

**Баранік О.М.** Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

## **МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ АПАРАТУРИ КЕРУВАННЯ АВІАЦІЙНИХ РАКЕТ КЛАСУ “ПОВІТРЯ-ПОВЕРХНЯ”**

*У статті обґрунтована необхідність переходу керованих авіаційних засобів ураження класу “повітря-поверхня” на експлуатацію за технічним станом. Показані недоліки існуючої системи контролю технічного стану керованого авіаційного озброєння. Наведені особливості появи помилок першого та другого роду при контролі технічного стану авіаційного озброєння. Запропонований метод підвищення надійності апаратури керування керованих авіаційних засобів ураження класу “повітря-поверхня” за рахунок проведення контрольних перевірок у міжперевірочному інтервалі. Показані особливості застосування розробленого методу щодо розрахунку як кількості контрольних перевірок так і їх періодичність у межах міжперевірочного інтервалу.*

**Ключові слова:** керовані авіаційні засоби ураження, помилки першого та другого роду, система контролю, міжперевірочний інтервал, надійність, інформаційна надмірність.

**Постановка проблеми.** На теперішній час на утриманні та озброєнні Повітряних Сил Збройних Сил України знаходяться керовані авіаційні ракети (КАР) типу Х-25, Х-29, Х-59, Х-58 та їх модифікації.

Відомо, що гарантійний термін зберігання ракет у штатній упаковці в сховищах без опалення, під навісом або брезентом при умовах виключення прямої дії опадів та сонячних променів – до 15 років з моменту їх приймання Замовником.

Сьогодні КАР, що були поставлені до військових частин, які розташовані на території України до 1991 року, вже вичерпали термін зберігання.

Сучасний стан наявного арсеналу керованих авіаційних засобів ураження (КАЗУ) обумовлює існування гострої прикладної проблеми його оновлення [1]. Вирішення названої проблеми можливе за рахунок реалізації декількох шляхів:

- розробки та серійного виробництва перспективних КАЗУ силами вітчизняної промисловості або в кооперації;
- ліцензійного виробництва нових КАЗУ;
- модернізації наявних зразків КАЗУ із проведенням робіт щодо продовження їх призначених показників термінів служби;
- закупівлі нових сучасних зразків КАЗУ на світовому ринку озброєнь.

Кожний з названих шляхів породжує важливе прикладне завдання своєчасного контролю технічного стану КАЗУ з метою визначення набору значень їх найважливіших тактико-технічних характеристик для відповіді на питання щодо можливості (неможливості) їх подальшого використання за призначенням.

Особливістю КАЗУ є їх тривалий термін експлуатації та одноразове використання. Отже, переважна більшість процесу експлуатації КАЗУ полягає у зберіганні (на складах, арсеналах, на підвісках літаків і вертольотів, безпілотних літальних апаратів). Це потребує проведення додаткових операцій під час експлуатації – періодичного контролю технічного стану КАЗУ з метою визначення поточного стану таких засобів для запобігання можливих відмов, особливо при виконанні бойових завдань. При цьому ресурс систем управління та наведення КАЗУ обмежений і не дозволяє виконувати операції з контролю технічного стану у будь-який час через витрати ресурсу.

Таким чином, виникає протиріччя між необхідністю періодичного контролю технічного стану КАЗУ з тривалим терміном зберігання, гарантований термін експлуатації яких вичерпаний, та відсутністю дієвих методів забезпечення необхідного рівня достовірності оцінки цього стану.

Відмітимо, що у статті розглядаються питання щодо складових КАЗУ – систем управління та наведення. При цьому контроль технічного стану планера та ракетного двигуна не розглядається. Це пояснюється тим, що за даними експлуатації, найчастіше причинами виходу з ладу КАР, були відмови апаратури керування.

Таким чином, переведення КАЗУ класу “повітря – поверхня” на експлуатацію за технічним станом потребує розробки методів і засобів контролю їх технічного стану на етапі експлуатації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Необхідність проведення контролю технічного стану озброєння і військової техніки (ОВТ) при переході на експлуатацію за технічним станом представлена у [3–10]. Аналіз даної літератури показав, що в ній не розглядається питання визначення поточного стану ОВТ одноразового застосування та техніки, яка відпрацювала встановлені терміни експлуатації, до яких відносяться КАЗУ.

При переході на експлуатацію за технічним станом КАЗУ виникає необхідність проведення контролю технічного стану елементів, пристроїв ракети та складових частин ракет, які не контролюються під час експлуатації [2].

Для усього існуючого парку КАЗУ, що є на озброєнні ПС ЗС України, характерні такі особливості контролю технічного стану [11]:

- забезпечення інструментального контролю параметрів складових частин ракети;
- наявність у складі засобів ураження пристроїв, технічний стан яких може бути визначено тільки органолептичними методами (зовнішнім оглядом);
- відсутність можливості проконтролювати стан деяких пристроїв в умовах експлуатації. До таких пристроїв відносяться порохові заряди двигуна та порохові акумулятори тиску, запобіжно-виконавчі механізми, вибухові речовини бойових частин ракет, повітряно-арматурні блоки.

Для контролю технічного стану апаратури керування авіаційних ракет використовуються різні засоби вимірювальної апаратури, сукупність яких утворює контрольно-перевірочну систему. Відомі два методи забезпечення надійної експлуатації будь-якої технічної системи, у тому числі вимірювальної: підвищення та підтримання надійності кожного її елементу і створення інформаційної надмірності шляхом апаратного або часового резервування [12].

Сьогодні для підвищення надійності апаратури керування авіаційних ракет у процесі їх експлуатації проводяться періодичні перевірки (контроль технічного стану) і ремонтні роботи, спрямовані на підвищення надійності окремих складових і ракети у цілому. З тією ж метою сьогодні зменшують міжперевірочний інтервал (МПІ) періодичних перевірок авіаційних ракет, призначені терміни яких продовжено [13]. Проте, при цьому не лише зменшується коефіцієнт готовності таких ракет, але й створюється ситуація, коли переважна більшість таких ракет, що поступають на перевірку, є свідомо справними, тобто витрачається їх ресурс на додаткові перевірки. До того ж збільшення МПІ викликає зниження надійності даного виду озброєння. Для вирішення вказаного протиріччя запропонований метод підвищення надійності апаратури керування авіаційних ракет.

**Мета статті** – розробка методу коригування МПІ апаратури керування авіаційних ракет “повітря-поверхня” для підвищення надійності.

**Виклад основного матеріалу.** Зробимо припущення, що після кожного встановленого циклу визначення технічного стану апаратури керування авіаційних керованих ракет проводяться контрольні вибіркові перевірки тих ракет, які за результатами попередніх контрольних або поточних перевірок визнавалися несправними та були відремонтовані (відрегульовані). Після закінчення МПІ проводиться чергова перевірка усіх КАЗУ, що знаходяться в експлуатації до кінця МПІ. Розглянемо можливість використання контрольних перевірок для коригування параметрів експлуатації апаратури керування КАЗУ, у тому числі їх МПІ, з метою збільшення їх надійності.

Очевидно, черговій контрольній перевірці піддається група авіаційних ракет, що містить справні та несправні зразки або їх складові елементи. При визначенні їх справності можливі помилки першого та другого роду [14], [15].

За результатами перевірки апаратури керування КАЗУ можливі такі події:

- імовірність виявлення відмови  $\alpha$  ;
- імовірність появи помилки першого роду  $1 - \alpha$  ;
- імовірність того, що справна ракета визначається справною  $\beta$ ;
- імовірність появи помилки другого роду  $1 - \beta$ .

У роботі [16] було запропонований метод підвищення надійності радіоелектронної апаратури складних технічних систем з урахуванням даних помилок.

З урахуванням результатів [16] доцільно розробити наступний метод завдання та коригування параметрів експлуатації апаратури керування авіаційних керованих ракет.

1. Первинне значення інтервалу часу між двома перевірками ракети задається:

$$T_{np} = \frac{n}{M} T_0, \quad (1)$$

де  $T_0$  – середній час безвідмовної роботи ракети,  $n$  – математичне очікування кількості ракет, що відмовили впродовж часу  $T_0$ ,  $M$  – загальна кількість ракет однієї групи в частині.

На початковому етапі завдання значення інтервалу часу між двома перевірками пропонується скористатися наступною формулою:

$$T_{np} = T / i,$$

де  $i = 3 \dots 10$ .

При цьому передбачається, що прийнятий МПП  $T$  для авіаційних ракет відповідає рівню імовірності відмови (10...20)%, а тривалість  $T_{np}$  необхідно вибрати так, щоб імовірність відмови для ракети за один цикл не перевищувала (2...3) %.

2. Наступним етапом є визначення кількості контрольних перевірок впродовж прийнятого МПП  $T$ :

$$N = T / T_{np}. \quad (2)$$

3. Розраховуємо апіорну кількість несправних ракет, що знаходяться в експлуатації до кінця  $N$ -ї контрольної перевірки:

$$A(N) = \frac{n}{\alpha} \left[ 1 - (1 - \alpha)^N \right],$$

де  $\alpha$  – імовірність виявлення відмови, яка визначається:

$$\alpha = \frac{k_e(i)}{a_e(i)} \times 100\%, \quad (3)$$

де  $k_e(i)$  – дійсна кількість несправних ракет, яка виявлена у результаті  $i$ -тої перевірки;  $a_e(i)$  – дійсна кількість ракет несправних до кінця прийнятого МПП.

4. Розраховуємо апіорну кількість несправних ракет, що відмовили до кінця  $N$ -ої кількості контрольних перевірок:

$$Y(N) = \frac{\alpha n N (2 - \alpha) - 2(1 - \alpha) \left[ 1 - (1 - \alpha)^N \right] n}{2\alpha^2}.$$

5. Розраховуємо апіорну кількість несправних ракет, виявлених у результаті проведення  $N$  контрольних перевірок:

$$B(N) = n \left\{ N \frac{(1 - \alpha)}{\alpha} \left[ 1 - (1 - \alpha)^N \right] \right\}.$$

Величини  $Y(N)$  і  $A(N)$  слід порівняти з допустимими, якщо такі задані. У разі потреби скоригувати число  $N$ .

У результаті контрольних і поточних перевірок ракет визначається дійсна кількість несправних ракет  $k_e(i)$ ,  $i = \overline{1, N}$ , виявлених за допомогою контрольних перевірок. У результаті чергової перевірки ракет, що проводиться у кінці МПІ, визначається дійсна кількість несправних ракет  $a_e(i)$ .

За розрахунковими значеннями  $k_e(i)$  і  $a_e(i)$  можна уточнити експериментальне значення коефіцієнта  $\alpha_e$  відповідно до виразу (3), за умови  $i = N$ . Додатково необхідно порівняти апріорне значення  $\alpha$  з експериментальним  $\alpha_e$  і, у разі потреби, з'ясувати причини їх розбіжності.

Потім послідовно знаходимо:

– фактичну кількість ракет, що відмовили до кінця кожного циклу контрольної перевірки, за формулою (3), підставляючи в неї  $\alpha_e$  замість  $\alpha$ ;

– кількість ракет, що знову відмовили впродовж прийнятого МПІ, за формулою:

$$n_{ei} = a_e(i) - (1 - \alpha_e) a_e(i - 1);$$

– середню кількість ракет, що відмовили в одному циклі контрольної перевірки:

$$n_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_{ei}.$$

Для уточнення результату необхідно скористатися методами обробки малої вибірки [17]. Далі отримане значення  $n_{cp}$  необхідно порівняти із заданим допустимим значенням  $n$ .

З виразу (1) знайдемо  $n$ :

$$n = \frac{M}{T_0} T_{np}.$$

Значення  $n_{cp}$  пропонується отримати за результатами експерименту, який необхідно проводити для уточнення початкових параметрів експлуатації КАЗУ. При цьому приймемо  $T_{np_e} = T_{np}$ .

Очевидно, відмінність виникла за рахунок того, що середній час безвідмовної роботи ракет змінився або апріорі був заданий неточно. Тому запишемо:

$$n_{cp} = \frac{M}{T_{0_e}} T_{np}.$$

Звідси знайдемо уточнене (експериментальне) значення середнього часу безвідмовної роботи ракети:

$$T_{0_e} = \frac{M}{n_{cp}} T_{np}. \quad (4)$$

Вважаючи, що середня гранична допустима кількість ракет, що відмовили за один цикл їх експлуатації, залишається незмінною, уточнимо параметри експлуатації (надійності) ракет.

Новий, уточнений інтервал між контрольними перевірками знаходимо з рівності:

$$T'_{np} = \frac{n}{M} T_{np},$$

або, з урахуванням співвідношення (4):

$$T'_{np} = \frac{n}{n_{cp}} T_{np}.$$

Відповідно уточнена кількість контрольних перевірок дорівнює:

$$N' = T / T'_{np} \text{ або } N' = \frac{n_{cp}}{n} N.$$

Слід зазначити, що відомості про надійність різних типів ракет, які приводяться в їх технічних описах, часто є суперечливими. При цьому після проведення модернізації ці відомості вже є неактуальними. Очевидно, що деякі з них є або неадекватними іншим, або недостовірними.

На рисунку 1 наведений алгоритм визначення значень параметрів при контролі технічного стану апаратури керування авіаційних керованих ракет, як один з варіантів реалізації розробленого методу.

Таким чином, проведення контрольних перевірок разом з черговими періодичними перевірками апаратури керування КАЗУ, які стоять на озброєнні, дозволять істотно підвищити різні показники ефективності їх експлуатації. Метод контрольних перевірок може бути використаний для вирішення таких завдань, як коригування МПІ у процесі експлуатації авіаційних керованих ракет, особливо за технічним станом.

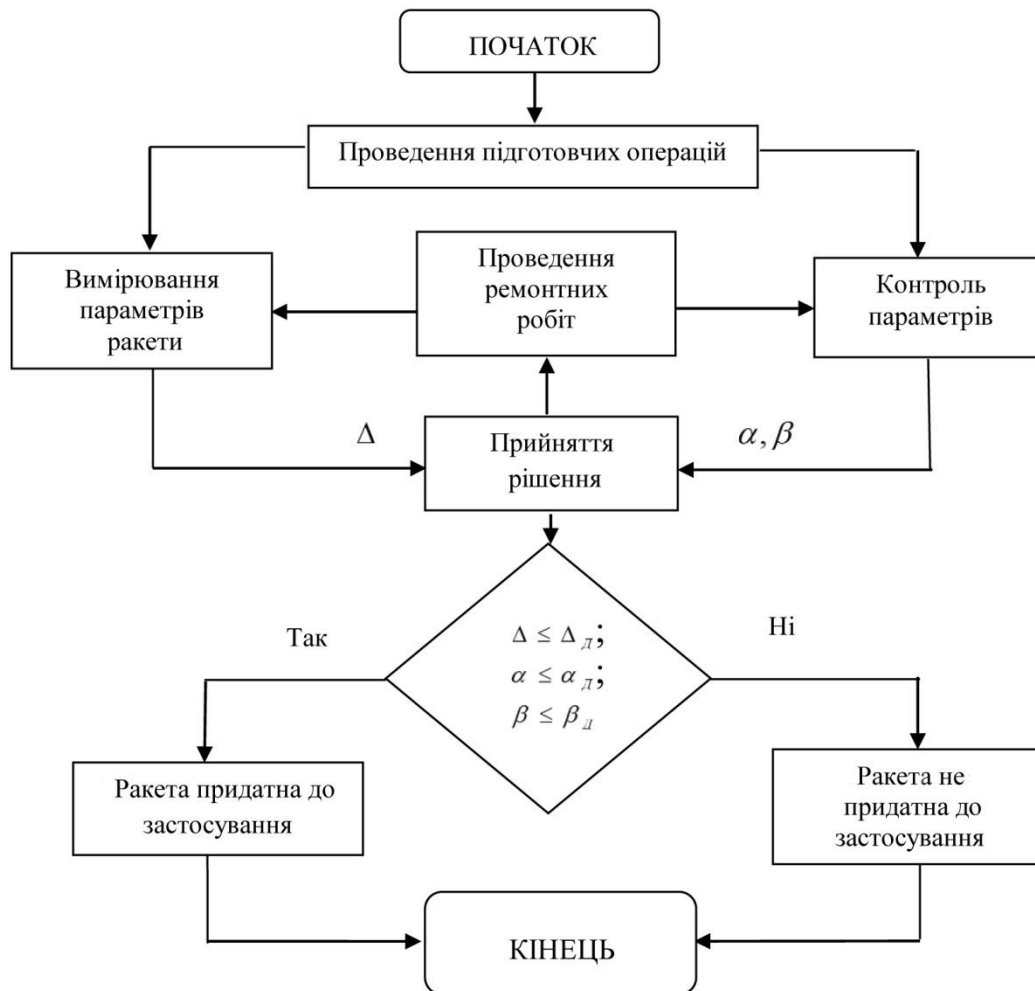


Рис.1. Алгоритм визначення значень параметрів при контролі технічного стану апаратури керування авіаційної керованої ракети

**Висновки.** Запропонований метод забезпечує підвищення надійності апаратури керування авіаційних ракет класу “повітря-поверхня” за рахунок створення інформаційної надмірності про їх поточний технічний стан. Ця надмірність досягається проведенням додаткових контрольних перевірок, які характеризуються високим рівнем імовірності виявлення відмови. У запропонованому методі варійованим параметром є часовий інтервал

$T_{np}$  між двома контрольними перевірками. Цей метод дозволяє задавати апріорне значення  $T_{np}$ , а потім коригувати його, у разі потреби, при накопиченні експериментальних (статистичних) даних.

У подальшому планується підтвердити дані припущення математичним моделюванням процесу експлуатації апаратури керування авіаційних керованих ракет з використанням запропонованого методу.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алімпієв А.М. Особливості гібридної війни РФ проти України. Досвід, що отриманий Повітряними Силами Збройних Сил України / А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: ХНУПС, 2017. – Вип. №2 (27). – С. 19–25.
2. Печура Д.С. Прогнозування технічного стану складових частин авіаційних керованих ракет за визначеними групами / Д.С. Печура, В.Г. Березанський, О.Г., Березанський, Д.О. Васильченко // Збірник наукових праць ХУПС. – Харків: ХУПС, 2014. – Вип. №1. – С. 68–71.
3. Testing Signals for Electronics: Criteria for Synthesis / S. Herasimov, V. Pavlii, O. Tymoshchuk, M. Yakovlev, D. Khaustov, Ye. Ryzhov, L. Sakovych, Yu. Nastishin // Journal of Electronic Testing. Vol. 35, Issues 3 (148), June 2019. – P. 349–357. – DOI:10.1007/s10836-019-05798-9.
4. Definition of Accumulated Operating Time Distributions for a Cable Product Insulation Within the Defined Life Cycles / O. Kulakov, A. Katunin, Ya. Kozhushko, S. Herasymov, I. Vasil'eva, O. Konovalenko // 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering Lviv, Ukraine, July 2-6, 2019. – P. 355–358.
5. Herasimov S. Synthesis method of the optimum structure of the procedure for the control of the technical status of complex systems and complexes / S. Herasimov, O. Timochko, S. Khmelevskiy // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Харків: ХНУПС, 2017. – Вип. № 4(53). – С. 148–152.
6. Propagation characteristic of laser-generated visco-elastic Rayleigh-like waves in stratified half-space / Q. Han, J. Shen, X. Jiang, C. Yin, C. Jia, P. Zhu // Journal on Wireless Communications and Networking. – 2016. – № 102. – P. 1–13. – DOI:10.1186/s13638-016-0599-z.
7. Hu Y. The Target Detection System Based on Laser Imaging / Y. Hu // Theory and Technology of Laser Imaging Based Target Detection, Springer, Singapore. – 2017. – P. 65–104. – DOI:10.1007/978-981-10-3497-8\_3.
8. Hong-e R. The Test Principle and Algorithm of Laser Measuring Tree Height / R. Hong-e, Y. Wei // Informatics in Control, Automation and Robotics. – 2012. – P. 381–387. – DOI:10.1007/978-3-642-25899-2\_51.
9. Chinkov V.M. Mathematical formulation of problems with the synthesis of measuring signals for determination of the technical state of armament samplers at their operation according to the technical state / V.M. Chinkov, S.V. Gerasimov // Systems of armament and military equipment. – 2013. – № 4(36). – С. 128–131. – <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2292/eng>.
10. Войтенко С.С. Напрямки удосконалення системи контролю технічного стану зразків озброєння та військової техніки / С.С. Войтенко, С.В. Герасимов, В.В. Куценко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: ХНУПС, 2016. – Вип. № 3(24). – С. 127–131.
11. George M. Siouris. Missile guidance and control systems / M. George Siouris – Springer, 2004. – 666 p.
12. Герасимов С.В. Метрологічна надійність засобів вимірювальної техніки: навч. посіб. / С.В. Герасимов, В.Є. Козлов, Ю.П. Шамаєв. – Х.: ХВУ, 2006. – 175 с.
13. Чинков В.Н. Метод корективки межповерочного інтервала средств измерительной техники / В.Н. Чинков, А.Е. Мельниченко // Вісник НТУ “ХПІ”. Тематичний

випуск: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2003. – Вип. № 7 – Т. 3. – С. 181–186.

14. Чинков В.Н. Оптимизация корректировки межповерочных интервалов средств измерительной технике по комплексным показателям эффективности на основе метода контрольных проверок / В.Н. Чинков, А.Е. Мельниченко // Системи обробки інформації: зб.наук.пр. – Харків: ХВУ, 2004. – Вип. № 3. – С. 211–214.

15. Чинков В.Н. Корректировка межповерочных интервалов средств измерительной технике по показателям их надежности на основе метода контрольных проверок / В.Н. Чинков, А.Е. Мельниченко // Системи обробки інформації: зб.наук.пр. – Харків: ХВУ, 2004. – Вип. № 2. – С. 168–171.

16. Метод підвищення надійності модернізованої радіоелектронної апаратури / Є.М. Дроб, Д.М. Литовченко, Є.О. Каплун, Л.В. Гаценко // International forum: Problems and Solutions. Scientific collection “InterCofT”. – 2021. – № 53. – С. 660–668.

17. Демидович Б.П. Краткий курс высшей математики / Б.П. Демидович, В.А. Кудрявцев. – М.: Астрель, 2001. – 655 с.

**Баранік Олексій Миколайович**

кандидат технічних наук, старший викладач кафедри Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-1499-7943>

**Oleksii Baranik**

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-1499-7943>

**METHOD OF RELIABILITY IMPROVEMENT  
OF AIR-TO-SURFACE MISSILES CONTROL EQUIPMENT**

**O. Baranik**

*The article analyzes the current state of the fleet of guided air means of destruction (missiles), the problems of repair and extension of the resource. The article substantiates the need for the transition of guided air missile of the "air-to-surface" class to operation according to the technical condition. The shortcomings of the existing inspection system for the technical condition of guided air weapon are shown. For the existing inspection system of technical operation of guided air weapon, one of the areas that will solve the problem of maintaining the combat readiness of aircraft is the transition to the operation of guided air weapon in technical condition.*

*It is shown that the transition of guided air missiles to operation according to the technical condition and modernization of unguided air missiles involves strengthening the role of operations to measure and control their parameters and characteristics in order to determine the actual technical condition and make informed decisions about their further operation.*

*Peculiarities of appearance of the Type 1 and Type 2 errors during control of a technical condition of aviation armament are presented. A method of increasing the reliability of air-to-surface missile control equipment by conducting control checks in the inter-check interval is proposed. The fundamental difference between the proposed information-redundant model of operation of guided air missiles and the classic model is the introduction into the system of operation a new diagnostic operation - an intermediate control check. Peculiarities of application of the developed method concerning calculation of both quantity of control checks and their periodicity within an inter-check interval are shown.*

**Keywords:** *guided air weapon, Type 1 and Type 2 errors, inspection system, inter-check interval, reliability, information redundancy.*