

# ЕКСПЛУАТАЦІЯ ПОВІТРЯНОГО ТРАНСПОРТУ

УДК 656.7.071: 656.7.052.002.5 (045)

## МОНІТОРИНГ ПРОЦЕСІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБІВ РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ

*М. Ю. Заліський*, канд. техн. наук

Національний авіаційний університет

E-mail: maximus2812@ukr.net

*Розглянуто послідовну процедуру обробки даних під час моніторингу та оцінки відповідності складових елементів процесів експлуатації засобів радіотехнічного забезпечення польотів. Пропонується представити системи експлуатації у вигляді сукупності взаємопов'язаних процесів, кожен з яких має вхід, вихід, ресурси та керуючі впливи. Запропонована послідовна процедура оцінки відповідності процесів експлуатації дозволяє значно скоротити тривалості перевірок (у середньому в 1,3–1,6 разів), а отже, зменшити рівень витрат матеріальних та часових ресурсів.*

**Ключові слова:** радіотехнічні засоби; система експлуатації; процесний підхід; моніторинг; перевірка гіпотез.

*The article considers sequential procedure of data processing during monitoring and conformity assessment of the constituent elements of processes in operation system of radio electronic devices for flight support. It is proposed to represent the operation system as a set of interrelated processes, each of which has input, output, resources and control actions. The proposed sequential procedure for conformity assessment of operation processes can significantly reduce the duration of audits (in 1,3–1,6 times, on the average), and therefore, reduce material and time resources.*

**Keywords:** radio engineering devices; operation system; process approach; monitoring; hypothesis testing.

### Вступ

Основними сучасними тенденціями в розвитку теорії та практики експлуатації засобів радіотехнічного забезпечення польотів (РТЗП) в цивільній авіації є звернення уваги на можливість аналізу систем експлуатації (СЕ) з точки зору системного та процесного підходів.

Системний підхід ґрунтується на аналізі СЕ засобів РТЗП у взаємодії з іншими системами у сфері надання послуг з аеронавігаційного обслуговування. Процесний підхід передбачає структурування СЕ на окремі процеси, які мають входи, виходи, ресурси, керуючі впливи які певним чином взаємопов'язані між собою. Ці процеси мають перебігати в умовах, придатних до моніторингу та контролю.

До основних процесів СЕ можна віднести такі процеси:

- процеси проектування та модернізації СЕ;
- процеси організації та планування експлуатаційних робіт;
- сертифікаційні випробування;
- процеси введення в експлуатацію;
- процеси використання за призначенням;
- процеси збирання та статистичної обробки експлуатаційних даних;
- процеси оцінки відповідності;

- процеси технічного обслуговування та ремонту;
- процеси продовження терміну служби (ресурсу);
- наземні та льотні перевірки;
- метрологічне та матеріально-технічне забезпечення;
- технічна експлуатація програмних засобів тощо.

При цьому засіб РТЗП є головним елементом СЕ, а всі процеси СЕ спрямовані на підтримку його стабільної та надійної роботи.

Як відомо, характеристики, отримані під час експлуатації засобів РТЗП, мають випадковий характер. Тому в процесі обробки експлуатаційних даних широко використовують процедури, що ґрунтуються на методах теорії ймовірностей, математичної статистики, перевірки статистичних гіпотез, теорії оцінювання тощо.

### Аналіз літератури

Аналіз публікацій [1; 2; 3] показує, що у сфері експлуатації значна увага приділяється питанням проектування, впровадження та модернізації систем експлуатації технічних засобів та комплексів. Так, у праці [1] ці питання розглядаються з погляду виконання оптимальних коригуючих та запобіжних дій шляхом оптимізації затрат ресурсів.

У публікації [2] розглядаються питання оцінювання та прогнозування надійності, вказується на важливість процесів збирання та обробки експлуатаційних даних та варіанти їх синтезу. Робота [3] присвячена аналізу як традиційного підходу до опису надійності та систем експлуатації, так і підходу, заснованому на використанні основних принципів міжнародних стандартів у сфері управління якістю.

Зазвичай, майже у всіх публікаціях процеси обробки даних розглядають з точки зору класичного підходу, коли обсяг вибірки є наперед відомим. Проте також існують послідовні процедури. Перевага таких процедур полягає в тому, що вони мають у середньому менший обсяг спостережень, ніж еквівалентні їм процедури на основі класичних методів (за однакових рівнів показників якості оцінювання та перевірки гіпотез тощо). Синтез та аналіз таких процедур у частині перевірки статистичних гіпотез розглянуто в праці [4].

### Постановка проблеми

Проведений аналіз публікацій у сфері експлуатації засобів РТЗП в частині синтезу та аналізу процесів та процедур обробки експлуатаційних даних показує, що ці питання розглянуті недостатньо. Крім того, існуючі інженерні процедури засновані на використанні наперед відомого обсягу вибірки. Використання послідовних процедур може сприяти виконанню своєчасних запобіжних та коригуючих дій під час експлуатації засобів РТЗП, що підвищує рівень ефективності функціонування підприємств цивільної авіації з надання послуг аеронавігаційного обслуговування.

Отже, у цій статті розглянуто актуальну науково-технічну задачу синтезу та аналізу інженерних послідовних процедур обробки даних під час моніторингу та оцінки відповідності складових елементів процесів експлуатації засобів РТЗП.

### Основна частина

На основі результатів процесу збирання та обробки експлуатаційних даних виконуються роботи щодо підтримки потрібного рівня ефективності СЕ засобів РТЗП під час їх використання за призначенням.

З урахуванням особливостей побудови СЕ засобів РТЗП доцільно проводити збирання даних щодо надійності функціонування засобу в цілому та його складових блоків, змін у часі тактико-технічних характеристик засобу та навколишніх умов експлуатації, рівня задоволеності споживачів, ресурсного забезпечення та експлуатаційних витрат, рівня компетентності інженерно-технічного персоналу, ефективності керуючих впливів, ризиків аеронавігаційного обслуговування, оцін-

ки відповідності забезпечувальних та допоміжних процесів тощо.

Зібрані дані піддаються статистичній обробці за допомогою таких операторів:

- оцінювання параметрів надійності;
- перевірки статистичних гіпотез;
- аналізу статистичних моделей;
- прогнозування;
- регресійного та кореляційного аналізу;
- оцінки відповідності тощо.

Під час синтезу операторів оцінювання показників надійності можна використовувати метод максимальної правдоподібності, метод моментів, метод квантилів тощо. Під час аналізу цих оцінювачів необхідно знаходити щільності розподілу, математичні сподівання та дисперсії отриманих оцінок показників надійності.

Оператор регресійного та кореляційного аналізу виконує функції визначення взаємозв'язку між показниками надійності засобу РТЗП (або узагальненим показником ефективності СЕ) та іншими типами зібраних даних (наприклад, навколишніх умов експлуатації: температури, вологості тощо).

Оператори оцінки відповідності призначені для порівняння зібраних даних щодо певного процесу про його вхідні та вихідні потоки, ресурси та нормативне забезпечення зі встановленими вимогами. При цьому на етапах проектування СЕ засобів РТЗП доцільно виконувати побудову процесної моделі цієї СЕ [3].

Процеси є вирішальними для досягнення мети функціонування тієї чи іншої системи. Тому ефективність процесів визначає ефективність функціонування системи, що розглядається.

Кожен процес повинен протікати у контрольованих та керованих умовах, тобто під час проектування СЕ мають бути вирішені питання можливості моніторингу їх параметрів (з подальшою оцінкою відповідності встановленим вимогам) та оперативного коригування їх складових елементів.

Зазвичай, оператори оцінки відповідності того чи іншого процесу здійснюються на основі контролю усіх його елементів. Для скорочення рівня затрат матеріальних та часових ресурсів оператори оцінки відповідності необхідно синтезувати на основі вальдівських послідовних процедур.

Розглянемо приклад одного з можливих варіантів послідовних процедур обробки даних під час оцінки відповідності процесів у підприємствах та організаціях сфери надання послуг з аеронавігаційного обслуговування.

Нехай під час моніторингу в межах певного структурного підрозділу, яка перевіряється, має місце  $r$  складових елементів процесу експлуата-

ції, відповідність кожного з яких перевіряється зі встановленими вимогами. При цьому діяльність структурного підрозділу, який реалізує процес, вважається такою, що відповідає встановленим вимогам, якщо відсоток виявлених невідповідностей не перевищує певний пороговий рівень  $\epsilon$ . При цьому кількість невідповідностей є випадковою величиною.

Оцінку відповідності виконуємо за допомогою алгоритму статистичної двоальтернативної класифікації з вирішальною статистикою  $\Lambda(i)$ . Ця статистика являє собою суму нулів та одиниць, що відповідають рішенням про наявність або відсутність невідповідностей для кожного елемента процесу.

Як відомо, кількість спостережень, необхідних для процесу перевірки статистичних гіпотез та оцінювання за допомогою послідовного аналізу, наперед невідома. Рішення про завершення експерименту залежить на кожній поточній стадії дослідження від результатів попередніх випробувань.

Вважаємо, що вибірка є однорідною, а під час моніторингу можливі помилки першого та другого роду, рівень яких визначається ймовірностями  $\alpha$  та  $\beta$  відповідно.

У загальному випадку параметри  $\alpha$  та  $\beta$  пов'язані з ймовірностями відповідності або невідповідності процесу (для гіпотези  $P_0(H_0)$  та альтернативи  $P_0(H_1)$  відповідно). Після визначення числових значень  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $P_0(H_0)$  та  $P_0(H_1)$  згідно з відомими співвідношеннями [4] для випадку без обмеження обсягу вибірки будують оперативну характеристику, розраховують математичне сподівання тривалості спостережень для гіпотези  $H_0$  та альтернативи  $H_1$ .

Формування порогів для прийняття рішень щодо оцінки відповідності процесів здійснюється з наступних міркувань. Рішення про відповідність процесів встановленим вимогам приймається, якщо на  $i$ -му кроці перевірки кількість складових елементів процесу без невідповідностей перевищуватиме  $r\epsilon$ . Рішення про невідповідність процесів встановленим вимогам приймається, якщо на  $i$ -му кроці перевірки кількість складових елементів процесу з невідповідностями перевищуватиме  $r(1-\epsilon)$ .

Тоді верхній та нижній пороговий рівень послідовної процедури оцінки відповідності процесів знаходяться за формулами:

$$A(i) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } i < r(1-\epsilon), \\ (i-r(1-\epsilon))(1-\alpha)(1-\beta), & \text{якщо } r-r\epsilon \leq i < r. \end{cases}$$

$$B(i) = \begin{cases} i(1-\alpha)(1-\beta), & \text{якщо } i < r(1-\epsilon), \\ r\epsilon(1-\alpha)(1-\beta), & \text{якщо } r(1-\epsilon) \leq i < r. \end{cases}$$

У реальних умовах виникає проблема визначення числових значень ймовірностей помилок першого та другого роду.

Однак за умов високого рівня достовірності моніторингу можна вважати, що  $\alpha$  та  $\beta$  прямують або близькі до нуля.

Аналітичні вирази для верхнього та нижнього порогових рівнів для випадку, коли  $\alpha$  та  $\beta$  прямують або близькі до нуля, можна записати у такому вигляді:

$$A(i) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } i < r(1-\epsilon), \\ i-r(1-\epsilon), & \text{якщо } r(1-\epsilon) \leq i < r. \end{cases}$$

$$B(i) = \begin{cases} i, & \text{якщо } i < r(1-\epsilon), \\ r\epsilon, & \text{якщо } r(1-\epsilon) \leq i < r. \end{cases}$$

Як видно, з наведених виразів область продовження проведення задачі оцінки відповідності процесів являє собою паралелограм.

Аналіз запропонованої процедури буде виконаний за допомогою статистичного моделювання. При цьому порядок моделювання такий. Для заданих числових значень параметрів  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\epsilon$ ,  $r$  та об'єктивно реального значення кількості невідповідностей  $l$  за допомогою генератора випадкових чисел формуємо матрицю невідповідностей.

При цьому вважаємо, що в  $i$ -му елементі процесу є невідповідність (відповідає нулю у вирішальній статистиці), якщо сформоване випадкове число на інтервалі  $[0; 1]$  перевищує значення  $l/r$ , у протилежному випадку — невідповідність відсутня (відповідає одиниці у вирішальній статистиці).

Урахування помилок першого та другого роду здійснюється шляхом моделювання ще одного масиву  $\delta$  випадкових чисел на інтервалі  $[0; 1]$ . На основі нього формується матриця прийняття рішень по кожному окремому елементу процесу у вигляді нулів та одиниць (одиниця формується, якщо за наявності одиниці в матриці невідповідностей та одночасному виконанню умови  $\delta_i < 1-\alpha$ , або за наявності нуля в матриці невідповідностей та одночасному виконанню умови  $\delta_i > 1-\beta$ ).

Виконаємо оцінку результативності статистичним моделюванням запропонованої процедури. Приклад результату процедури моделювання для числових значень параметрів  $\alpha = 0,02$ ,  $\beta = 0,01$ ,  $\epsilon = 0,6$ ,  $r = 500$ ,  $l = 50$  наведено на рис. 1.

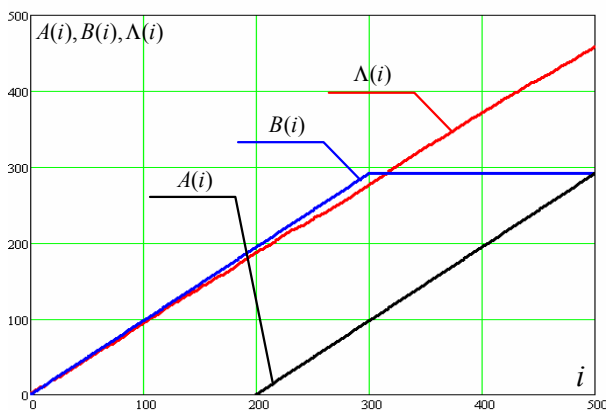


Рис. 1. Приклад моделювання оцінки відповідності процесів (одна реалізація)

На рис. 1 нижня та верхня границя побудовані за точними формулами, які враховують імовірності помилок першого та другого роду. У цілому з наведеного графіку видно, що рішення про відповідність процесу встановленим вимогам згідно з послідовною процедурою приймається на 318 елементі процесу (у той час, коли для класичної процедури — на 500). Отже, кількість перевірок скоротилась в 1,57 разу.

Приклад результату процедури моделювання для числових значень  $\alpha = 0,05$ ,  $\beta = 0,02$ ,  $\varepsilon = 0,6$ ,  $r = 500$ ,  $l = 250$  наведено на рис. 2.

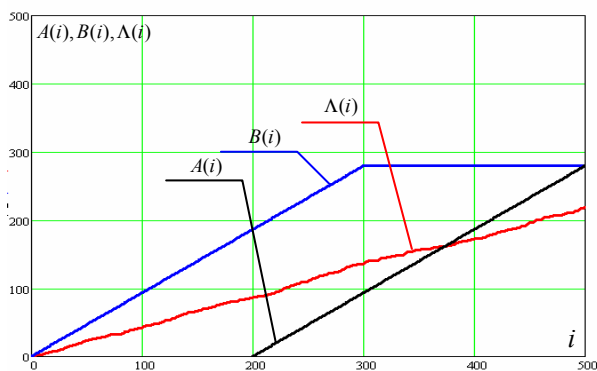


Рис. 2. Приклад моделювання оцінки відповідності процесів (одна реалізація)

На рис. 2 видно, що рішення про невідповідність процесу встановленим вимогам згідно з послідовною процедурою приймається на 375 елементі процесу (у той час, коли для класичної процедури — на 500). Отже, кількість перевірок скоротилась в 1,33 рази. У результаті математичного моделювання з 1000 процедур повторень для параметрів  $\alpha = 0,02$ ,  $\beta = 0,01$ ,  $\varepsilon = 0,6$ ,  $r = 500$ ,  $l = 50$  (стан, що відповідає вимогам) було отримано математичне сподівання оцінки  $m_1(n) = 324$ . Отже, послідовна процедура порівняно з класичною швидша за тривалістю у 1,54 рази.

У результаті математичного моделювання з 1000 процедур повторень для параметрів

$\alpha = 0,05$ ,  $\beta = 0,02$ ,  $\varepsilon = 0,6$ ,  $r = 500$ ,  $l = 250$  (стан, що не відповідає вимогам) математичні сподівання оцінки становило  $m_1(n) = 381$ . Отже, послідовна процедура порівняно з класичною швидша за тривалістю у 1,31 рази. Аналіз показує, що залежно від числових значень  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\varepsilon$ ,  $r$  і  $l$  виграш послідовної процедури порівняно з класичною може змінюватись у доволі широких межах. При цьому виграш зменшується під час збільшення ймовірностей помилок першого та другого роду та збільшується під час істотної різниці між реальною кількістю невідповідностей та гранично встановленою заданими вимогами. Для теоретичного аналізу переваг послідовної процедури може бути знайдена щільність розподілу тривалості процедури оцінки відповідності. У цілому, використання послідовних процедур обробки даних значно скорочує тривалість проведення оцінки відповідності процесів, що знижує рівень витрат матеріальних та часових ресурсів, а також ефективності функціонування підприємства чи організації у сфері надання послуг з аеронавігаційного обслуговування.

**Висновки.** Розроблена послідовна процедура оцінки відповідності процесів експлуатації дозволяє значно скоротити тривалості перевірок (у середньому в 1,3–1,6 разів), а отже, зменшити рівень витрат матеріальних та часових ресурсів. Отримані результати можуть бути використані під час проектування операторів оцінки відповідності процесів в системах експлуатації засобів радіотехнічного забезпечення польотів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Nakagawa T. Maintenance Theory of Reliability. London: Springer, 2005. — 270 p.
2. Smith D. J. Reliability, Maintainability and Risk. Practical methods for engineers. London: Elsevier, 2005. — 365 p.
3. Dhillon B. S. Reliability, Quality, and Safety for Engineers. Boca Raton: CRC PRESS, 2005. — 216 p.
4. Wald A. Sequential Analysis. New York: John Wiley and Sons, 1947. — 328 p.
5. Solomentsev O., Zaliskyi M., Zuiev O. Questions of radioelectronic equipment diagnostics programs efficiency analysis // Signal Processing Symposium 2013 (SPS 2013). Proceedings, June 5–7, 2013 (Jachranka Village, Poland). — P. 1–3.
6. Solomentsev O., Zaliskyi M., Zuiev O., Yashanov I. Diagnostics programs efficiency analysis in operation system of radioelectronic equipment // Computer Modeling and New Technologies, 2015. — № 19 (1B). — P. 49–6.
7. Solomentsev O.V., Zaliskyi M.Ju., Zuiev O.V., Asanov M.M. Data processing in exploitation system of unmanned aerial vehicles radioelectronic equipment // Actual Problems of Unmanned Air Vehicles Developments: IEEE 2<sup>nd</sup> International Conference. Proceedings, October 15–17, 2013 (Kyiv, Ukraine), P.77 – 80.

Стаття надійшла до редакції 14.08.2015.