

УДК 681.518.54.4

**Владислав Володимирович Кобзєв  
Павло Вікторович Опенько  
Дмитро Володимирович Фоменко**

## **ОБГРУНТУВАННЯ СПОСОБУ РОЗПОДІЛУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ НА ВИБІРКИ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ МЕТОДУ ГРУПОВОГО УРАХУВАННЯ АРГУМЕНТІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ БЕЗВІДМОВНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ**

### **Постановка проблеми**

Для реалізації стратегії технічної експлуатації і ремонту за станом необхідно в процесі експлуатації контролювати стан конкретного об'єкту і прогнозувати його зміну для своєчасного прийняття рішення про необхідність проведення ремонту.

Своєчасне виявлення моменту переходу радіоелектронних засобів (РЕЗ) ЗРК у граничний стан є необхідною умовою ефективної реалізації вищезазначененої стратегії технічної експлуатації і ремонту на практиці.

Однією з ознак цього переходу є вихід величини показника надійності за межі встановлених норм. Якщо на виробах не проводилася модернізація, то показники ремонтопридатності РЕЗ ЗРК можна вважати сталими і такими, що не залежать від тривалості експлуатації. Тому прогнозування граничного стану РЕЗ ЗРК доцільно здійснювати на основі зміни безвідмовності, а оцінки показників довговічності конкретного РЕЗ ЗРК визначати з використанням встановлених закономірностей індивідуальної зміни величин показників безвідмовності (ПБ), які враховують конкретні режими і умови їхньої експлуатації, міру їх впливу на стан РЕЗ. При цьому результати експлуатаційних спостережень, накопичені на сукупності інтервалів експлуатації фіксованої тривалості, у вигляді сукупності оцінок ПБ розглядаються як вихідні дані для побудови залежностей зміни величин ПБ від параметрів, що характеризують режими експлуатації, наприклад, тривалість експлуатації, сумарний наробіток, тощо.

### **Аналіз досліджень і публікацій**

Математичним апаратом, що є найбільш напрацюваним, і який може бути використаний для вирішення задачі прогнозування значень ПБ РЕЗ ЗРК на майбутні інтервали експлуатації і, відповідно, оцінювання показників їх

довговічності, є методи регресійного аналізу [1-4].

Вочевидь, що точність і достовірність оцінок показників довговічності визначатиметься точністю побудови моделі зміни безвідмовності РЕЗ ЗРК, яка, у свою чергу, характеризується точністю оцінок невідомих коефіцієнтів регресії. Збільшення кількості факторів при обмеженому об'ємі експлуатаційних спостережень призводить до зниження точності оцінок невідомих коефіцієнтів [1-4].

В [3,4] проведений аналіз наслідків "перебору" і "недобору" кількості вихідних факторів. Застосування більшості зі способів надлишкових вихідних факторів [1-5] ускладнюється тим, що зниження розмірності факторного простору дуже часто може приводити до ускладнень в інтерпретації результатів моделювання.

Перспективним при прийнятті рішення вибору значимих факторів і, відповідно, виключення надлишкових факторів, є використання методу групового урахування аргументів (МГУА) [6]. Проте, слід зазначити, що застосування МГУА для пошуку моделі зміни ПБ РЕЗ ЗРК оптимальної структури буде передбачати розподіл сукупності значень оцінок ПБ РЕЗ ЗРК на різних фіксованих інтервалах експлуатації на навчальну і перевірочну. Відповідно розподіляються і фактори регресійної моделі. Питанню проведення цього розподілу приділяється значна увага [7-9], оскільки це є першим етапом застосування МГУА та значною мірою впливає на кінцевий результат [10]. Важливо також щоб цей розподіл здійснювався до початку процесу моделювання.

### **Основна частина**

До сукупності параметрів, які характеризують режими експлуатації РЕЗ ЗРК, з урахуванням форм і механізмів реєстрації результатів експлуатаційних спостережень доцільно включити тривалість експлуатації  $T_e$ , сумарний наробіток  $T$ , тощо. Результати експлуатації РЕЗ ЗРК за кожен інтервал, зафіксовані в експлуатаційній

документації, використовуються для розрахунку відповідних кількісних оцінок ПБ і дисперсій цих оцінок. У загальному випадку регресійна модель може бути представлена у виді

$$R = BX + e; \quad (1)$$

де  $R = (\hat{R}_1, \dots, \hat{R}_i, \dots, \hat{R}_k)^T$  — вектор розмірності  $k$ , елементами якого є розраховані точкові оцінки ПБ ( $k$  — сумарна кількість розрахованих оцінок);  $B$  — вектор розмірності  $M$ , елементами якого є невідомі коефіцієнти регресійної моделі;

$X$  — матриця розмірності  $m \times k$ , елементами якої є фактори (сумарна кількість яких в моделі дорівнює  $m$ ), що представляють собою функції параметрів, які характеризують режими експлуатації конкретного об'єкту (тривалість експлуатації  $T_e$ , сумарний наробіток  $T$ , тощо);

$e$  — вектора розмірності  $k$ , елементами яких є випадкові відхилення (залишки).

Факторами в моделі (1) є параметри, що характеризують режими експлуатації конкретного об'єкту ( $T_e, T, \dots$ ), і їх різні комбінації  $(T_e, T, T_e^2, T^2, T_e \times T, \dots)$ .

Сукупність значень оцінок ПБ РЕЗ ЗРК на різних фіксованих інтервалах експлуатації розподіляється на навчальну і тестову. В алгоритмах МГУА цей розподіл, як правило, проводиться послідовно або "за дисперсією", який базується на ранжуванні спостережень за їхнім розсіюванням навколо середньої точки. Проте, ці способи розподілу не можуть бути застосовані при прогнозуванні ПБ РЕЗ ЗРК, оскільки параметри, що характеризують режими експлуатації, мають зростаючий у часі характер і найбільш важливими є останні спостереження, які відображають останні тенденції у зміні безвідмовності. Тому бажано було б, щоб ці останні спостереження були представлені в обох вибірках.

В [9] проблема розподілу розглянута з точки зору мінімізації дисперсії похибки прогнозу. Оптимальним є такий розподіл сукупності, при якому за умови мінімуму дисперсії похибки моделі на кожній з вибірок буде отримана одна й та сама структура [11]. Точне вирішення цієї задачі передбачає планування активного експерименту. Для пасивного експерименту, яким експлуатація РЕЗ ЗРК, оптимальним є такий розподіл на вибірки A і B при якому матриці  $X_A$  та  $X_B$ , які відповідають експлуатаційним спостереженням навчальної і перевірочної вибірок, при  $\text{rank } X_A = \text{rank } X_B = m$  задовільняють умові квадратичної залежності

$$X_A^T X_A = \rho_B^2 X_B^T X_B, \quad \rho_B^2 \neq 0. \quad (2)$$

Частковим випадком такого розподілу є лінійно залежний ( $\rho_B^2$  — пропорційний) розподіл.

Слід зазначити, що на кожному інтервалі експлуатації величини сумарних наробітків можуть істотно розрізнятися. Це, у свою чергу,

приводить до різної точності отриманих оцінок ПБ РЕЗ ЗРК і порушенню однієї з основних передумов класичного лінійного регресійного аналізу про рівність дисперсій спостережень. Тому розгляд результатів експлуатаційних спостережень за різні інтервали експлуатації як рівних з точки зору їх інформаційної цінності приведе до неточної побудови математичної моделі зміни безвідмовності РЕЗ ЗРК і, як наслідок, до помилок при прогнозуванні значень ПБ на майбутньому етапі експлуатації. У зв'язку з цим необхідно переходити до нових змінних, які задовільняють класичним припущенням

$$X_A^* = \Omega_A^{-1} X_A, \quad X_B^* = \Omega_B^{-1} X_B, \quad (3)$$

де  $\Omega_A$ ,  $\Omega_B$  — діагональні матриці, елементами головної діагоналі яких є дисперсії оцінок ПБ РЕЗ ЗРК, які належать навчальній і тестовій вибіркам відповідно і обчислені безпосередньо за результатами експлуатації.

Тоді умова (2) приймає вид

$$X_A^T \Omega_A^{-1} X_A = \rho_B^2 X_B^T \Omega_B^{-1} X_B, \quad \rho_B^2 \neq 0. \quad (4)$$

При цьому умова (4) відноситься до усіх регресорів одночасно, тобто воно повинне залишатися справедливим для любого ускладнення структури моделі.

Задача пошуку розподілу може бути записана наступним чином: з усієї безлічі можливих варіантів розподілу сукупності на вибірки  $X_{A_n}$  та  $X_{B_n}$ , необхідно обрати такий, що буде відповідати умові

$$\min_{n \in [1, N]} \min_{\rho_B^2 \neq 0} \|X_{A_n}^T \Omega_{A_n}^{-1} X_{A_n} - \rho_B^2 X_{B_n}^T \Omega_{B_n}^{-1} X_{B_n}\|^2, \quad (5)$$

де  $N$  — кількість можливих варіантів,  $\|\bullet\|$  — деяке матричне перетворення.

Застосування звичайних матричних перетворень ускладнене через те, що необхідно вибрати таке перетворення, яке б було незалежним від величини  $\rho_B^2$  та враховувало симетричність матриць  $X_{A_n}^T \Omega_{A_n}^{-1} X_{A_n}$  та  $X_{B_n}^T \Omega_{B_n}^{-1} X_{B_n}$ . З урахуванням (4) та (5) для вирішення задачі розподілу перспективним є застосування уドосконаленого з [9] критерію: в якості найкращого розподілу слід вибрати такий, що буде відповідати умові

$$\arg \min_{n \in [1, N]} \frac{\rho_{\max}^2 - \rho_{\min}^2}{\rho_{\max}^2 + \rho_{\min}^2},$$

$$\rho_{\max}^2 = \max_{n \in [1, N]} \frac{X_{A_n}^T \Omega_{A_n}^{-1} X_{A_n}}{X_{B_n}^T \Omega_{B_n}^{-1} X_{B_n}},$$

$$\rho_{\min}^2 = \min_{n \in [1, N]} \frac{X_{A_n}^T \Omega_{A_n}^{-1} X_{A_n}}{X_{B_n}^T \Omega_{B_n}^{-1} X_{B_n}}.$$

Розподіл експлуатаційних спостережень за цим критерієм дозволяє наблизитися до оптимального,

який буде найкращим для прогнозування безвідмовності РЕЗ ЗРК.

### Висновки

Таким чином, з метою можливості реалізації методу групового урахування аргументів при прогнозуванні безвідмовності РЕЗ ЗРК

запропонований спосіб розподілу експлуатаційних спостережень на вибірки, який є удосконаленням відомих способів розподілу спостережень та дозволяє врахувати особливості експлуатації розглядаємих об'єктів та підготувати вихідні дані до початку моделювання.

### Література

1. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Исследование зависимостей. / С.А. Айвазян, И.С. Еноков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 487 с.
2. Вучков И. Прикладной линейный регрессионный анализ. / И. Вучков, Л. Бояджиева, Е. Солаков. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 239 с.
3. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессии. / Демиденко Е.З. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 302 с.
4. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ. Книга 1. / Н. Дрейпер, Г. Смит – М.: Финансы и статистика, 1986. – 366 с.
5. Александров В.В. Алгоритмы и программы структурного метода обработки данных. / В.В. Александров, Н.Д. Горский. – Ленинград: Наука, 1983. – 208 с.
6. Коппа Ю.В. Сравнение прогнозирующих свойств моделей регрессионного типа и МГУА. / Ю.В. Коппа, В.С. Степашко // Кибернетика и выч. техника, 1999. – Вып. 117. - С. 23-29.
7. Ивахненко А.Г. Помехоустойчивость моделирования. / А.Г. Ивахненко, В.С. Степашко. – Киев: Наук. думка, 1985. – 216 с.
8. Кондрашова Н.В. Влияние способа разбиения выборки в алгоритмах МГУА на точность прогнозирования. / Кондрашова Н.В. // УСиМ, 2003, №2, С.128-133.
9. Степашко В.С. Праці І Міжнародної конференції з індуктивного моделювання / В.С. Степашко, Н.В. Кондрашова Н.В., Львів, 20-25 травня 2002: Т. 1,Ч. 1. - С. 90-94.
10. Ивахненко А.Г. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. / А.Г. Ивахненко, Ю.П. Юрачковский. – М.: Радио и связь, 1987. – 120 с.
11. Степашко В.С. Структурная идентификация прогнозирующих моделей у условиях планируемого эксперимента / Степашко В.С. // Автоматика. – 1992. – №1. – С.26-35..

В статье предложен способ распределения эксплуатационных наблюдений на выборки для подготовки исходных данных до начала моделирования с учетом особенностей эксплуатации объектов наблюдения, который позволяет использовать метод группового учета аргументов при прогнозировании безотказности радиоэлектронных средств зенитных ракетных комплексов.

*Ключевые слова:* метод группового учета аргументов, радиоэлектронные средства, зенитный ракетный комплекс, выборки, эксплуатационные наблюдения.

In article the way of distribution of operational supervision on selections for preparation of basic data prior to modeling taking into account features of operation of objects of supervision which allows to use the Group Method of Data Handling when forecasting non-failure operation of radio-electronic means of the antiaircraft missile system is offered.

*Key words:* Group Method of Data Handling, radio-electronic means, antiaircraft missile system, selections, operational supervision.