

ЗАДАЧА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ГОТОВНОСТІ АВІАЦІЙНИХ ЧАСТИН

к.т.н. О.В. Никифоров, С.С. Зварич, В.В. Льолін
(подав д.т.н. О.Б. Леонтєв)

Розглянуто задачу оптимізації параметрів готовності льотного складу та справності авіаційної техніки авіаційних частин на мирний час за критерієм мінімальних середньорічних затрат на підготовку та експлуатацію авіаційної техніки з урахуванням вимог щодо потрібного рівня готовності авіаційної частини і тривалості нормативного періоду її приведення до боєздатного стану.

Постановка проблеми та аналіз літератури. Як свідчить світовий та вітчизняний досвід військового будівництва і реформування [1, 2], одним з основних принципів, що закладається в організацію сучасних збройних сил, є забезпечення їх багатофункціональності і адаптованості до зміни умов застосування. Це головним чином досягається за рахунок багатокомпонентної структури та багаторівневої системи підтримки бойової готовності збройних сил. За рахунок гнучкого поєднання різних функціональних компонентів збройних сил досягають високої не тільки воєнної, але й економічної ефективності оборони держави.

Одним з основних питань побудови таких багатокомпонентних збройних сил є задача про визначення доцільного рівня бойової готовності того чи іншого функціонального компонента, який повинен підтримуватися в мирний час. Зрозуміло, що параметри бойової готовності сил та засобів на мирний час залежатимуть від завдань, які цими силами виконуються у період бойових дій, а також від тривалості періоду, що відводиться на переведення частин з мирного на воєнний стан.

Тобто, інакше кажучи, критерій обґрунтування доцільного рівня бойової готовності функціонального компоненту збройних сил повинен формулюватися як критерій типу “ефективність-вартість-час” [3].

Ціль статті. Розглядається задача обґрунтування доцільного рівня бойової готовності авіаційних частин на мирний час, яка забезпечує переведення до боєздатного стану протягом періоду оперативного розгортання військ (сил) на особливий період. Під параметрами бойової готовності авіаційної частини будемо розуміти характеристики бойової готов-

ності льотного складу та стану авіаційної техніки (АТ).

Бойову готовність льотного складу визначимо як сукупність відносних коефіцієнтів готовності груп льотного складу різної кваліфікації (класності) та відповідних вагових коефіцієнтів цих груп відносно загальної чисельності льотчиків в авіаційній частині. Тобто загальний коефіцієнт бойової готовності льотного складу запишемо як

$$K_{\text{ПЛ}} = \sum_{i=1}^3 \xi_i k_i K_i^{\text{max}}, \quad (1)$$

де ξ_i, k_i – ваговий коефіцієнт та відносний коефіцієнт готовності i -ї групи льотного складу (будемо розглядати три кваліфікаційні групи льотчиків: льотчики третього класу або без класу; другого класу; першого класу або льотчики-снайпери); K_i^{max} – максимально-можливий коефіцієнт реалізації бойових можливостей авіаційної техніки середньостатистичним льотчиком з i -ї групи, який повністю боєготовий за відповідним кваліфікаційним переліком розділів та вправ курсу бойової підготовки (КБП) відповідного роду авіації. У [4] ці коефіцієнти нормуються наступним чином: для льотчиків першого класу коефіцієнт реалізації дорівнює 0,95; другого класу – 0,85; третього класу – 0,65.

Стан авіаційної техніки опишемо трьома параметрами: відносною чисельністю літаків в несправному стані; в законсервованому стані (резерві); в справному стані. Отже боєготовність авіаційної частини буде характеризуватися наступним вектором:

$$S(t) = S(\xi_1, \xi_2, \xi_3, k_1, k_2, k_3, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, t), \quad (2)$$

де $\gamma_i, i = \overline{1, 3}$ – відносні чисельності авіаційної техніки у визначених станах.

Для параметрів $k_i(t)$ та $\gamma_j(t)$ існує система рівнянь:

$$\dot{k}_i = f_i(k_i, u_i, t), \quad i = \overline{1, 3}; \quad (3)$$

$$\dot{\gamma}_j = \varphi_j(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, r_1, r_2, r_3, t), \quad j = \overline{1, 3}; \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^3 \gamma_j(t) = 1, \quad (5)$$

де r_1, r_2, r_3 – коефіцієнти розподілу особового складу інженерно-авіаційної служби по видах робіт при відновленні справності авіаційної техніки та здійсненні польотів; $u_i, i = \overline{1, 3}$ – інтенсивності навчально-тренувальних польотів відповідних груп льотчиків.

Тоді задачу оптимізації параметрів бойової готовності авіаційної частини на мирний час або критерій вибору доцільного рівня бойової

готовності, який треба підтримувати, запишемо як параметричну задачу динамічного програмування [5]:

$$I = \min C(\xi_1, \xi_2, \xi_3, k_1(t_0), \dots, \gamma_1(t_0), \dots) \max_{t_0} \int_0^{T_M} [\alpha_p \dot{K}_{\text{ПЛ}}(t) + \alpha_c \dot{\gamma}_3(t)] dt, \quad (6)$$

якщо
$$K_{\text{ПЛ}}(T_M) = \sum_{i=1}^3 \xi_i k_i(T_M) K_i^{\max} \geq K_{\text{ПЛ}}^{\text{потр}}; \quad (7)$$

$$\gamma_3(T_M) \geq \gamma_3^{\text{потр}}; \quad (8)$$

$$\dot{k}_i = f_i(k_i, u_i, t), \quad i = \overline{1, 3}; \quad (9)$$

$$\dot{\gamma}_j = \varphi_j(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, r_1, r_2, r_3, t), \quad j = \overline{1, 3}; \quad (10)$$

$$Q(k_1, \dots, u_1, \dots, \gamma_1, \dots, r_1, \dots, t) = 0, \quad (11)$$

$$Q(\dots k_1, \dots, \gamma_1, \dots, t_0) = 0, \quad (12)$$

де $\gamma_3(t)$ – відносна чисельність літаків в справному стані; C – середньорічні витрати, що потрібні для підтримання авіаційної частини у визначеному стані бойової готовності; α_p, α_c – вагові коефіцієнти важливості відновлення бойової готовності льотного складу і справності авіаційної техніки на особливий період, відповідно; $K_{\text{ПЛ}}^{\text{потр}}, \gamma_3^{\text{потр}}$ – потрібні на початок бойових дій (по завершенні періоду приведення до боєздатного стану) рівень боєготовності льотного складу та справності авіаційної техніки.

Останні два співвідношення (11) – (12) характеризують систему фазових обмежень щодо пропускної здатності інструкторського складу, продуктивності інженерно-авіаційної служби та погодних умов, а також можливість утримувати визначений стан авіаційної частини незмінним у мирний час.

Уточнення критерію оптимізації та обговорення алгоритму розв'язання задачі. Таким чином, як було показано вище, критерій синтезу оптимального стану готовності типової авіаційної частини в мирний час, а також оптимізації програми відновлення її боєготовності на особливий період зводиться до параметричної задачі динамічного програмування у формі задачі Майєра.

Задається період часу, протягом якого буде здійснюватися переведення авіаційної частини з мирного на воєнний час; накладаються умови на правому кінці фазової траєкторії у вигляді рівнів готовності до бойових дій льотного складу і справності парку літаків, що вимагаються; на лівому кінці, на множині можливих стартових станів відшукується такий стан (параметри готовності льотного складу і параметри, які характери-

зують справність авіаційної техніки), що потребує мінімальних затрат для своєї підтримки і одночасно з цим забезпечує вихід в область обмежень на правому кінці. Для кожної стартової точки, в тому числі і для тієї, що відповідає мінімуму затрат, при розв'язанні задачі Майєра буде отримано оптимальне управління (оптимальну програму) з підготовки льотчиків і відновлення справності АТ, що дає максимальне значення інтегралу, який введено до функціоналу (6) або таке, що забезпечує максимальну швидкодію. Тобто, однозначно визначається початковий стан і відповідна йому програма заходів на особливий період.

На рис. 1 схематично показано вищевикладений підхід, де заштриховані області характеризують фазові обмеження і співвідношення між параметрами стану і управління.

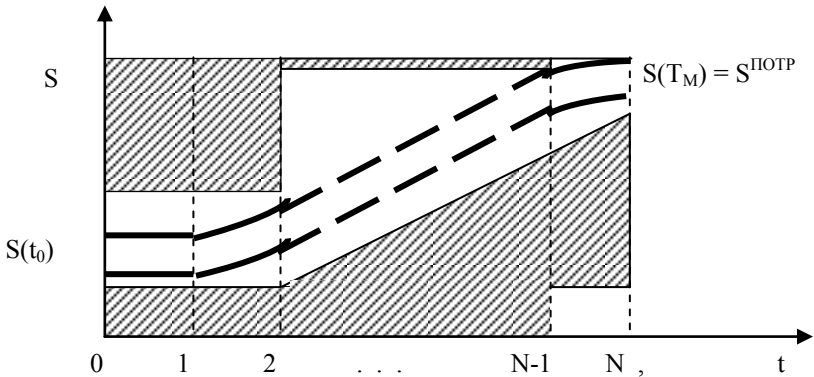


Рис. 1. Схема синтезу оптимального стартового стану і оптимізації управління на особливий період

Загальна схема алгоритму побудови оптимальної фазової траєкторії $S=S(t)$ методом динамічного програмування зводиться до наступного:

$$I_N = I(f_N(U(N), S(N-1))); \quad (13)$$

$$I_{N-1}(S(N-1)) = \max_{U(N) \in \Omega_N} I(f_N(U(N), S(N-1))); \quad (14)$$

$$I_{N-1}(S(N-1)) = I_{N-1}(f_{N-1}(U(N-1), S(N-2))); \quad (15)$$

$$I_{N-2}(S(N-2)) = \max_{U(N-1) \in \Omega_{N-1}} I_{N-1}(f_{N-1}(U(N-1), S(N-2))); \quad (16)$$

.....

$$I_1(S(1)) = I_1(f_1(U(1), S(0))); \quad (17)$$

$$I_0(S(0)) = \max_{U(1) \in \Omega_1} I_1(f_1(U(1), S(0))), \quad (18)$$

де $S(i)$, $i = \overline{0, N}$ – вектор стану, який відповідає i -му дискретному моменту часу; $U(i)$, $i = \overline{1, N}$ – вектор управління (в нашому випадку це інтенсивності польотів для льотчиків відповідних класностей і розподіл особового складу ІАС за видами робіт); Ω_i – множина допустимих управлінь для i -го моменту часу; $I(f_N(U(N), f_{N-1}(N-1), \dots, f_1(U(1), S(0)))) \dots$) – інтегральна частина введеного функціоналу. Як видно це функція з монотонним включенням змінних. Тут f_i – однозначні векторні функції, які ставлять відповідність між вектором стану авіаційної частини в $(i-1)$ -й момент часу і вектором управління, що переводить частину в стан, який відповідає i -му моменту часу.

Таким чином, відповідно до введеної схеми, оптимальна фазова траєкторія і відповідні їй оптимальні управління відшукуються кроками, пересуваючись з правого кінця фазової траєкторії до лівого кінця [5, 6].

На кожному кроці створюється таблиця функції

$$I_{N-i}(S(N-i)) = \max_{U(N-i+1) \in \Omega_{N-i+1}} I_{N-i+1}(f_{N-i+1}(U(N-i+1), S(N-i))). \quad (19)$$

Таблиця $I_0(S(0)) = \max_{U(1) \in \Omega_1} I_1(f_1(U(1), S(0)))$ показує максимальні мо-

жливі значення інтегральної частини функціоналу (6), яких можливо досягти зі станів $S(0)$.

Задаючи обмеження (умови) на правому кінці фазової траєкторії:

$$K_{\text{П.Л}} \geq K_{\text{П.Л}}^{\text{потр}}; \quad \gamma_3(N) \geq \gamma_3^{\text{потр}}, \quad (20)$$

ми тим самим обмежимо множину вихідних станів $S(0)$. Саме на цій обмеженій множині і відшукується такий стан, який задовольняє

$$C(S(0)) = \min, \quad (21)$$

де $C(S(0))$ – затрати необхідні для підтримання незмінним стану авіаційної частини $S(0)$.

Для вибраної за таким критерієм стартової точки $S(0)$ за допомогою сформованих таблиць (19) будується послідовність векторів:

$$U(1) = \varphi_1(S(0)); \quad (22)$$

$$U(2) = \varphi_2(S(1)) = \varphi_2(f_1(U(1), S(0))); \quad (23)$$

.....

$$\begin{aligned} U(N) &= \varphi_N(S(N-1)) = \\ &= \varphi_N(f_{N-1}(U(N-1), f_{N-2}(U(N-2), \dots, f_1(U(1), S(0)) \dots)). \end{aligned} \quad (24)$$

Таким чином отримуємо послідовність управлінь $U = U(i)$, $i = \overline{1, N}$ і

ламану $S = S(i)$, $i = \overline{0, N}$.

Висновки. Таким чином в статті сформульовано задачу оптимізації параметрів бойової готовності авіаційних частин, які необхідно підтримувати у мирний час, якщо ці частини входять до складу сил, що беруть участь у бойових діях не негайно, а по закінченні особливого періоду. Оптимальний стан боєготовності в наведеній постановці синтезується в залежності від тривалості нормативного терміну приведення авіаційної частини до боєздатного стану та за умовою мінімізації витрат на її утримання і бойову підготовку у мирний час.

Згадану задачу авторами пропонується розв'язувати як параметричну задачу динамічного програмування у формі задачі Майєра. Тобто разом з визначенням стану боєготовності на мирний час отримується відповідний оптимальний план відновлення льотних навичок та справності авіаційної техніки на особливий період.

Запропонований підхід доцільно використовувати при розробці пропозицій та вимог до перспективних функціональних компонентів Збройних Сил України з питань організації бойової підготовки, кадрової політики та експлуатації авіаційної техніки у авіаційних частинах, що входять до складу стратегічного резерву та основних сил оборони ЗС України.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Зайцев В.В. Шість “Основных компетенций” // Независимое военное обозрение. – 2001. – № 24. – С. 23 – 27.*
2. *Печуров С.В. Резервные компоненты вооруженных сил США // Зарубежное военное обозрение. – 1995. – № 3. – С. 6 – 11.*
3. *Никифоров О.В., Котляр С.О., Гаврилюк В.І. Критерій “вартість-ефективність-час” у задачах оптимізації бойових авіаційних систем // Зб. наук. праць ЦНДІ ЗСУ. – К.: ЦНДІ ЗСУ – 2001. – № 2(15). – С. 21 – 25.*
4. *Табунов О.И., Лебедев А.С., Тараненко Н.Н. Тактика истребительной авиации. Эскадрилья – полк. – Монино: ВВА, 1989. – 250 с.*
5. *Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. – М.: Наука, 1975. – 526 с.*
6. *Беллман Р. Динамическое программирование. – М.: Изд. ин. лит., 1960. – 400 с.*

Надійшла 7.04.2003

НИКИФОРОВ Олексій Віленінович, канд. техн. наук, заст. нач. Наукового центру при ХІ ВПС з наукової роботи. У 1984 році закінчив Харківське ВВАІУ. Галузі наукових інтересів – системний аналіз, моделювання і планування процесів підготовки льотного складу.

ЗВАРИЧ Світлана Степанівна, науковий співробітник Наукового центру при ХІ ВПС. В 1990 році закінчила Київський держуніверситет. Галузі наукових інтересів – моделювання бойових дій, математичні методи моделювання та планування процесів льотної підготовки.

ЛЬОЛІН Вадим Віталійович, мол. наук. співробітник Наукового центру при ХІ ВПС. В

2001 році закінчив ДАІ (ХАІ). Галузі наукових інтересів – моделювання бойових дій, математичні методи моделювання та планування процесів льотної підготовки, інтелектуальні системи.