

УДК 623.463.5.001.57.(06)

В.М. Хижняк, О.М. Баранік, С.А. Калкаманов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ФІНАНСУВАНЬ НА РЕМОНТ ТА ЗАКУПІВЛЮ АВІАЦІЙНИХ РАКЕТ

*Розглядаються задачі оптимального розподілу обмежених фінансових засобів на поновлення ресурсу (ремонт) і закупівлю ракет, а також визначення прийняттого співвідношення між показниками надійності та комерційною вартістю ракет, які проектуються з метою прийняття їх на озброєння. Побудована модель оптимального розподілу фінансування на ремонт та закупівлю авіаційних ракет. Аналіз отриманих результатів свідчить, що для комерційної вартості експлуатації авіаційних ракет характерно збільшення витрат коштів для заресурсної експлуатації внаслідок підвищення інтенсивності відмов.*

**Ключові слова:** авіаційні керовані ракети, показник надійності, комерційна вартість.

### Вступ

**Постановка проблеми.** У сучасних умовах розміри запасів ракет (при безумовному їх поповненні для компенсації використання авіаційних керованих ракет (АКР) за призначенням) залежать від поповнення втрат ракет, які виникають у результаті їх відмов, витрати ресурсу за терміном зберігання та заміни ракет, показники ефективності яких не відповідають сучасним вимогам.

Недостатнє та неритмічне фінансування не дозволяє забезпечити повне використання планів підготовки Повітряних Сил (ПС) на підтримку на належному рівні бойової готовності.

З огляду на все це, широко використовуються модернізація, ремонт і подовження ресурсу наявних у ПС озброєння та військової техніки, що коштує у 3–4 рази менше, ніж закупівля нових. Тому на сучасному розвитку ПС виникають питання найбільш доцільного розподілу коштів на ремонт і закупівлю ракет.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показує, що АКР є основним видом озброєння винищувальної та ударної авіації [1]. Їх висока ефективність підтверджена результатами застосування у бойових діях останніх трьох десятиліть.

Різноманіття наземних цілей, по яких застосовуються ракети, і видів повітряного бою привели до необхідності створення та експлуатації широкої номенклатури ракет.

Так на озброєнні ПС України знаходяться ракети класу “повітря-повітря” великої, середньої та малої дальності пуску з напіваактивними і пасивними радіолокаційними та пасивними тепловими системами самонаведення, ракети класу “повітря-поверхня” з лазерними, телевізійними, радіопеленгаційними системами самонаведення, з командними та комбінованими системами керування.

Особливістю АКР є те, що це об'єкти одноразового використання за призначенням. До використання вони знаходяться у запасах в різних ступенях готовності до застосування (зберігання, транспортування, спільний політ із літаком-носієм і т.п.).

Умовою забезпечення достатнього рівня готовності запасів ракет є забезпечення їх справності та запасу ресурсу.

Справність ракет забезпечується у процесі їх технічного обслуговування, ремонту та поновленням запасів.

Відновлення запасів ракет залежить від інтенсивності заміни витрачених та втрачених АКР. Для забезпечення систематичного відновлення запасів ракет їх витрати на навчально-бойову підготовку планувались таким чином, щоб до закінчення терміну зберігання будь-якої ракети вона була використана за призначенням. Це забезпечувалось відповідною інтенсивністю навчально-бойових пусків АКР.

Планомірна оптимізація бойового складу ПС України, зниження інтенсивності бойового застосування ракет у процесі бойової підготовки привело до того, що відновлення запасів стало незбалансованим.

Зазначені обставини викликали складну ситуацію – значне недовикористання ресурсів АКР за сумісним з літаком наробітком при витрачених (або близьких до витрат) термінах їх зберігання у різних ступенях готовності.

Слід також зазначити, що показники бойової ефективності АКР, які знаходяться на озброєнні ПС, відповідають сучасним вимогам, а за деякими критеріями і переважають показники їх зарубіжних аналогів.

**Метою даної статті** є розробка моделі оптимального розподілу фінансових засобів на ремонт і закупівлю ракет, а також визначення прийняттого співвідношення між показниками надійності та ко-

мерційною вартістю ракет, які проєктуються з метою прийняття їх на озброєння.

### Основна частина

Фінансові засоби  $C_{\Phi}$ , що виділені на підтримку готовності парку ракет на протязі часу  $T$  можуть використовуватись на ремонт ракет  $C_p$  або на їх закупівлю  $C_3$ :

$$C_{\Phi} = \int_0^T C_p t + C_3 t \, dt. \quad (1)$$

В загальному випадку, якщо відомі початкова кількість справних ракет  $N_0$  і несправних ракет  $N_B$ , які можуть бути відновлені, відомі також інтенсивності витрат ракет на навчально-бойову підготовку  $\lambda_1$  та їх відмову  $\lambda_2$ , необхідно визначити такий розподіл виділених засобів  $C_{\Phi}$  на відновлення та закупівлю ракет, який забезпечить на протязі часу  $T$  максимальну готовність парку ракет (максимальну кількість справних ракет в запасах).

В будь який момент часу кількість справних ракет  $N_t$ , що є в запасах, визначимо рівнянням динаміки середніх:

$$\frac{\partial N_t}{\partial t} = -\lambda_1 + \lambda_3 t - N_t \lambda_2 + \lambda_4 t, \quad (2)$$

де  $\lambda_3 t = \frac{C_p t}{C_{p1}}$  – інтенсивність ремонту ракет;

$\lambda_4 t = \frac{C_3 t}{C_{31}}$  – інтенсивність закупівлі ракет;

$C_{p1}$  – вартість ремонту однієї ракети;

$C_{31}$  – комерційна вартість закупленої ракети.

З врахуванням виразів для інтенсивності  $\lambda_3$  і  $\lambda_4$  вираз (2) запишемо у вигляді:

$$\frac{\partial N_t}{\partial t} = -\lambda_1 - N_t \lambda_2 + \frac{C_p t}{C_{p1}} \delta t + \frac{C_3 t}{C_{31}}; \quad (3) \text{ або}$$

де

$$\delta t = \begin{cases} 1, & \text{коли } \Delta N_p t > 0, \\ 0, & \text{коли } \Delta N_p t \leq 0, \end{cases} \quad (4)$$

$\Delta N_p t$  – кількість ракет, які підлягають ремонту:

$$\begin{aligned} \Delta N_p t &= \\ &= N_{p0} + N_0 - N_t + \int_0^{t-\tau} \frac{C_p t}{C_{p1}} \, dt + \int_0^{\tau} \frac{C_3 t}{C_{31}} \, dt; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\tau = \int_0^T [1 - \delta t] \, dt. \quad (6)$$

В окремому випадку, коли вважати що на протязі фінансового періоду  $T$  розподіл  $C_p t$  і  $C_3 t$  не залежить від часу:

$$C_p t = C_p = \text{const};$$

$$C_3 t = C_3 = \text{const},$$

і що завжди  $\delta t = 1$ , одержимо наступний вигляд виразу (1):

$$C_{\Phi} = C_p + C_3 \cdot T, \quad (7)$$

звідки

$$C_3 = \frac{C_{\Phi}}{T} - C_p. \quad (8)$$

Підстановка (8) у (3) дає:

$$\frac{\partial N_t}{\partial t} = -\lambda_1 + \frac{C_p}{C_{p1}} + \frac{C_{\Phi}/T - C_p}{C_{31}} - \lambda_2 \cdot N_t. \quad (9)$$

Позначимо:

$$a_1 = \lambda_1 - \frac{C_p C_{31} + C_p C_{p1} + C_{\Phi} C_{p1} / T}{C_{p1} C_{31}}, \quad (10)$$

тоді

$$\frac{\partial N_t}{\partial t} = -a_1 - \lambda_2 N_t. \quad (11)$$

Розділивши змінні, маємо:

$$\frac{\partial N_t}{a_1 + \lambda_2 N_t} = -dt. \quad (12)$$

В результаті інтегрування одержимо:

$$\frac{1}{\lambda_2} \ln |a_1 + \lambda_2 N_t| \Big|_{N_0}^{N_t} = -t - t_0, \quad (13)$$

$$a_1 + \lambda_2 N_t = a_1 + \lambda_2 N_0 e^{-\lambda_2 t - t_0}, \quad (14)$$

звідки

$$N_{t=T} = N_0 e^{-\lambda_2 T} \cdot \frac{a_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 T}). \quad (15)$$

Підставивши  $a_1 \cdot t$  у (15), одержимо:

$$\begin{aligned} N_{t=T} \Big|_{\delta t=1} &= \left( \frac{C_{\Phi}}{C_{31} T \lambda_2} + \frac{C_p}{N_2} \left( \frac{1}{C_{p1}} - \frac{1}{C_{31}} \right) - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right) \times \\ &\times (1 - e^{-\lambda_2 T}) + N_0 e^{-\lambda_2 T}. \end{aligned} \quad (16)$$

Аналіз виразу (16) показує, що при  $\frac{1}{C_{p1}} > \frac{1}{C_{31}}$

для забезпечення максимуму  $N_t$  необхідно надавати пріоритет ремонту ракет, а у іншому випадку є сенс відмовитись від ремонту і здійснювати закупівлю ракет з заводів-виробників.

Отже необхідно забезпечити в запасах наявність деякої кількості ракет, ефективність бойового застосування яких повинна бути не меншою, ніж  $W_T^{розр}$ . Величина  $W_T$  стохастично залежить від показника надійності, наприклад, від коефіцієнту оперативної готовності ракет  $K_{OG}$ .

При заданому значенні  $K_{OG}$  (стратегія управління запасами) має місце повністю визначений імовірнісний розподіл [2]:

$$F_{K_{OG}} = P \cdot W \cdot K_{OG} < W_T \quad (17)$$

Комерційна вартість однієї ракети визначається з наступних міркувань. Коли буде вироблено  $N$  ракет вартістю  $C_1 \cdot K_{OG}$ , то ці витрати розподіляються між  $N \cdot (1 - F) \cdot W_T^{розр}$  кондиційними ракетами. В наслідок цього вартість одної ракети повинна складати не менше [3]:

$$C_K \cdot K_{OG} = \frac{C_1 \cdot K_{OG}}{1 - F \cdot W_T^{розр} \cdot \beta} \quad (18)$$

Для визначення оптимального співвідношення між показниками надійності та комерційною вартістю ракет визначимо їх кількість у запасах різницею:

$$\Delta N = N - M \cdot N_n \quad (19)$$

де  $N$  – кількість ракет, які надходять для поповнення запасів;  $M \cdot N_n$  – математичне сподівання “втрат” ракет у наслідок їх відмов та витрати ресурсу.

Кількість ракет, які надходять на поповнення запасів при фінансових витратах  $C_3$ :

$$N = C_3 / C_{31} \quad (20)$$

де  $C_{31}$  – комерційна вартість однієї ракети.

Збалансованість між вартістю ракет та рівнем їх надійності забезпечується при виконанні умови [2]:

$$C_{31} = C_0 / Q_n^\beta \quad (21)$$

де  $C_0$  – умовна вартість ракети при забезпеченні  $Q_n = 1$ ;  $Q_n = 1 - P(t)$  – імовірність відмови,  $\beta \geq 1$  – показник ступені зміни відносної вартості ракети при зниженні  $Q_n$ .

Очевидно, що при  $Q_n \rightarrow 0$   $C_{31} \rightarrow \infty$ , необмежене підвищення безвідмовності ракети супроводжується необмеженим зростанням витрат.

За умови біноміального розподілу відмов ракет:

$$M \cdot N_n = N \cdot Q_n \quad (22)$$

У такому випадку на засоби  $C_3$  може бути закуплено ракет:

$$N = \frac{C_3}{C_{31}} = \frac{C_3}{C_0} Q_n^\beta, \quad 0 < Q_n < 1 \quad (23)$$

Для визначення коефіцієнта  $\beta$  вирішимо задачу пошуку максимуму функції  $\Delta N$  [2].

Підставивши (22) і (23) у (19), одержимо:

$$\Delta N = \frac{C_3}{C_0} Q_n^\beta - Q_n^{\beta+1} \quad (24)$$

звідки

$$\frac{\partial \Delta N}{\partial Q_n} = \frac{C_3}{C_0} \beta \cdot Q_n^{\beta-1} - \beta+1 \cdot Q_n^\beta \quad (25)$$

Прирівнявши похідну до нуля  $\frac{\partial \Delta N}{\partial Q_n} = 0$

(умова екстремуму функції) і розв’язавши рівняння  $0 = \frac{C_3}{C_0} \beta \cdot Q_n^{\beta-1} - \beta+1 \cdot Q_n^\beta$  відносно  $Q_n$ , знайдемо

значення  $Q_n^{opt}$ , при якому забезпечується максимальний обсяг запасів:

$$Q_n^{opt} = \frac{\beta}{\beta+1} \quad (26)$$

Величина  $Q_n^{opt}$  відповідає максимуму  $\Delta N$ , так як друга похідна критеріальної функції ( $\Delta N$ ) негативна при  $Q_n = Q_n^{opt}$ .

При припущенні, що збалансованість між витратами і рівнем надійності відповідає рівню надійності  $P_{норм}$ , одержимо:

$$\beta = \frac{1 - P_{норм}}{P_{норм}} \quad (27)$$

Визначимо функцію імовірності переходу ракети у стан, непридатний для використання в запасах (імовірності відмови ракети) з урахуванням нормального та заресурсного періодів експлуатації за умови, що заресурсний період експлуатації ракети характеризується безперервно зростаючою інтенсивністю відмови  $\lambda_n \cdot \tau$ , яка апроксимується гауссівською  $\lambda$ -характеристикою.

У цьому випадку функція сумарної інтенсивності відмов буде:

$$\lambda_{\Sigma} \tau = \lambda_n + \lambda_n \tau, \quad (28)$$

де  $\lambda_n = \text{const}$  – інтенсивність відмов при експлуатації в межах призначеного ресурсу.

Випадкова величина  $\tau_i^*$  – час експлуатації на відмову в інтервалі від  $\tau_1$  до  $\tau_1 + \tau$ , визначається щільністю імовірності усіченого (так як  $\tau_i^* > 0$ ) нормального розподілу:

$$f \tau = \frac{C_1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\tau - a_n}{2\sigma_n^2}}, \quad (29)$$

де  $a_n, \sigma_n$  – відповідно математичне очікування та середнє квадратичне відхилення  $\tau_n^*$ ;  $C_1$  – нормуючий множник:

$$C_1 = \left\{ 0,5 + \Phi \left[ \frac{a_n - \tau_1}{\sigma_n} \right] \right\}^{-1}, \quad \tau_1 \geq 0; \quad (30)$$

де  $\tau_1$  – час експлуатації, який відповідає повному використанню ресурсу.

Враховуючи (28), функція надійності ракети, що враховує нормальний та заресурсний періоди експлуатації, має вигляд:

$$\bar{F}(\tau) = 1 - e^{-\lambda_n \cdot \tau + \Theta(\tau - \tau_1) \cdot \ln(C_1 \cdot (0,5 + \Phi(a_n - \xi / \sigma_n)))}, \quad (31)$$

$$\text{де } \Theta \tau - \tau_1 = \begin{cases} 0 & \text{при } \tau < 0 \\ 1 & \text{при } \tau \geq \tau_1 \end{cases};$$

$\bar{F}(\tau)$  – імовірність безвідмовного стану ракети,  $\xi \in (\tau_1, \tau_1 + \tau)$ .

Звідси функція відмови ракети за час експлуатації

$$F_n^B \tau = 1 - \bar{F}_n \tau \quad (32)$$

враховує період експлуатації в межах технічного (назначеного) ресурсу та заресурсного періоду її експлуатації.

## Висновок

Таким чином, побудована модель оптимального розподілу фінансування на ремонт та закупівлю авіаційних ракет. Аналіз отриманих результатів свідчить, що для комерційної вартості експлуатації авіаційних ракет характерно збільшення витрат коштів для заресурсної експлуатації внаслідок підвищення інтенсивності відмов.

## Список літератури

1. Казаков И.Е. Авиационные управляемые ракеты. Ч.2. / И.Е. Казаков, А.Ф. Мишаков. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1985. – 185 с.
2. Юдин Д.Б. Математические методы управления в условиях неполной информации / Д.Б. Юдин. – М.: Сов. радио, 1974. – 362 с.
3. Саркисян С.А. Экономическая оценка летательных аппаратов / С.А. Саркисян, Э.С. Минаев. – М.: Машиностроение, 1972. – 180 с.
4. Егер С.М. Проектирование самолетов / С.М. Егер, В.Ф. Мишин, Н.К. Линейцев. – М.: Машиностроение, 1973. – 616 с.

Надійшла до редколегії 14.09.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, с.н.с. О.Б. Леонтьев, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИНАНСИРОВАНИЯ НА РЕМОНТ И ЗАКУПКУ АВИАЦИОННЫХ РАКЕТ

В.Н. Хижняк, С.А. Калкаманов, А.Н. Бараник

*Рассматриваются задачи оптимального распределения финансовых средств на восстановления ресурса (ремонт) и покупку ракет, а также определения приемлемого соотношения между показателем надежности и коммерческой стоимости ракеты, которая проектируется с целью принятия ее на вооружения. Построена модель оптимального распределения финансирования на ремонт и закупку авиационных ракет. Анализ полученных результатов свидетельствует, что для коммерческой стоимости эксплуатации авиационных ракет характерно увеличение расходов средств для заресурсной эксплуатации в результате повышения интенсивности отказов.*

**Ключевые слова:** авиационные управляемые ракеты, показатель надежности, коммерческая стоимость.

## MODEL OPTIMUM DISTRIBUTION FINANCING ON REPAIR AND BUYING THE AIRCRAFT ROCKETS

V.N. Hyzhnyak, S.A. Kalkamanov, O.M. Baranik

*The problems of the optimum sharing the financial facilities are considered on reconstruction resource (the repair) and buying the rockets, as well as determinations of the acceptable correlation between factors of reliability that cost of the rocket, designed for the reason acceptance on armies. The model of the optimum distributing of financing is built on repair and purchase of aviation rockets. The analysis of the got results testifies that for a commercial running of aviation rockets cost the increase of charges of facilities is characteristic for заресурсної exploitation as a result of increase of intensity of refusals*

**Keywords:** avicyonnyye guided missile, factor to reliability, commercial cost.