

УДК 623.4.017

Б. М. ЛАНЕЦЬКИЙ, доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України,

І. В. КОВАЛЬ, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

В. В. ЛУК'ЯНЧУК, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

В. В. ЛІСОВЕНКО, старший науковий співробітник,

О. М. ДОСКА, науковий співробітник

(Науковий центр Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків)

Загальні науково-методичні положення щодо організації та проведення робіт з продовження призначених показників зенітних керованих ракет. Оцінка техніко-економічної ефективності робіт

Формулюються основні науково-методичні положення щодо техніко-економічної оцінки робіт з продовження призначених показників зенітних керованих ракет (ЗКР). Надається характеристика витрат, пов'язаних з продовженням призначених показників ЗКР. Розглянуті співвідношення для порівняльної оцінки витрат, пов'язаних з проведенням робіт з продовження призначених показників та закупівлею нових ЗКР. Наведені графіки, що дозволяють оцінити припустимі величини збільшення призначених показників, виходячи з наявних економічних ресурсів, а також графіки, які характеризують залежність тривалості продовжуваного терміну служби виробів від початково встановленого терміну служби ЗКР.

Ключові слова: роботи з продовження призначених показників, техніко-економічна оцінка, припустима величина збільшення призначених показників, тривалість продовжуваного терміну служби.

Формулируются основные научно-методические положения по технико-экономической оценке работ по продлению назначенных показателей зенитных управляемых ракет (ЗУР). Дается характеристика затрат, связанных с продлением назначенных показателей ЗУР. Рассмотрены соотношения для сравнительной оценки затрат, связанных с проведением работ по продлению назначенных показателей и закупкой новых ЗУР. Приведены графики, которые позволяют оценить допустимые величины увеличения назначенных показателей, исходя из имеющихся экономических ресурсов, а также графики, которые характеризуют зависимость продолжительности продлеваемого срока службы изделий от первоначально установленного срока службы ЗУР.

Ключевые слова: работы по продлению назначенных показателей, технико-экономическая оценка, допустимая величина увеличения назначенных показателей, продолжительность продлеваемого срока службы.

На теперішній час науково-методичне обґрунтування робіт з продовження призначених показників зенітних керованих ракет (далі – робіт з продовження) опрацьоване не достатньо повно. Так, відсутні технічні умови на складові частини зенітних керованих ракет (ЗКР), методики випробувань на надійність та інші методичні документи. На теперішній час також відсутні нормативно-правові документи, що визначають особливості порядку проведення цих робіт в умовах України. У попередній статті [1] були розроблені науково-методичні положення стосовно номенклатури призначених показників, відповідних показників надійності, а також порядку розробки структурних функціональних схем надійності ЗКР. Ця стаття є продовженням попередньої статті [5] й присвячена розробці науково-методичних положень щодо техніко-економічної ефективності робіт з продовження.

У відповідності до [2] для кожного типу ЗКР за результатами проведених робіт з продовження повинні розроблятися висновки з оцінкою економічної доцільності продовження призначених показників, а програма робіт з продовження повинна містити оцінку їх техніко-економічної ефективності. Тому на даний час актуальним є розробка науково-методичного апарату проведення техніко-економічної оцінки продовження призначених показників.

Метою статті є розробка загальних науково-методичних положень щодо оцінки техніко-економічної ефективності робіт з продовження призначених показників ЗКР.

Техніко-економічна оцінка продовження призначених показників (ПП) проводиться з метою оцінки можливості і доцільності продовження ПП ЗКР на величину продовжуваного терміну служби виробів t . При цьому величину t можна встановлювати, виходячи з критерію $t = \min(t_{ек}, t_{тех.})$, де $t_{ек.}$, $t_{тех.}$ – величини продовжуваного терміну служби виробів, що встановлюються за результатами технічної або економічної оцінки продовження ПП відповідно. При цьому технічна оцінка пов'язана з вимогами щодо припустимого рівня збільшення параметра потоку відмов, тобто $\omega(t) \leq \omega(t)_{до}$, де $\omega(t)_{до}$ – гранично припустимий рівень параметра потоку відмов.

Далі основні положення статті наведені для економічної оцінки ефективності робіт з продовження ПП.

При плануванні робіт з продовження замовник повинен передбачити:

витрати на виконання робіт з оцінки можливості збільшення ПП на величину t понад початково встановлене значення T_e ;

витрати, пов'язані з реалізацією на кожній ЗКР заходів, необхідних для забезпечення експлуатації ЗКР у період, що продовжується $[T_e, T_e + t]$;

додаткові витрати, обумовлені придбанням запасних частин (ЗЧ) для відновлення та підтримання працездатності парку ЗКР при їх експлуатації впродовж часу t у випадку їхніх відмов.

З іншого боку, збільшення величини ПП виключає витрати замовника на придбання нових ЗКР, які, якщо

буде потреба, повинні бути придбані для заміни ЗКР з вичерпаними ПП.

Якщо витрати на придбання нових ЗКР у кількості n (n – чисельність парку ЗКР) після закінчення терміну T_e становлять величину $C_{зак}$, а витрати на виконання досліджень з оцінки можливості збільшення ПП на час t , реалізацію необхідних заходів на кожній ЗКР і витрати на ЗЧ для n ЗКР становлять величину $C_{\Sigma мин}$, то припустиму величину t продовжуваного ПП можна визначити з умови

$$C_{зак}(t, T_e, n) = C_{\Sigma мин}(t, T_e, n). \quad (1)$$

Якщо після закінченні часу експлуатації T_e приймається рішення про придбання нових ЗКР у кількості n , то витрати на їх придбання можна оцінити за співвідношенням

$$C_{зак}(t, T_e, n) = C_0 n k_1(t, T_e), \quad (2)$$

де C_0 – вартість однієї нової ЗКР, $k_1(t, T_e)$ – коефіцієнт приведення витрат на придбання нових ЗКР до витрат $C_{\Sigma мин}$. Коефіцієнт $k_1(t, T_e)$ визначається за співвідношенням $k_1(t, T_e) = t / T_e$.

Відзначимо, що у випадку поставки нових ЗКР замовник буде нести витрати, пов'язані з усуненням відмов, що виникають при експлуатації. У залежності (2) ці витрати не враховані, оскільки вони незначні через такі причини:

на всі нові ЗКР встановлюються певні гарантійні зобов'язання, за якими відмови усуваються за рахунок підприємства-виробника;

у нових ЗКР параметр потоку відмов ω суттєво менший, ніж у ЗКР, що будуть експлуатуватися при продовженнях ПП.

Економічні витрати, пов'язані з продовженням ПП, можна розділити на три групи:

перша – витрати C_1 , пов'язані з проведенням робіт з дослідження можливості збільшення ПП на величину t понад початково встановлене значення T_e , з визначенням необхідних для цього заходів;

друга – витрати C_2 , пов'язані з реалізацією на кожній ЗКР заходів із забезпечення експлуатації на період, що продовжується, $[T_e, T_e + t]$;

третя – витрати C_3 , пов'язані з поставкою ЗЧ для відновлення та підтримання працездатного стану парку ЗКР протягом періоду, що продовжується $[T_e, T_e + t]$.

ЗКР різних типів характеризуються різною повнотою контролю працездатного стану при експлуатації, що знаходиться в діапазоні 0,4...0,7 [3]. У зв'язку з цим при оцінці економічної ефективності робіт з продовження ПП необхідно в складі ЗКР виділяти складові частини, працездатний стан яких перевіряється (контролюється) при експлуатації, та складові частини, технічний стан яких не перевіряється при експлуатації та оцінюється (досліджується) при виконанні робіт з продовження.

Сумарні витрати, пов'язані з продовженням ПП, можна визначити за співвідношенням

$$C_{\Sigma мин}(t, T_e, n) = C_1(t, T_e) + C_2(t, T_e, n) + C_3(t, T_e, n). \quad (3)$$

Величина витрат C_1 залежить від типу кожної ЗКР, тривалості досліджень, видів випробувань тощо. На практиці для багатьох ЗКР значення $C_1 \approx (2 \dots 10)C_0$, де C_0 – ціна нової ЗКР. Особливістю витрат C_1 є незалежність їх величини від кількості ЗКР, що перебувають в експлуатації. При необхідності для окремих типів ЗКР можуть бути визначені емпіричні залежності для оцінки величини C_1 як функції від величини продовжуваного періоду t .

Витрати C_2 містять економічні витрати на виконання всіх заходів із забезпечення експлуатації у період, що продовжується. Величина витрат C_2 змінюється від значення $C_2 = 0$ у випадку ухвалення рішення про продовження ПП без виконання на кожному виробі будь-яких робіт до значення $C_2 = C_{кр}n$, де $C_{кр}$ – вартість капітального ремонту (КР) однієї ЗКР, включаючи вартість нових комплектуючих виробів і деталей, виготовлених для заміни при КР. На відміну від витрат C_1 , витрати на реалізацію заходів C_2 залежать від кількості ЗКР, що перебувають в експлуатації.

Витрати на забезпечення експлуатації C_3 , можна знайти за співвідношенням

$$C_3(t, T_e, n) = nC_{np}K_{зч\gamma}(t, T_e), \quad (4)$$

де n – чисельність парку ЗКР, C_{np} – середня вартість усунення однієї відмови (поточного ремонту) ЗКР при експлуатації; $\overline{K}_{зч\gamma}(t, T_e)$ – верхня довірча межа потрібної кількості ЗЧ рівня γ .

Величину $\overline{K}_{зч\gamma}(t, T_e)$ з урахуванням [4] можна визначити (при відомій залежності $\omega(t)$) за співвідношенням

$$\overline{K}_{зч\gamma}(t, T_e) = \int_{T_e}^{T_e+t} \omega(\tau) d\tau + \left[\frac{\gamma \int_{T_e}^{T_e+t} \omega(\tau) d\tau}{1-\gamma} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

де t – збільшене значення ПП понад початковий встановлений термін T_e , для якого визначається верхнє значення необхідної кількості ЗЧ; γ – прийняте значення довірчої імовірності; ω – параметр потоку відмов ЗКР для продовжуваного показника на величину t .

Вид функції $\omega(t)$, як правило, встановлюється при виконанні робіт з продовження ПП. Для багатьох типів ЗКР функція $\omega(t)$ за межами початково встановленого значення ПП T_e має вид лінійної або квадратичної залежності, коефіцієнти яких встановлюються методами регресійного аналізу за інформацією, отриманою при продовженні ПП.

При $\omega(t) = \text{const}$ формула для визначення $\overline{K}_{зч\gamma}(t, T_e)$ приймає вид

$$\overline{K}_{зч\gamma}(t, T_e) = \alpha\gamma + \sqrt{\frac{\alpha\gamma}{1-\gamma}}. \quad (6)$$

Для спрощення приймемо, що протягом періоду $[T_e, T_e + t]$ функція $\omega(t) = \text{const}$, тоді, підставивши (2), (4), (5) в (1), отримаємо

$$C_0 n \frac{t}{T_e} = C_1 + C_2 + nC_{np} \left[\alpha\gamma + \sqrt{\frac{\alpha\gamma}{1-\gamma}} \right]. \quad (7)$$

Співвідношення (7) можна використовувати для отримання оцінок можливого збільшення значення ПП t для ЗКР, працездатний стан яких у процесі експлуатації може бути відновлений з використанням запасних частин.

З (7) можна визначати припустиме значення економічних витрат на виконання досліджень зі збільшення ПП на величину t і реалізацію заходів, необхідних для цього.

Величину додаткових витрат визначимо з умови

$$C_2 + C_3 \leq C_0 n \frac{t}{T_e} - nC_{np} \left[\alpha\gamma + \sqrt{\frac{\alpha\gamma}{1-\gamma}} \right]. \quad (8)$$

На рис. 1 зображені графіки залежностей, побудовані за співвідношенням (9). Ці графіки характеризують залежність припустимих економічних витрат від тривалості продовжуваного терміну служби виробів t при фіксованих значеннях початково встановленого терміну служби виробів T_e . Розрахунки проводилися при $C_0 = 100 \cdot 10^3$ у.о., $C_{np} = 200$ у.о., $n = 800$, $\omega = 0,02$, $\gamma = 0,8$.

З аналізу графіків залежностей на рис. 1 можна зробити такі висновки:

при збільшенні величини продовжуваного терміну служби збільшуються економічні витрати на виконання досліджень щодо збільшення ПП на величину t і реалізацію заходів, необхідних для цього;

при проведенні робіт з продовження на один і той же період для виробів з меншими початково встановленими термінами служби припустимі економічні витрати є більшими, ніж при проведенні робіт з продовження для виробів з більшими початково встановленими термінами служби.

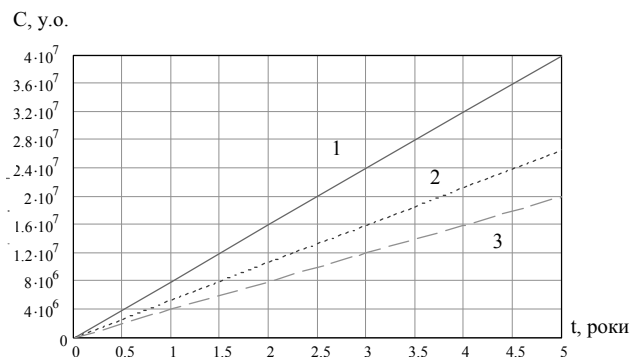


Рис. 1. Графіки залежностей припустимих економічних витрат від тривалості продовжуваного терміну служби

виробів t при різних T_e :

1 – при $T_e = 10$ років, 2 – при $T_e = 15$ років,

3 – при $T_e = 20$ років

Із залежності (7) може бути визначена припустима величина збільшення ПП при відомих витратах, тобто можна отримати рівняння для визначення величини t :

$$At - B = \sqrt{Dt}, \quad (9)$$

де $A = \frac{C_0}{C_{np}T_e} - \omega$, $B = \frac{C_2 + C_3}{nC_{np}}$, $D = \frac{\omega\gamma}{1-\gamma}$.

3 (9) можна отримати

$$t = \frac{2AB + D + \sqrt{4ABD + D^2}}{2A^2}. \quad (10)$$

На рис. 2 наведені графіки залежностей, що побудовані за співвідношенням (10). Ці графіки характеризують залежність тривалості продовжуваного терміну служби виробів t від початково встановленого терміну служби виробів T_c при різних фіксованих витратах на заходи в період, що продовжується. Розрахунки проводилися при $C_0 = 100 \cdot 10^3$ у.о., $C_2 = 700 \cdot 10^3$ у.о., $C_{np} = 200$ у.о., $n = 800$, $\omega = 0,02$, $\gamma = 0,8$.

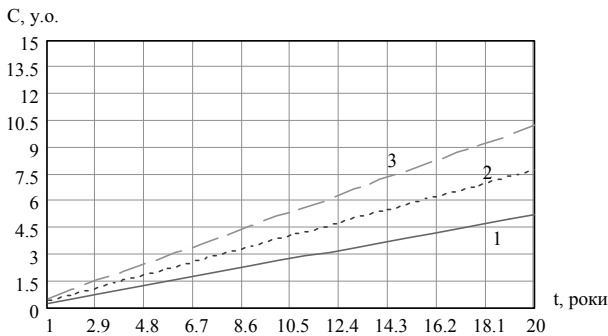


Рис. 2. Графіки залежностей тривалості продовжуваних термінів служби виробів t від початково встановленого терміну служби виробів T_c при різних величинах витрат C_3 :
1 – при $C_3 = 20 \cdot 10^6$ у.о., 2 – при $C_3 = 30 \cdot 10^6$ у.о.,
3 – при $C_3 = 40 \cdot 10^6$ у.о.

З аналізу графіків залежностей на рис. 2 можна зробити висновок, що для збільшення величини продовжуваного терміну служби потрібно збільшувати економічні витрати на виконання досліджень щодо збільшення ПП на величину t і реалізацію заходів, необхідних для цього.

За співвідношенням (10) можна знайти припустиму величину збільшення ПП t , виходячи з наявних економічних ресурсів на продовження ПП та забезпечення експлуатації ЗКР на період, що продовжується.

Залежності (8), (10) отримані за умови, що продовжуване значення t перебуває в межах $0 < t < T_c$. Враховуючи, що продовження ПП проводиться поетапно, при розрахунках за формулами (8), (10) значення T_c приймаються рівними величині ПП ЗКР, яка встановлена за результатами робіт на попередньому етапі. При цьому умова $0 < t < T_c$ завжди буде виконуватися.

Будь-яка ЗКР складається зі складових частин і до неї є запасні частини. У зв'язку із цим при виконанні розрахунків за співвідношеннями (8), (10) середню ціну усунення однієї відмови можна знайти за співвідношенням

$$C_{np} = \sum_{i=1}^z C_{npi} \omega_i / \sum_{i=1}^z \omega_i, \quad (11)$$

де z – кількість запасних частин i -го типу; C_{npi} – вартість запасних частин i -го типу.

Якщо до складу ЗКР входять складові частини, працездатність яких не перевіряється при експлуатації, то ці складові частини підлягають випробуванням з оцінки

можливостей збільшення їх ПП, і за результатами цих робіт можуть бути прийняті такі рішення:

варіант А: значення ПП збільшується до необхідної величини без проведення будь-яких заходів;

варіант Б: після закінчення початково встановлених значень ПП складові частини даного типу на всіх виробках парку повинні бути замінені на нові;

варіант В: після закінчення початково встановленого значення ПП усі ЗКР парку повинні пройти КР.

За варіантом А очевидно, що для таких складових частин для виконання робіт зі збільшення ПП необхідні витрати тільки на проведення досліджень C_{li} , при цьому їхня величина повинна задовольняти умову

$$C_{li} \leq C_{0li} n, \quad (12)$$

де C_{0li} – ціна одного комплекту нової складової частини з урахуванням вартості виконання робіт з її заміни на ЗКР.

За варіантом Б необхідні витрати на проведення досліджень C_{li} , на придбання нових запасних частин і на проведення робіт з їхньої установки на ЗКР. Цей варіант найменш економічно вигідний внаслідок того, що витрати на його реалізацію перевищують витрати на придбання та установку нових складових частин, тобто

$$C_{li} + \sum_{i=1}^p C_{2li} \geq C_{0li} n. \quad (13)$$

За варіантом В необхідні витрати на проведення досліджень з метою визначення обсягу КР для продовження ПП на значення t , на виконання ремонту $C_{2kp} = n \sum_{i=1}^r C_{2kpi}$, де C_{2kpi} – вартість КР однієї складової частини. У цьому випадку сумарні витрати на дослідження і КР повинні задовольняти умову

$$C_{li} + C_{2kp} \leq C_{0li} n. \quad (14)$$

За умовами (13) і (15) необхідно проводити оцінку доцільності проведення робіт зі збільшення ПП для неконтрольованих складових частин.

Висновки. Таким чином, за результатами проведених досліджень можна дати такі рекомендації:

величину продовжуваного терміну служби виробів t доцільно встановлювати, виходячи з результатів проведення оцінки техніко-економічної ефективності робіт з продовження ПП за критерієм $t = \min(t_{ек}, t_{тех.})$;

доцільність проведення робіт з продовження повинна обґрунтовуватися за результатами порівняння витрат на проведення робіт з продовження та забезпечення працездатності ЗКР у період, що продовжується, та витрат на закупівлю нових ЗКР у необхідній кількості;

при проведенні робіт з продовження для виробів з меншими початково встановленими термінами служби припустимі економічні витрати можуть бути збільшені в порівнянні з витратами при проведенні робіт з продовження для виробів з більшими початково встановленими термінами служби.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ланецький Б. М., Коваль І. В., Лук'янчук В. В., Попов В. П. Загальні науково-методичні положення з організації та проведення робіт з продовження призначених показників зенітних керованих ракет. Номенклатура призначених показників, структурно-функціональні схеми надійності // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2017. № 1 (26). С. 65–70.
2. ГОСТ В 15.702. Порядок установления и продления назначенных ресурса, срока службы, срока хранения. Основные положения.
3. Ланецкий Б. Н., Жуков В. С., Алексеев А. С. Основы теории надежности, эксплуатации и ремонта средств зенитных ракетных систем : учеб. пособие. Ч.1 / под ред. Б. М. Ланецкого. – Х.: ХУПС, 2009г. – 509с.
4. Ланецкий Б. Н., Коваль И. В., Шоколовский А. А., Попов В. П., Борисенко К. В. Рекомендации по обоснованию объёмов испытаний зенитных управляемых ракет при решении задач продления их назначенных показателей // Системы обработки информации. 2014. Вип. 4 (120). С. 25–31.
5. Ланецький Б. М., Коваль І. В., Лук'янчук В. В. Методичні рекомендації щодо визначення кількості зенітних керованих ракет та ракетних двигунів для контрольних льотних та вогневих стендових випробувань при виконанні завдань продовження призначених показників // Озброєння та військова техніка. 2017. № 1 (13). С. 34–38.

Рецензент О. Б. Леонтєв, д-р техн. наук, проф.
(Науковий центр Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба)