

УДК 621.316.34

С.В. Кубарь

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛЬОТЧИКА НА ГРАНИЧНИХ РЕЖИМАХ ПОЛЬОТУ ВИНИЩУВАЧА

На основі принципів оптимізації ергатичних систем, системно-антропоцентричного підходу, порівняльного аналізу особливостей виконання функцій керування льотчиком та автоматичною системою в замкнутому інформаційно-керуючому контурі винищувача, запропоновано методику удосконалення інформаційного забезпечення льотчика на граничних режимах польоту винищувача. В основу методики покладено метод послідовної оптимізації ергатичних систем, застосування якого, дозволить синтезувати інформаційний інтерфейс льотчика за умови мінімуму його психофізіологічної напруженості.

Ключові слова: інформаційно-керуючий комплекс, векторна оптимізація, інформаційний інтерфейс, авіаційні ергатичні системи.

Вступ

Постановка проблеми. При створенні нової й модернізації існуючої бойової авіаційної техніки розробники зіштовхуються з проблемою, коли потенційні льотно-технічні характеристики літального апарату неможливо повністю реалізувати через фізіологічно обмежені можливості льотчика.

Експлуатаційна область параметрів польоту сучасного винищувача фіксована одномірними лінійними обмеженнями значно менше області параметрів польоту, обумовленої реальними конструктивними багатомірними нелінійними обмеженнями, де можливо забезпечити необхідні показники стійкості та керованості літака. Це пов'язано з тим, що в більшості випадків льотчик фізіологічно не може ефективно врахувати нелінійні багатомірні обмеження, особливо в умовах ведення повітряного бою, через необхідність переробки великої кількості інформації в реальному масштабі часу для формування інформаційного образу ситуації та прийняття рішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження в області розвитку технічних ергатичних систем обумовили розвиток інформаційних інтерфейсів [2 – 5], які дозволяють забезпечити найкраще представлення інформації про найбільш визначальні параметри польоту. Для підвищення ефективності інформаційного забезпечення льотчика було запропоновано використання узагальнених координат керування літальним апаратом, відображення фазових площин керування, образотворче представлення інформаційної моделі польоту за допомогою картиноїндикації.

На сучасному етапі тенденція розвитку багатифункціональних засобів відображення інформації дозволила змінити принцип “кожній бортовій системі – свій індикатор” на сучасний принцип “інтеграції засобів відображення інформації в інформаційно-керуючі поля”. Для реалізації даного принци-

пу необхідна розробка нових підходів до формування інформаційного забезпечення льотчика.

Формулювання мети статті. Для описання процесу керування представимо бортовий інформаційно-керуючий комплекс (ІКК) сучасного винищувача у вигляді замкнутого контуру (рис. 1).

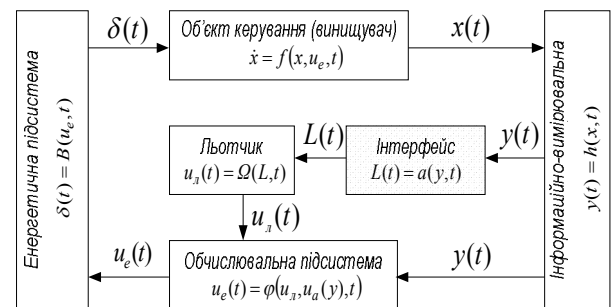


Рис. 1. Структурна схема бортового інформаційно-керуючого комплексу винищувача

В наведеній схемі об'єкт керування описується векторним нелінійним нестационарним диференціальним рівнянням, у якому враховані перехресні зв'язки, обумовлені взаємодією бокового й поздовжнього каналів у процесі зміни параметрів, і нестационарні складові аеродинамічних коефіцієнтів, пов'язані з відривним обтіканням та запізнюванням скосу потоку на горизонтальному оперенні [1]

$$\dot{x} = f(x, u_e, t), \quad (1)$$

де x – n -мірний вектор стану комплексу $x \in R^n$; u_e – m -мірний вектор керуючих впливів із множини $u_e \in R^m$; t – час; f – нелінійна нестационарна функція.

Інформаційно-вимірювальна й енергетична підсистеми ІКК винищувача описуються відповідно рівняннями

$$y(t) = h(x, t); \quad (2)$$

$$\delta(t) = B(u_e, t), \quad (3)$$

де y – l -мірний вектор вимірів $y \in \mathbb{R}^l$; $\delta(t)$ – q -мірний вектор відхилення органів керування $\delta \in \mathbb{R}^q$; h і B – лінійні векторні функції.

Керуючий вплив в ІКК формується в результаті спільних дій льотчика й автоматичних пристроїв. Вектор ергатичного керування є складним і являє собою функцію двох складових керування льотчика й автоматичної частини

$$u_e(t) = \varphi(u_d, u_a(y), t), \quad (4)$$

де u_d – k -мірний вектор керуючих сигналів льотчика; $u_a(y)$ – g -мірний вектор автоматичного керування.

Для формування адекватного інформаційного образу поточної польотної ситуації постає завдання реалізувати спеціальний інтерфейс льотчика, який реалізується оператором

$$L(t) = a(y, t), \quad (5)$$

де L – інформаційний образ, що формується льотчику для реалізації адекватного керування; a – функція перетворення вектору вимірів в інформаційний образ динамічного стану винищувача.

Метою статті є викладення результатів досліджень щодо синтезу інформаційного інтерфейсу льотчика винищувача на граничних режимах маневрування.

Викладення основного матеріалу

На підставі проведеного аналізу методичних основ синтезу складних авіаційних ергатичних систем [3] пропонується знаходити рішення задачі синтезу інформаційного інтерфейсу льотчика на граничних режимах польоту із застосуванням системно-антропоцентричного підходу [2], який припускає на відміну від антропоморфного підходу, розгляд людини-оператора як головного, активного компонента системи, коли технічна частина системи використовується для реалізації творчих сил людини (принцип визнання відносної переваги), зменшення ступеня невизначеності розв'язуваних завдань і створення комфортних психофізіологічних умов (принцип активного оператора).

Участь льотчика в контурі керування накладає певні особливості на функціонал якості. Він містить у собі цільову складову J_{Π} , яка забезпечує досягнення поставленої мети, та гомеостазисну J_{Γ} , яка забезпечує мінімізацію психофізіологічної напруженості льотчика.

Різномірний характер критеріїв не дозволяє замінити їх одним загальним критерієм, тому потрібно функціонал якості розглядати у векторному вигляді

$$\bar{J} = [J_{\Pi}, J_{\Gamma}]^T. \quad (6)$$

При цьому інформаційний інтерфейс льотчика повинен забезпечувати мінімум векторного критерію (6) при обмеженнях на область станів $x \in \mathbb{R}^{np}$ –

гранична область польотів винищувача, керувань $u_e \in \mathbb{R}^{доп}$ – область допустимих значень відхилення органів керування і збереженні заданого рівня безпеки польотів $P_{\Pi} = \text{const}$.

Адекватним інструментом синтезу інформаційного інтерфейсу в даних умовах є векторна оптимізація за критеріями J_{Π} , J_{Γ} [3]. Головною умовою застосування векторної оптимізації є упорядкування критеріїв по важливості. Відповідно до системно-антропоцентричного підходу, оптимізацію необхідно здійснювати від людини-оператора до технічної частини, тобто, перевага віддається гомеостазисному критерію якості [4], що мінімізує психофізіологічну напруженість S льотчика. Математичне формулювання задачі синтезу інформаційного інтерфейсу приймає вигляд:

$$L^* = \operatorname{argmin} \begin{bmatrix} J_{\Pi}(S, x, u_e, L, t) \\ J_{\Gamma}(S, x, u_e, L, t) \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Проведений аналіз показав доцільність рішення задачі методом послідовної оптимізації, який дозволяє одержати парето-оптимальне рішення послідовною умовною оптимізацією з урахуванням обмежень на керування. При цьому можна виділити два рівні: перший, нижчий рівень, реалізується засобами автоматки і відповідає за виконання умови

$$\min J_{\Gamma}(S, x, u_e, L, t) = J_{\Gamma}^*; \quad u_e \in \mathbb{R}^{доп}, \quad (8)$$

тобто забезпечення винищувачу оптимальних, з точки зору мінімуму операційної напруженості льотчика, динамічних властивостей; другий, вищий рівень керування, реалізується льотчиком і відповідає за оптимізацію цільових функцій, тобто виконання умови

$$\min J_{\Pi}(x, u_e, L, t) = J_{\Pi}^*; \quad J_{\Gamma}(S, x, u_e, L, t) = J_{\Gamma}^*; \quad u_e \in \mathbb{R}^{доп}. \quad (9)$$

Таким чином, синтез інформаційного інтерфейсу льотчика на граничних режимах польоту пропонується виконувати у два етапи, відповідно до гомеостазисним та цільовим критеріями (рис. 2).

І етап полягає у формуванні алгоритму розподілу функцій керування на граничних режимах польоту винищувача і синтезі алгоритму автоматичної стабілізації винищувача на граничних режимах з урахуванням вимог безпеки польотів, визначенні структури й параметрів інформаційної моделі винищувача на граничних режимах польоту за умови мінімуму психофізіологічної напруженості льотчика. Гомеостазисний критерій при цьому включає три складові $J_{\Gamma 1}$, $J_{\Gamma 2}$, $J_{\Gamma 3}$. Перша заснована на ентропійному підході і залежить від кількості інформації, що отримує льотчик за одиницю часу, достатньої для виконання адекватних керуючих дій, не перевищуючи порога здатності льотчика щодо прийому і переробки інформації. Друга залежить від форми

подання інформації і визначається методом експертних оцінок. Третя направлена на автоматизацію функцій керування, які вимагають від льотчика великих фізичних навантажень.

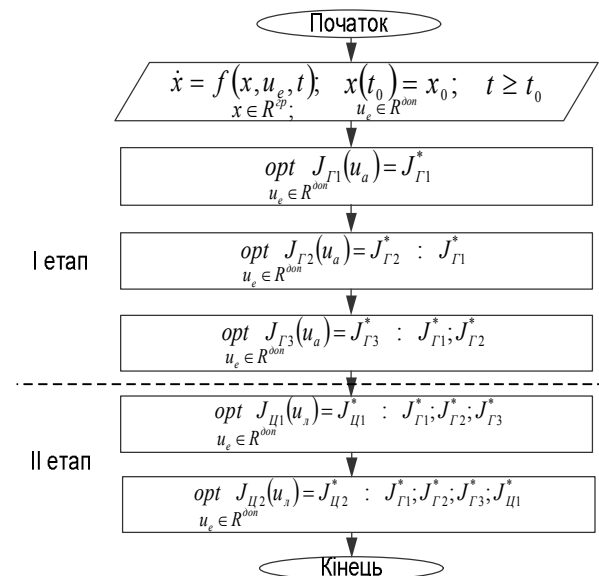


Рис. 2. Алгоритм послідовної оптимізації інформаційного інтерфейсу льотчика на граничних режимах польоту

II етап полягає в розробці алгоритму керування льотчика за умови мінімізації цільового критерію якості при збереженні оптимального рівня його психофізіологічної напруженості. Цільовий критерій, в свою чергу, включає дві складові J_{II1} , J_{II2} : точність і якість витримування обмежень в результаті реалізованих льотчиком керувань.

Висновки

Рішення задачі, що поставлена, проведено з позицій системно-антропоцентричної концепції у рам-

ках методу послідовної оптимізації, в якому перевага віддається гомеостазисному критерію, що дозволить мінімізувати психофізіологічну напруженість льотчика.

Запропонований методичний підхід дозволить оптимізувати зв'язок між льотчиком і автоматичною системою винищувача шляхом удосконалення інтерфейсу.

Застосування принципів оптимізації ергатичних систем при синтезі інформаційного інтерфейсу льотчика на граничних режимах польоту дозволить розробити інтегральну інформаційну модель поточних та граничних режимів польоту винищувача, звести багатовимірну область допустимих значень параметрів польоту до образів обмежень із урахуванням динамічних властивостей винищувача. Отримані результати мають загальний характер та можуть бути використані при синтезі інформаційних інтерфейсів різноманітних ергатичних систем.

Список літератури

1. Аэродинамика, устойчивость и управляемость сверхзвуковых самолетов / под ред. Г.С. Бюшгенса. – М.: Наука, 1998. – 816 с.
2. Кондратенков В.А. Эргономический аспект безопасности полетов / В.А. Кондратенков. – К.: КВВАИУ. 1989. – 140 с.
3. Сложные технические и эргатические системы / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиятдинов, А.В. Харченко, В.В. Осташиевский. – Х.: Факт. 1997. – 240 с.
4. Павлов В.В. Начала теории эргатических систем / В.В. Павлов. – К.: Наукова думка, 1975. – 240 с.
5. Завалова Н.Д. Образ в системе психической регуляции деятельности / Н.Д. Завалова, Б.Ф. Ломов, В.А. Пономаренко. – М.: Наука, 1986. – 176 с.

Надійшла до редколегії 7.02.2013

Рецензент: канд. техн. наук, проф. Ю.И. Миргород, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛЕТЧИКА НА ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМАХ ПОЛЕТА ИСТРЕБИТЕЛЯ

С.В. Кубарь

На основе принципов оптимизации эргатических систем, системно-антропоцентрического подхода, сравнительного анализа особенностей выполнения функций управления летчиком и автоматической системой в замкнутом информационно-управляющем контуре истребителя, предложена методика усовершенствования информационного обеспечения летчика на предельных режимах полета истребителя. В основу методики положен метод последовательной оптимизации эргатических систем, применение которого, позволит синтезировать информационный интерфейс летчика при условии минимума его психофизиологической напряженности.

Ключевые слова: информационно-управляющий комплекс, векторная оптимизация, информационный интерфейс, авиационные эргатические системы.

THE METHODOICAL APPROACH TO OPTIMISATION OF A SUPPLY WITH INFORMATION OF THE PILOT ON LIMITING MODES OF FLIGHT OF A FIGHTER

S.V. Kubar

On the basis of optimisation principles of the human-machine system, the system-anthropocentric approach, the comparative analysis of performance the functions of flight control between the pilot and automatic system in the information-operating contour of a fighter, the method of improvement the information supply of the pilot on limiting modes of flight is offered. The method of consecutive optimisation is put on a human-machine system theory. This way in the information interface of the pilot allows to get the minimum psychophysiological intensity.

Keywords: onboard information system, vector optimisation, the information interface, aviation human-machine system.