 4} = 0,96,$$

де  $T_B(t) = 109$  год, тому що математичне сподівання за залежністю

$$m_k(t) = \frac{\sum_{i=1}^N k_i(t)}{N},$$

$$m_k(t_1) = 0, m_k(t_2) = 1, \text{ а } t_2 - t_1 = 109 \text{ год;}$$

$$T_{\text{від}}(t) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k t_i = \frac{1}{1} \sum_{i=1}^1 4 = 4 \text{ год, тобто рахуємо, що до напрацювання } T_B(t) = 109 \text{ год виникне}$$

тільки одна відмова;

$t_i = 4$  год – час ліквідації відмови.

Таким чином імовірність безвідмовної роботи насосної установки для пожежних автомобілів типу АЦ, АНР, АА, АВ, АКТ дорівнює  $R(t) = 0,999$  при коефіцієнті готовності цієї системи  $K_r(t) = 0,96$ .

Запропонована методика визначення основних показників надійності може бути використана для розрахунку надійності складної пожежної та аварійно-рятувальної техніки, до якої можна, наприклад, віднести пожежні автомобілі типу АЦ, АНР, АА, АВ, АКТ, пожежні відцентрові насоси типів НЦП-15180, ПН-40; 60; 110, НЦПВ-20/200, НЦП-70/100, НЦП-110/100, пожежні мотопомпи типів МП-500, МП-1600, МП-1000, МП-2000 тощо.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Дзюба Л.Ф., Зима Ю.В., Лютий Є.М. Основи надійності машин.- Львів: Логос, 2002. – 204с.
2. ДСТУ 3687-98 Насоси пожежні відцентрові. Загальні технічні умови // Державні стандарти України (збірник). Пожежна безпека. Продукція протипожежного призначення – К.; Держстандарт України, 2000. – с.165-186.
3. Справочник руководителя тушения пожара/В.П. Иванников, П.П. Ключ – М.: Стройиздат, 1987. – 110с.
4. Бут В.П., Л. Б. Куцiй, Б.В. Болібрux, Практичний посібник з пожежної тактики. – Л.: СПОЛОМ, 2003. – 122с.

Удалено: и