

Е.С. Крижанівський<sup>1</sup>, В.П. Перегончук<sup>1</sup>, С.М. Сторожук<sup>2</sup>, А.С. Бабарига<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Державне підприємство “Державне Київське конструкторське бюро “ЛУЧ”, Київ

<sup>2</sup> Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

<sup>4</sup> Національний університет оборони України, Київ

## ОЦІНКА РІВНЯ СТАРІННЯ КЕРОВАНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РЕМОНТУ ТА ПОДАЛЬШОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У статті наведено методичний підхід щодо визначення доцільності проведення ремонту та шляхів подальшої експлуатації і модернізації. Підхід базується на основі s-подібного закону еволюції розвитку технічних систем, для якого характерні етапи: зародження, промислового виробництва, консервації розвитку, зменшення ефективності функціонування та включає оцінку технічних та економічних факторів, які впливають на прийняття рішення щодо проведення модернізації. Модернізація розглядається, як спосіб подолання наслідків морального, фізичного старіння та продовження подальшої ефективної експлуатації. Результати досліджень можуть бути використані для оцінки доцільності проведення модернізації зразків озброєння Збройними Силами України та науковими організаціями Міністерства оборони України.

**Ключові слова:** граф можливих наслідків старіння, еволюція технічних систем, ієрархічний граф, керовані засоби ураження, модернізація, старіння моральне і фізичне.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Для зразків озброєння і військової техніки, які досить тривалий час знаходяться в експлуатації, характерним є моральне і фізичне старіння. Їх заміна на сучасніші зразки потребує значних матеріальних ресурсів. разом з цим, сучасний стан розвитку армій багатьох країн світу та досвід бойових дій переконливо свідчить, що переважна кількість зразків озброєння і військової техніки, у тому числі керованих засобів ураження (КЗУ), що масово застосовуються, були розроблені ще у 70-90-х роках минулого століття, що суттєво визначає їх бойові можливості. При цьому значні їх кількість була модернізована, що дало змогу не тільки покращити основні тактико-технічні характеристики (ТТХ), а й продовжити терміни експлуатації. Такий підхід, направлений на зменшення витрат військових відомств, притаманний багатьом країнам світу.

**Аналіз попередніх досліджень** свідчить, що модернізація озброєння і військової техніки, які знаходяться на озброєнні провідних світових держав, дала змогу не тільки зберегти актуальність їх ТТХ, а й продовжити термін їх служби. Так, аналіз конструкції і ТТХ авіаційних керованих ракет (АКР) показав, що розвиток їх якісного стану у значній обумовлено розвитком елементної бази, що надавало можливість реалізації більш складних і наукоємних алгоритмів наведення та функціонування у цілому.

Класичним прикладом у цьому аспекті можна вважати АКР класу “повітря-повітря” малої / середньої дальності сімейства Sidewinder (Сполучені Штати Америки), остання модифікація якої AIM-9X продовжує лінію розвитку ракет AIM-9B, C, D, E, G, J, K, H, L, M, P протягом останніх майже 60 років [1, с 1...7]. При цьому, незважаючи на всі відмінності у побудові, елементах конструкції і алгоритмах функціонування, всі вони розраховані на застосування з пускових пристроїв типу LAU-7A і спряження з літаками, у тому числі й застарілими, за стандартом MIL STD-1530. Удосконалення АКР в межах модернізації здійснюють ряд інших країн світу – Ізраїль (5 модифікацій АКР сімейства Python), Китай (9 модифікацій АКР сімейства PL). [2, с 1...4; 3, с 1...5; 4, с 1...5; 5, с 1...3]. Подібна ситуація має місце з КЗУ інших типів і призначення. Так, наприклад АКР класу “повітря-повітря” X-22 (AS-4 за класифікацією НАТО), що було прийнято на озброєння у 1971 році, на сьогодні має 8 модифікацій.

Отже, розробка методичного підходу щодо визначення доцільності проведення ремонту та шляхів подальшої експлуатації є **актуальним науково-технічним завданням**.

**Метою статті** є розробка методичного підходу щодо визначення доцільності проведення ремонту та шляхів подальшої експлуатації керованих засобів ураження на основі s-подібного закону еволюції розвитку технічних систем.

**Виклад основного матеріалу**

Еволюція розвитку зразків озброєння і військової техніки, які досить тривалий час знаходяться в експлуатації, описується s-подібним законом (рис. 1), для якого характерні етапи: зародження (відрізок  $t_0 - t_1$ ), промислового випуску (відрізок  $t_1 - t_2$ ), консервації розвитку (відрізок  $t_2 - t_3$ ), зменшення ефективності застосування та закінчення життєвого циклу (рис.1, відрізок  $t_3 - \infty$ ) [6, с. 31...37; 7, с. 151, 152].

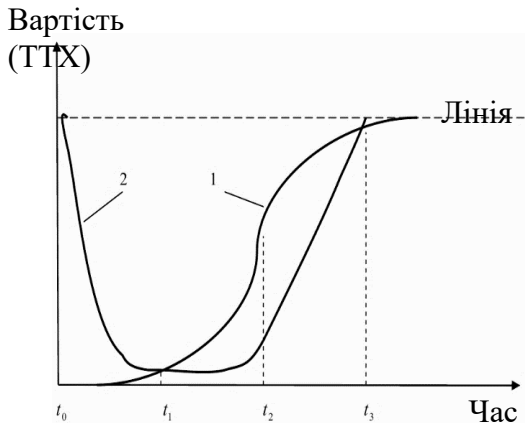


Рис. 1. Еволюція зразка озброєння і військової техніки: 1 – розвиток ТТХ зразка з урахуванням модернізації; 2 – економічний ефект від застосування зразка за призначенням.

Джерело: розроблено авторами за даними [7, с. 151, 152].

Характер s-подібної кривої та етапи розвитку свідчить, що (рис. 1, крива 1) після точки  $t_2$  і зменшення ефективності застосування свідчить про те, що для підтримки зростаючого економічного ефекту, до закінчення етапу ( $t_2 - t_3$ ) на виробництво повинен бути поставлений новий зразок озброєння. Очевидно, що модернізацію зразків озброєння і військової техніки, у тому числі і КЗУ, необхідно проводити на інтервалі між точками  $t_2 - t_3$  (рис. 1), коли похідна від параметру, що характеризує ТТХ, змінює знак на протилежний.

Важливо зазначити, що позитивний ефект від використання зразка КЗУ продовжує зберігатися і після точки  $t_2$ . Однак при накладанні кривої вартості підтримання справності на s-подібну криву (рис. 1, крива 2), дає змогу зробити висновок, що чим далі крива процесу заходить за точку  $t_2$ , тим підтримання справності КЗУ стає все дорожчим, а в зоні насичення  $t_3$ , вартість підтримання справності прямує до нескінченності.

На озброєнні Збройних Сил України, на теперішній час знаходяться КЗУ, розвиток яких законсервовані на проміжку ( $t_2 - t_3$ ), що свідчить про необхідність проведення робіт з визначення напрямів їх подальшого розвитку та удосконалення.

У загальному випадку строк служби (зберігання) КЗУ визначається часом від початку експлуатації до переходу у граничний стан, при якому подальше застосування за призначенням неможливе або недоцільне (рис. 2). Досягнення граничного стану настає при реальному вичерпанні ресурсу хоч би однією складовою частиною (СЧ).

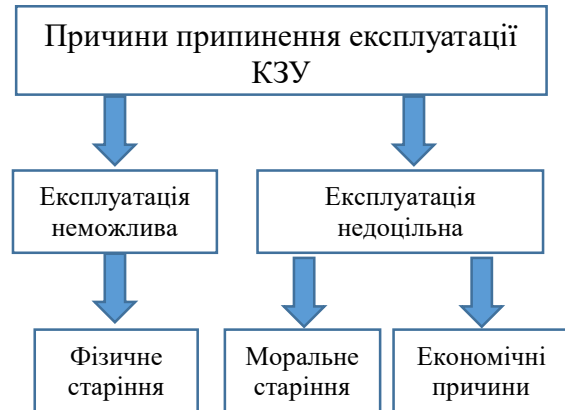


Рис. 2. Причини припинення експлуатації КЗУ.

Джерело: розроблено авторами за даними [8, с. 50...55; 9, с. 615...624].

Наслідками значного перевищення значень призначених показників є фізичне та моральне старіння. І хоч ці процеси характеризуються різними причинами появи і різними швидкостями перебігу, вони однаково негативно впливають на ефективність експлуатації та застосування КЗУ за призначенням.

Серед основних причин, які обумовлюють перехід КЗУ у граничний стан внаслідок морального та фізичного старіння, можна виділити:

- інтенсивність експлуатації;
- умови та тривалість зберігання;
- періодичність та якість технічного обслуговування;
- технічний прогрес тощо.

Під фізичним старінням у даному випадку будемо розуміти погіршення ТТХ, що обумовлено зниженням надійності, погіршенням властивостей конструкційних матеріалів, електрорадіоелементів, матеріалів спеціальної хімії тощо під впливом різноманітних зовнішніх та внутрішніх чинників. Середовище активно діє на вузли та деталі за рахунок впливу вологи, хімічних елементів в атмосфері, ударів, вібрацій, електричного поля й інших чинників. На фізичне старіння також впливають і суб'єктивні чинники, що пов'язані з кваліфікацією обслуговуючого персоналу.

Наслідками фізичного старіння КЗУ є досягнення його складовими частинами (СЧ) граничного стану, який характеризується:

відхиленням визначальних параметрів за допустимі межі, які неможливо усунути відповідними настроюваннями чи регулюваннями;

порушенням вимог безпеки експлуатації, що не можуть бути усунені;

збільшенням інтенсивності відмов і як наслідок необхідність проведення ремонту;

зниженням ефективності застосування;

необхідністю проведення відновлювальних робіт.

Важливо зазначити, що процеси фізичного старіння окремих СЧ КЗУ є принципово нелінійними та мають нестационарний характер зміни у часі. При цьому необхідно враховувати, що найбільш критичними з точки зору безпеки застосування та експлуатації є СЧ, що містять матеріали спеціальної хімії (вибухові речовини різноманітного призначення, балістичні, пороха, піротехнічні матеріали тощо), досягнення якими граничного стану може привести до непередбачуваних наслідків.

Моральне старіння КЗУ, теж відображається у відносному зниженні ТТХ, але передумовою для нього є науково-технічний прогрес. Ступінь моральної застарілості можна оцінити у порівнянні з кращими світовими зразками аналогічного цільового призначення. Процеси морального старіння відбуваються незалежно від режиму експлуатації.

Результатом морального старіння КЗУ є досягнення його СЧ граничного стану, який характеризується:

зниженням ефективності застосування за призначенням нижче допустимого, яке обумовлено погіршенням відповідних ТТХ відносно кращих світових зразків;

недоцільністю подальшої експлуатації, що обумовлена відсутністю стартової платформи, або недостатньою їх кількістю для забезпечення бойової підготовки та формування боєкомплектів.

Серед економічних причин завершення експлуатації можна виділити такі:

недоцільність та неможливість проведення ремонту;

збільшення витрат на забезпечення безпеки експлуатації;

неможливість скласти конкуренцію світовим виробам аналогам;

обмеженість у використанні за призначенням.

Для аналізу впливу окремих складових частин на функціонування КЗУ в цілому необхідно описати можливі наслідки їх відмов (станів), для чого використовуються методи теорії графів, що описують цілі і функції, які виконують підсистеми ракети [10, с. 77...83]. При цьому слід враховувати

наслідки фізичного і морального старіння щодо їх впливу на результати виконання бойового завдання, тобто на бойову ефективність.

На рис. 3 наведено граф можливих наслідків старіння СЧ КЗУ щодо результатів бойового застосування.

Граничний стан настає після проміжного стану і характеризується відмовою у випадку фізичного старіння та / або зниженням ефективності застосування у випадку морального старіння.

Застосовуючи принципи системного аналізу, можна представити стан СЧ КЗУ у вигляді ієрархічного графу негативних подій та їх наслідків з вершиною  $X^{(1)}$ , що розділяються на два взаємно-незалежні процеси, які мають спільні можливі наслідки (рис. 3).

$$X_i = \{X^{(1)}, X^{(2)}, X^{(3)}, X^{(4)}, X^{(5)}, X^{(6)}\}, \quad (1)$$

$X^{(1)}$  – множина станів СЧ;  $X^{(2)}$  – множина несправностей СЧ;  $X^{(3)}$  – множина перехідних станів СЧ;  $X^{(4)}, X^{(5)}, X^{(6)}$  – множина наслідків несправностей СЧ;  $i \in \overline{1, s}$  – кількість СЧ в КЗУ.

Множина дуг графа всіх СЧ має вигляд

$$R_i = \{r^{(1)}, r^{(2)}, r^{(3)}, r^{(4)}, r^{(5)}, r^{(6)}\}. \quad (2)$$

Отриману множину розділимо на підмножини дуг кожного рівня

$$\begin{aligned} R_i^{(2)} &= \{r_1^{(2)}, r_2^{(2)}\}; \\ R_i^{(3)} &= \{r_1^{(3)}, r_2^{(3)}\}; \\ R_i^{(4)} &= \{r_1^{(4)}, r_2^{(4)}\}; \\ R_i^{(5)} &= \{r_1^{(5)}, r_2^{(5)}\}; \\ R_i^{(6)} &= \{r_1^{(6)}, r_2^{(6)}\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Отже, технічний стан СЧ можна визначити, якщо визначені вершини  $X_{ik}^{(1)}, X_{ik}^{(2)}, X_{ik}^{(3)}, X_{ik}^{(4)}, X_{ik}^{(5)}, X_{ik}^{(6)}$ . Дуги  $r_{ik}^j$ , ( $j = \overline{1, 6}; k = \overline{1, 14}$ ) характеризують співвідношення між вершинами графа і мають відповідні вагові коефіцієнти  $q_{ik}^j$  ( $0 \leq q_{ik}^j \leq 1$ ), щоб виконати умови

$$\sum_{k=1}^{15} q_{ik}^j = 1, \quad (4)$$

де  $k = \overline{1, 15}$  – кількість вершин графа наслідків відмов кожної СЧ.

Коефіцієнти  $q_{ik}^j$  для кожного рівня графу формують матрицю  $Q^j = \begin{bmatrix} -j \\ q_{ik} \end{bmatrix}$ , сума елементів кожного рядка, якої дорівнює 1.

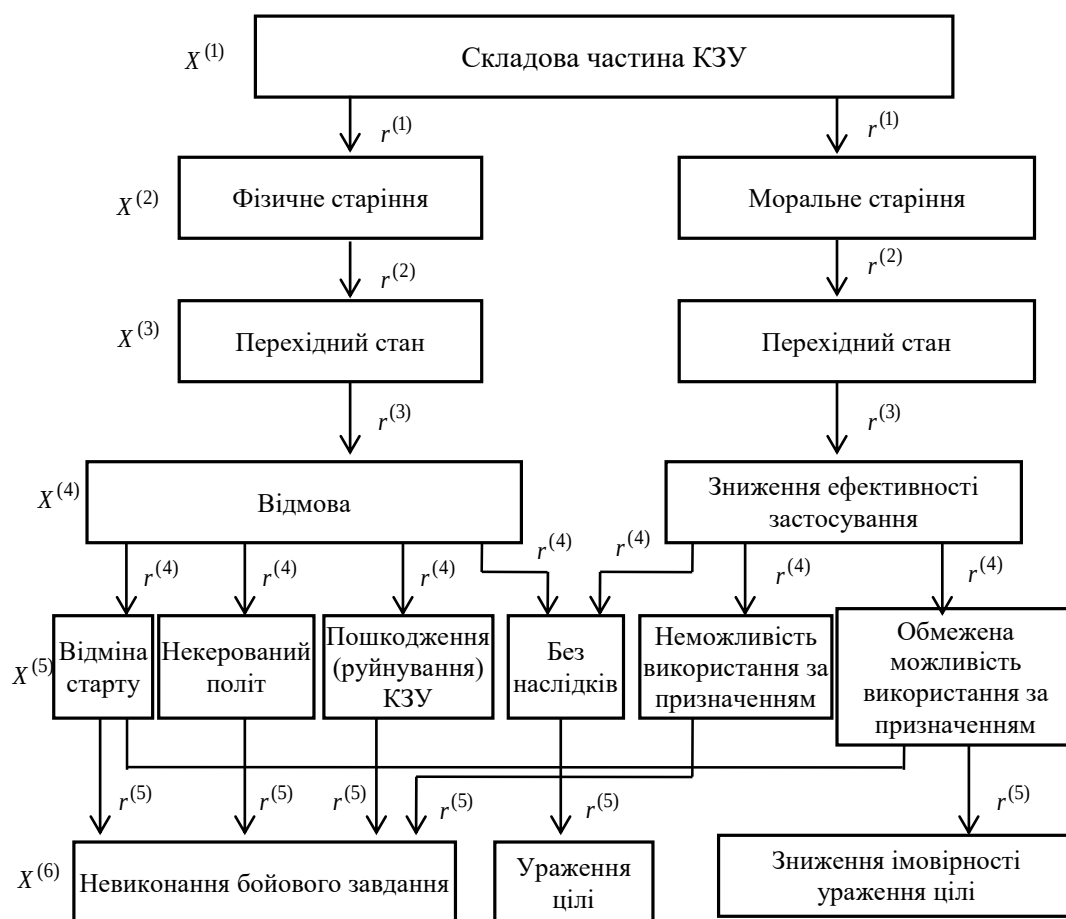


Рис. 3. Граф можливих наслідків старіння СЧ КЗУ щодо результатів бойового застосування.  
Джерело: розроблено авторами за даними [10, с. 77...83].

Числові показники значимості кожного рівня можуть бути представлені вектором  $p^j = \{p_1^{(j)}, \dots, p_k^{(j)}\}^T$ , при цьому їх значення повинні задовольняти умові

$$0 \leq p_k^j \leq 1, \sum_{j=1}^6 p_k^j = 1. \quad (5)$$

Вектор коефіцієнтів значимості рівня  $j+1$  знаходиться за формулою

$$p^{j+1} = (Q^j)^T p^j, \quad j = \overline{2, 3}. \quad (6)$$

Вважаючи вектор першого рівня  $p^{(1)}$  відомим, можна отримати вектор другого рівня

$$p^{(2)} = \sum_{k=1}^2 p^{(1)} q_k^{(2)}. \quad (7)$$

Таким чином знаходяться вектори коефіцієнтів значимості наступних рівнів.

Для оцінки важкості наслідків і частоти появи відмов використовується вираз [11, с. 76...81]

$$C_i = B_{1i} B_{2i} B_{3i}, \quad (7)$$

де  $B_{1i}$  – оцінка ймовірності появи відмови  $i$ -ої СЧ;  $B_{2i}$  – оцінка ймовірності вчасного виявлення

відмови;  $B_{3i}$  – оцінка важкості наслідків відмови  $i$ -ої СЧ.

Значення  $B_{1i}$ ,  $B_{2i}$ ,  $B_{3i}$  оцінюються за даними експлуатації і випробувань.

Виявлення найбільш вагомих відмов відбувається шляхом порівняння критичності відмови  $i$ -ої СЧ  $C_i$  з деяким граничним значенням  $C_{kr}$  (добуток середніх значень оцінок  $B_{1i}$ ,  $B_{2i}$ ,  $B_{3i}$ ).

Для якісної оцінки підсистем КЗУ за параметром  $C_i$  доцільно розділити їх на дві групи: перша містить матеріали спеціальної хімії, а друга – ні. За результатами перевірок і випробувань, які проводились авторами на базі ДП “Державне Київське конструкторське бюро “ЛУЧ”, встановлено, що показник  $B_{1i}$  є нижчим для підсистем КЗУ, що містять матеріали спеціальної хімії, однак виявити такі відмови можливо тільки під час спеціальних випробувань. Показник  $B_{2i}$  для таких підсистем також є нижчим, ніж для підсистем, технічний стан яких періодично контролюється під час експлуатації. Оцінка важкості наслідків відмов  $B_{3i}$  значною мірою

залежить від моменту часу на якому вони відбулися і може бути оцінена шляхом визначення показників надійності на даному етапі життєвого циклу.

Використовуючи даний підхід, були побудовані графи можливих відмов більшості СЧ КЗУ, що знаходяться на озброєнні. Взаємозв'язок відмов доцільно оцінювати за допомогою функцій алгебри-логіки, що дає змогу на основі оцінки впливу втрати працездатності деякої СЧ зробити висновок про функціонування виробу в цілому [12, с. 198...203].

Використання графів наслідків процесу старіння (рис. 3) дасть змогу розбити СЧ КЗУ на групи з урахуванням швидкості їх морального та фізичного старіння.

Зазначимо, що найбільша кількість відмов КЗУ пов'язана з головками самонаведення і блоками управління, що підтверджується даними перевірок на апаратурі контролю.

### Висновки

Аналіз ТТХ КЗУ різних років розробки показав, що їх якісний розвиток значний обумовлено розвитком елементної бази, що надало можливість реалізації більш складних, наукоємних алгоритмів наведення та функціонування у цілому.

Дослідження еволюції розвитку КЗУ на основі s-подібного закону показали, що для підтримки зростаючого економічного ефекту, на виробництво повинен бути поставлений новий або

модернізований зразок озброєння до закінчення етапу  $t_2 - t_3$ , що наведений на рис. 1.

Для аналізу впливу окремих СЧ на функціонування КЗУ в цілому, доцільно використовуються методи теорії графів, що дозволить описати цілі і функції, які виконують їх підсистеми. Це дасть змогу представити стан СЧ КЗУ у вигляді ієрархічного графу негативних подій та їх наслідків з вершиною. При цьому повинно враховуватися наслідки фізичного і морального старіння щодо їх впливу на результати виконання бойового завдання, тобто на бойову ефективність.

Модернізація, яка проводиться при виконанні відновлювального ремонту КЗУ, дасть можливість нівелювати наслідки фізичного та морального старіння та продовжити їх ефективну експлуатацію. При цьому треба мати на увазі, що модернізація є процесом, що потребує визначення чітких часових рамок проведення, які залежать, в першу чергу, від можливості КЗУ конкурувати зі світовими аналогами за визначальними ТТХ.

Під час проведення подальших досліджень щодо комплексного вирішення проблеми усунення наслідків фізичного і компенсації морального старіння КЗУ пропонується проводити їх ремонт з одночасною модернізацією тих СЧ, які, з однієї сторони, мають найнижчу експлуатаційну надійність, а з іншої – від яких відставання ТТХ щодо кращих світових зразків найбільше залежить.

### Список літератури

1. Air Force. An official website of the United State government. <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104557/aim-9-sidewinder/>.
2. Air force Technology. <https://www.airforce-technology.com/projects/python-5-air-to-air-missile-aam-rafael-israel/>.
3. Global Security.org. <https://www.globalsecurity.org/military/world/china/pl-12.htm>.
4. Global Security.org. <https://www.globalsecurity.org/military/world/china/pl-1.htm>.
5. Global Security. .org. <https://www.globalsecurity.org/wmd/world/russia/as-4.htm>.
6. С.Є. Котляренко, А.А. Любарець, Є.С.Крижанівський, Р.В.Дужий. Методичний підхід щодо визначення необхідності та доцільності проведення модернізації засобів ураження. *Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. 2022. Вип. 18 (25). С. 31 – 37. DOI: 10.54858/dndia.2022-18-5
7. Шатров А.М., Крижанівський Є.С. Методологічні аспекти організації ремонту з модернізацією керованих авіаційних засобів ураження при проведенні робіт з продовження строків служби. *Збірник тез доповідей та виступів міжнародної науково-практичної конференції “Актуальні проблеми розвитку авіаційної техніки”*. 2019. – С. 151–152.
8. Шатров А.М., Крижанівський Є.С., Ільїна О.В. Обґрунтування вимог до надійності авіаційних керованих ракет, що ремонтуються з модернізацією окремих складових частин *Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. Випуск 17(24). Київ: ДНДІА, -2021. С. 50-55. <http://doi: 10.54858/dndia.2021-17-8>.
9. Поплавець С.І., Шатров А.М., Печура Д.С., Дроль О.Ю., Сюлев К.В. Методичний підхід щодо обґрунтування вимог до надійності керованих засобів ураження // *Scientific Collection “Interconf” №86: Scientific paradigm in the context of technologies and society development* (November 18-19, 2021). Р. 615-624. Geneva, Switzerland. <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/view/16244>.
10. Л.М. Артюшин, Ю.К. Зиятдинов, И.А. Попов, А.В. Харченко. Большие технические системы. Проектирование и управление. – Харьков: Факт, 1997, – 400 с.
11. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Монография. Т.12 Научные основы системного подхода при решении задач восстановления вооружения и военной техники / И.Б. Чепков, С.В. Лапицкий, В.В. Зубарев, М.А. Шишанов, С.С. Трегубенко, В.И. Коцуруба, А.В. Кучинский, А.А. Веретнов, И.И. Деркач, А.Н. Шатров, И.В. Звершковский / под ред. И.Б. Чепкова. – К.: Видавничий дім Дмитра Бураго, 2022. – 304 с.

12. Шатров А. М., Гурба О. В., Крижанівський Є. С., Ільїна О. В. Методичний підхід щодо оцінки працездатності керованих авіаційних засобів ураження. *Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. 2020 №16(23). – С. 198 – 203.

*Надійшла до редколегії 30.11.2023*

*Схвалена до друку 25.12.2023*

#### **Відомості про авторів**

##### **Крижанівський Євген Сергійович**

кандидат технічних наук  
начальник сектору  
Державного підприємства “ДержККБ “ЛУЧ”,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-5868-3471>

##### **Перегончук Владислав Петрович**

магістр  
начальник сектору  
Державного підприємства “ДержККБ “ЛУЧ”,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-3369-198X>

##### **Сторожук Сергій Миколайович**

старший науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту авіації,  
Київ, Україна  
<http://orcid.org/0000-0001-5271-0272>

##### **Бабарига Андрій Святославович**

начальник відділу  
Інституту професійної військової підготовки  
Національного університету оборони України,  
Київ, Україна  
<http://orcid.org/0000-0003-1692-5844>

#### **Information about the authors**

##### **Yevhen Kryzhanivskyi**

Candidate of Technical Science  
Head of the Sector  
of State Enterprise “SKDB “LUCH”,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-5868-3471>

##### **Vladyslav Perehonchuk**

Master  
Head of the sector  
of State enterprise “SKDB “LUCH”,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-3369-198X>

##### **Serhii Storozhuk**

Senior Researcher  
of State Research Institute of Aviation,  
Kyiv, Ukraine  
<http://orcid.org/0000-0001-5271-0272>

##### **Andrii Babaryha**

Head of Department  
Professional Military Education Institute  
of National Defense University of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine  
<http://orcid.org/0000-0003-1692-5844>

### **ASSESSMENT OF THE LEVEL OF AGING OF CONTROLLED EQUIPMENT FOR DETERMINING THE FEASIBILITY OF REPAIR AND FURTHER OPERATION**

*Y. Kryzhanivskyi, V. Perehonchuk, S. Storozhuk, A. Babaryha*

*The article provides a methodical approach to determining the expediency of repairs and ways of further operation and modernization. The approach is based on the s-shaped law of evolution of the development of technical systems, which is characterized by the following stages: inception, industrial production, conservation of development, reduction of operational efficiency and includes an assessment of technical and economic factors that influence the decision-making process for modernization.*

*The analysis of the tactical and technical characteristics of guided weapons of different years of development showed that their qualitative development is largely due to the development of the elemental base, which made it possible to implement more complex, science-intensive targeting algorithms and functioning as a whole.*

*Studies of the evolution of the development of the guided weapons based on the s-like law showed that in order to support the growing economic effect, a new or modernized model of weapons should be put into production before the end of the stage  $t_2 - t_3$ , shown in Figure 1. To analyze the impact of individual components on the functioning of the CZU as a whole, the methods of graph theory were used, which will allow describing the goals and functions performed by their subsystems. This will make it possible to present the state of any constituent parts in the form of a hierarchical graph of negative events and their consequences with a vertex.*

*For a comprehensive solution to the problem of eliminating the consequences of physical and compensating for the moral aging of the CZU, it is proposed to carry out their repair with the simultaneous modernization of those components that, on the one hand, have the lowest operational reliability, and on the other, on which the lag in tactical and technical characteristics compared to the best world models depends to the greatest extent.*

*Keywords: graph of possible consequences of aging, evolution of technical systems, hierarchical graph, controlled means of damage, modernization, moral and physical aging.*