

Соломенцев О.В., д.т.н., проф.,
Кузьмин В.М., к.т.н.,
Заліський М.Ю., к.т.н.

ПРОЦЕДУРА СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ЩОДО НАПРАЦЮВАНЬ НА ВІДМОВУ В СИСТЕМІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РАДІОТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

Розглянуто процедуру статистичної обробки даних щодо напрацювань на відмову в системі експлуатації радіотехнічних засобів, яка полягає в побудові кривої забезпеченості для двох варіантів її апроксимації та вибору більш ефективного варіанту шляхом перевірки статистичних даних на лінійність

Вступ

Радіотехнічні засоби забезпечення польотів призначені для підтримки безпеки та регулярності польотів повітряних суден. Для збереження високого рівня надійності цих засобів використовується система їх експлуатації. У загальному випадку до складу системи експлуатації ряд організаційних елементів, у яких реалізуються основні та допоміжні процеси: використання за призначенням, технічне обслуговування, ремонт, обробка статистичних даних тощо.

Процес обробки статистичних даних виконується на всіх етапах життєвого циклу радіотехнічних засобів. До основних задач обробки даних можна віднести побудову статистичних моделей функціонування радіотехнічних засобів, оцінювання їх окремих параметрів за певний інтервал спостереження, прогнозування технічного стану обладнання, визначення ресурсу тощо.

Одним із джерел статистичних даних для обробки є напрацювання на відмову конкретного радіотехнічного засобу. Під час обробки даних для вирішення ряду задач застосовуються теоретичні (аналітичні) криві забезпеченості, які для випадку теорії надійності представляють собою залежності ймовірності безвідмовної роботи від сукупності статистичних даних щодо напрацювань на відмову.

Постановка завдання

Аналіз показує [1 – 7], що під час побудови кривих забезпеченості намага-

ються їх апроксимувати єдиним законом (наприклад, лінійним) за допомогою методу найменших квадратів, тобто отримати середньоквадратичну апроксимацію. Крім того, у теорії класичної математичної статистики були здійснені спроби використання апроксимації на основі усічених розподілів ймовірностей.

Альтернативним варіантом апроксимації емпіричних кривих може бути використання полігональних регресій (ломаних ліній), що стало можливим завдяки застосуванню модальних функцій під час їх побудови. Аналіз літератури показав, що питанням використання цих апроксимацій в теорії надійності приділена недостатня увага. Використання полігональних регресій у теорії надійності могло б дозволити більш коректно розраховувати величини екстремальних ймовірностей виникнення відмов у радіотехнічних засобах (мінімальне значення відмови для рівня значимості $p = 0,01$ та $p = 0,001$).

Основна частина

Як відомо, для опису надійнісних характеристик радіотехнічних засобів, зазвичай, використовують експоненціальний закон розподілу.

Під час проектування, розробки та модернізації засобів радіотехнічного забезпечення польотів використовують наступні характеристики надійності цих засобів:

- середнє напрацювання на відмову,
- середній час відновлення,
- коефіцієнт готовності,

- коефіцієнт технічного використання,
- гамма-процентний коефіцієнт надійності тощо.

Іноді виникають потреби визначення екстремальних значень напрацювань (мінімальних та максимальних значень) для визначення, наприклад, періодичності технічного обслуговування або ресурсу засобів радіотехнічного забезпечення польотів.

Прагнення описати сукупність випадкових величин єдиним законом розподілу ймовірностей (наприклад, трьох та чотирьох параметричною) є достатньо складним. Доцільність використання полігональної регресії у під час вирішення такого типу задач була розглянута в [6].

Побудова кривої забезпеченості зводиться до нанесення ранжованих даних логарифмів відмов $\ln(t_i)$ на сітку квантилів U_p нормального розподілу. У випадку побудови лінійної апроксимації $y(x) = a_0 + a_1 x$ її коефіцієнти a_0 та a_1 знаходимо із системи рівнянь

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum_i x_i = \sum_i y_i, \\ a_0 \sum_i x_i + a_1 \sum_i (x_i)^2 = \sum_i x_i y_i, \end{cases}$$

де n – обсяг вибірки.

Аналітичні співвідношення для коефіцієнтів лінійної апроксимації визначаються як

$$a_0 = \frac{\sum_i y_i \sum_i (x_i)^2 - \sum_i x_i y_i \sum_i x_i}{n \sum_i (x_i)^2 - \left(\sum_i x_i\right)^2},$$

$$a_1 = \frac{n \sum_i x_i y_i - \sum_i x_i \sum_i y_i}{n \sum_i (x_i)^2 - \left(\sum_i x_i\right)^2}.$$

Розглянемо випадок апроксимації за допомогою кусково-лінійної полігональної регресії. Тоді при цьому $y(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^+$, де $x^+ = xh(x)$, де

$h(x)$ – функція Хевісайда. Коефіцієнти a_0 , a_1 та a_2 знаходимо, вирішуючи системи рівнянь

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum_i x_i + a_2 \sum_i x_i^+ = \sum_i y_i, \\ a_0 \sum_i x_i + a_1 \sum_i (x_i)^2 + a_2 \sum_i x_i x_i^+ = \sum_i x_i y_i, \\ a_0 \sum_i x_i^+ + a_1 \sum_i x_i x_i^+ + a_2 \sum_i (x_i^+)^2 = \sum_i x_i^+ y_i. \end{cases}$$

Використання полігональної регресії передбачає знаходження точки переходу від однієї лінії до іншої (точки перемикання). У цій роботі розглядається найпростіший випадок полігональної регресії, коли точка перемикання відповідає медіані розподілу ($U_p = 0$).

У загальному випадку задача побудови кривих забезпеченості за допомогою полігональної регресії може бути вирішена трьома варіантами методів: графічним, графоаналітичним та аналітичним.

Крім того, для обґрунтування використання полігональної регресії доречно провести дослідження на лінійність вибірових даних. Для цього може бути запропонований наступний підхід, що виконується у такій послідовності:

1. На основі вибірових даних будують графік у системі координат, де абсцисою є квантилі нормального розподілу, а ординатою – логарифми ранжованих вибірових даних у порядку їх зменшення.

2. Методом найменших квадратів виконують лінійну апроксимацію вибірових даних.

3. Знаходять відхилення (зі знаками) емпіричних точок від лінійно апроксимованого значення. Емпіричні ймовірності для кожної точки визначаються за формулою:

$$P = 0,5 - \frac{i}{n+1},$$

де i – номер відліка.

4. Знаходять кумулятивну суму всіх відхилень K_i і будують відповідний гра-

фік у координатах, де абсцисою є логарифми ранжованих у порядку зменшення вибірових даних, а ординатою – відповідні значення кумулятивної суми.

5. Знаходять розмах R між глобальними максимальним та мінімальним значеннями кумулятивної суми всіх відхилень.

6. Знаходять стандартне відхилення всіх емпіричних точок від лінійної регресії S .

7. Знаходять значення відношення R/S , яке порівнюють з табличними даними, наведеними у роботі [6]. У випадку, коли розраховане значення перевищує наведене у таблиці значення, приймається рішення, що лінійність не дотримується. Тоді доцільно використовувати полігональну регресію.

Розглянемо запропоновану методику на конкретному прикладі.

Джерелом даних для аналізу була обрана статистика відмов вторинного радіолокатора “Корінь-АС”. Результати побудови кривої забезпеченості для досліджуваного варіанту напрацювань на відмову наведені на рис. 1. Ця статистика відмов являє собою експоненціально розподілену випадкову величину.

На рис. 1 у вигляді точок на сітці квантилів нормального розподілу нанесені логарифми відмов радіотехнічного засобу в порядку зменшення за їх абсолютним значенням. Пунктирною лінією зображена лінійна апроксимація вибірових даних, а суцільною лінією – апроксимація за допомогою кусково-лінійної полігональної регресії у точці перемикавання ($U_p = 0$).

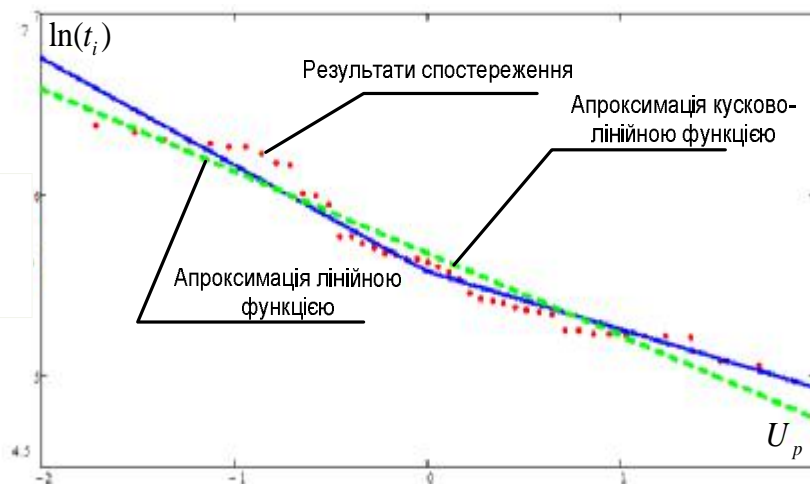


Рис.1. Побудова кривих забезпеченості значень напрацювання на відмову

Після розрахунку коефіцієнтів лінійної та кусково-лінійної апроксимації для наведеного випадку статистичних даних можна записати аналітичні співвідношення для відповідних апроксимуючих функцій

$$y(x) = 5,677 - 0,455x,$$

$$y(x) = 5,575 - 0,591x + 0,271x^+.$$

Кумулятивна крива залишків являє собою накопичену послідовність відхи-

лень дійсних вибірових значень від апроксимаційної функції, взятих з відповідними знаками. Кумулятивна крива може бути описана співвідношенням

$$K_i = \sum_{j=1}^i (\ln(t_j) - y(x_j)).$$

Кумулятивні криві залишків для лінійної апроксимації та полігональної регресії вибірових даних наведені на рис. 2.

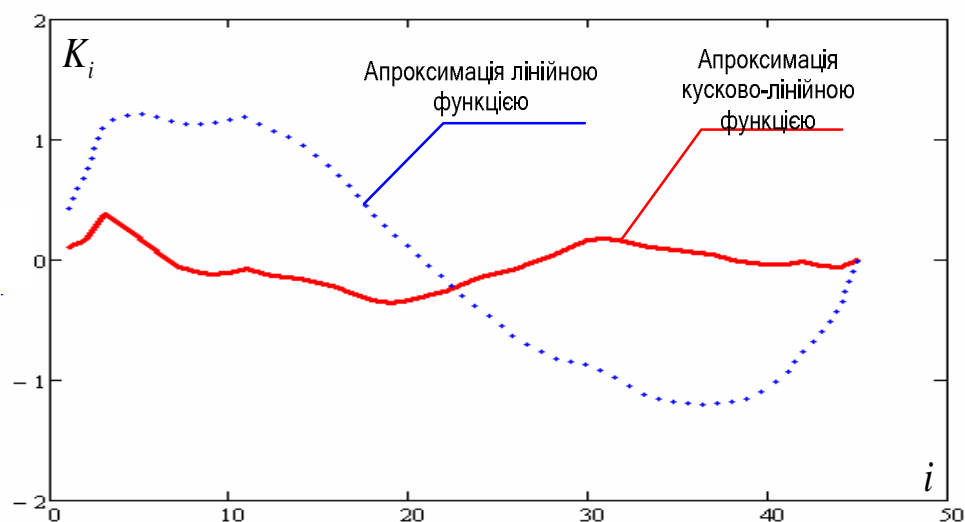


Рис. 2. Порівняння кумулятивних кривих залишків для випадку єдиної лінійної та полігональної регресії

Обчислене значення відношення $R/S = 13,587$ перевищує відповідне табличне порогове значення, що становить $R/S = 10,09$ [6]. Це свідчить про доцільність використання полігональної регресії для опису статистичних даних щодо напрувань на відмову засобів радіотехнічного забезпечення польотів.

Висновки

Запропонована нова методика апроксимації статистичних даних у сфері надійності, що заснована на використанні полігональної регресії. Як засвідчили результати обробки експериментальних даних, ця методика дозволяє виконати більш ефективну оцінку показників надійності радіотехнічних засобів забезпечення польотів. Отримані результати можуть бути використані для обробки статистичних даних під час розробки, функціонування та модернізації систем експлуатації радіотехнічних засобів забезпечення польотів.

Список літератури

1. Байхельт Ф. Надежность и математическое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
2. Диллон Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем. Пер. с

англ. / Б. Диллон, Ч. Сингх. – М.: Мир, 1984. – 318 с.

3. Левин Б.Р. Теория надёжности радиотехнических систем / Б.Р. Левин. – М.: Советское радио, 1978. – 274 с.

4. Hoyland, A. System reliability theory / A. Hoyland, M. Rausand. – N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 1994. – 518 p.

5. Rausand, M. System reliability theory: models, statistical methods and applications / M. Rausand. – N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 2004. – 458 p.

6. Kuzmin V. New statistical method for identification of nonlinearity of empirical data / V.N. Kuzmin. // Proceedings of the Fifth International Conference “Computer Data Analysis and Modeling” (June, 8–12, 1998, Minsk). – P. 159 – 164.

Кузьмин В.Н. Построение кривых обеспечения гидрологических величин с помощью полигональной регрессии // Водне господарство України. – 2012. – № 5 (101). – С. 39 – 42.

Статтю подано до редакції 18.10.2013