

УДК 621.316.34

С.В. Кубарь

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

СИНТЕЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ ОБРАЗІВ ГРАНИЧНИХ РЕЖИМІВ ПОЛЬОТУ ВИНИЩУВАЧА

Запропоновано інтегральну інформаційну модель поточних та граничних режимів польоту винищувача, яка дозволяє звести багатомірну область допустимих значень параметрів польоту до образів обмежень в координатах: приладова швидкість – кутові швидкості повороту в горизонтальній та вертикальній площинах. Розглянуто питання побудови якісно-образного інтерфейсу на основі застосування методу опису динамічних систем характеристичними поверхнями, які дозволяють врахувати тактико-технічні характеристики винищувача та особливості граничних режимів польоту, а саме перехресні зв'язки, обумовлені взаємодією бокового й поздовжнього каналів в процесі зміни параметрів та нестационарні складові аеродинамічних коефіцієнтів, побудовано якісно-образний інтерфейс.

Ключові слова: граничні режими польоту, інформаційна модель, якісно-образний інтерфейс.

Постановка проблеми

Постановка проблеми. Розвиток бойових авіаційних комплексів здійснюється шляхом покращення льотно-технічних характеристик літаків, в тому числі, на основі використання складних бортових підсистем, які потребують збільшення числа пристроїв керування та індикації. За умов збільшення обсягу інформації на борту, зростає психофізіологічна напруженість льотчика. В умовах бойового маневрування, при повному використанні маневрених можливостей літака винищувача, виникає необхідність використання граничних режимів польоту.

Експлуатаційна область параметрів польоту сучасного винищувача фіксована одномірними лінійними обмеженнями і 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. З розвитком систем і засобів відображення інформації актуальності набула проблема розробки теорії і методів відображення інформації. Питання удосконалення відображення інформаційної моделі винищувача льотчику розглянуто в роботах [1-3]. Один із підходів підвищення ефективності інформаційного забезпечення льотчика полягає у використанні узагальнених координат керування із обмеженням їх мінімальними та максимальними значеннями. Інший

підхід полягає у відображенні льотчику “області безпеки” і мітки поточного положення вектора стану літака.

Найбільш досконалим, з погляду сприйняття й переробки інформації, є вид кодування, заснований на образотворчому представленні інформаційної моделі польоту за допомогою картинної індикації, що створює ефект безпосередньої присутності [4].

Для реалізації образотворчого представлення інформаційної моделі про граничні режими польоту необхідна розробка нових підходів до синтезу інформаційного забезпечення льотчика.

Формулювання мети статті. В роботі [5] 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, із застосуванням методу послідовної оптимізації ергатичних систем, запропоновано методику удосконалення інформаційного забезпечення льотчика на граничних режимах польоту винищувача.

Метою статті є викладення результатів досліджень щодо синтезу інформаційного інтерфейсу льотчика винищувача з урахуванням особливостей граничних режимів польоту винищувача.

Викладення основного матеріалу

На сьогоднішній день існує декілька методів опису літального апарата як динамічної системи. Для нелінійних рівнянь розповсюджено (зокрема, у нелінійній механіці) метод опису за допомогою характеристичних поверхонь. Характеристичні поверхні є геометричне зображення нелінійних функцій, які розташовані в правій частині рівнянь руху. При цьому в якості параметрів можуть розглядатися як час, так і інші характеристики динамічної системи.

Характеристичні поверхні, зображуючи праву частину диференціального рівняння руху системи, цілком визначають рух останньої. В той же час геометрична інтерпретація правих частин рівнянь руху досить наочна.

Поняття “характеристичні поверхні” застосовують і у разі, коли рух описують системою з n диференціальних рівнянь. Тоді геометричною інтерпретацією правих частин системи рівнянь буде поверхня в n -мірному просторі. Однак безпосередньою геометричною наочністю таке представлення буде тільки при $n \leq 3$. Ще однією геометричною інтерпретацією правих частин системи рівнянь є характеристичне тіло. Границями характеристичного тіла є обмеження, що накладаються на параметри, які входять в праві частини системи рівнянь руху динамічного об'єкта. Звичайно, в якості таких параметрів використовують керування. Внутрішнім наповненням характеристичного тіла є розглянуті вище характеристичні поверхні.

Таким чином, параметри інформаційної моделі на граничних режимах бойового маневрування, що формують у льотчика образ польоту, необхідно перетворити (провести кодування) за умови спрощення процесу приймання й перероблення інформації.

Для цього доцільно використати систему рівнянь руху літака-випробувача на граничних режимах, в якій враховано вплив конструктивно-аеродинамічного компоновання й умов експлуатації сучасних випробувачів на їх поведінку і особливості пілотування при маневрах на граничних режимах, що проявляються, в основному, у вигляді посилення залежності характеристик стійкості і керованості цих літаків від параметрів польоту, несприятливих особливостей поздовжнього, бічного й поперечного рухів, а також значного посилення взаємодії (перехресних зв'язків) поздовжнього й бічного рухів літака.

Побудуємо графічні зображення правих частин рівнянь системи, скориставшись методом характеристичних поверхонь. В загальному випадку для тривимірного графічного представлення характеристичних поверхонь необхідно:

вибрати параметри на осях координат;

визначити обмеження на параметри руху випробувача і керувань (дані обмеження є границі варіювання параметрів);

“заморозити” параметри, які не уведено до складу інформаційної моделі.

Поверхню в тривимірному просторі в загальному випадку можна визначити в явній, в неявній, в параметричній і у векторній формах. Вигляд рівнянь відповідає параметричній формі тривимірного представлення поверхонь:

$$X = X(u, \vartheta); \quad Y = Y(u, \vartheta); \quad Z = Z(u, \vartheta), \quad (1)$$

де X, Y, Z – значення відповідних осей координат, u, ϑ – криволінійні координати на поверхні.

Якщо в рівняннях (1) зафіксувати параметр $u (u = u_k)$, то отримаємо рівняння координатної лінії $\vartheta = \vartheta_k$; якщо зафіксувати параметр $\vartheta (\vartheta = \vartheta_k)$, то отримаємо рівняння координатних ліній $u = u_k$. В загальному випадку координатні лінії цілком покривають всю характеристичну поверхню.

Дослідження динамічного стану винищувача дозволяє виділити декілька груп за характерними ознаками. До першої групи належать поверхні, сформовані за таких параметрів керування, які обумовили приріст динамічного стану по всіх трьох координатах, тобто лежать в трьох площинах. До другої групи відносимо поверхні, при побудові яких варіювання параметрів керування впливає тільки на дві координати, тобто лежать у двох площинах. Також поверхні можна поділити на симетричні та несиметричні відносно хоча б однієї площини. Ще однією особливістю, за якою можна розподілити отримані характеристичні поверхні, є наявність істотних нелінійностей та розривів.

Основною вимогою при виборі фазових площин є зв'язок з показниками маневреності або безпосередня побудова у фазових площинах показників маневреності. Особливістю запропонованої характеристичної поверхні є симетричність відносно площини, перпендикулярній площині $(\dot{\psi}, \dot{\theta})$ (рис. 1).

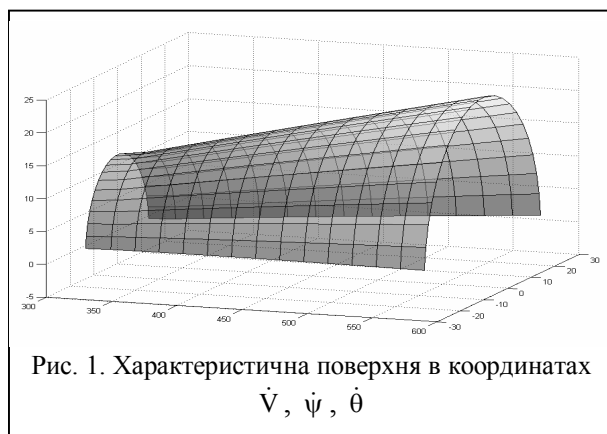


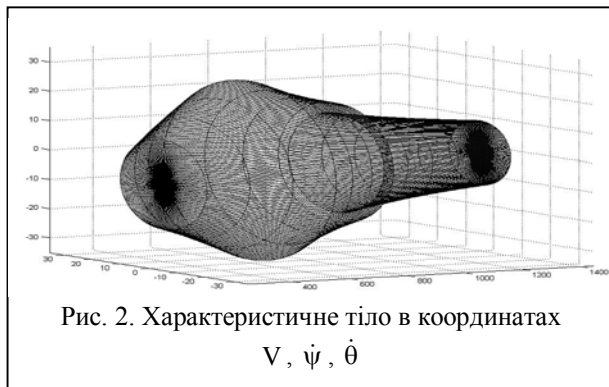
Рис. 1. Характеристична поверхня в координатах $\dot{V}, \dot{\psi}, \dot{\theta}$

Розглянемо представлену характеристичну поверхню з точки зору накладання максимальної кількості обмежень. Основними обмеженнями при виконанні складного пілотажу є $\alpha(C_y)$, n_y , $V_{пр}$, а параметрами, що характеризують максимальні маневрені можливості винищувача є: перевантаження, кутові швидкості, радіуси маневрів.

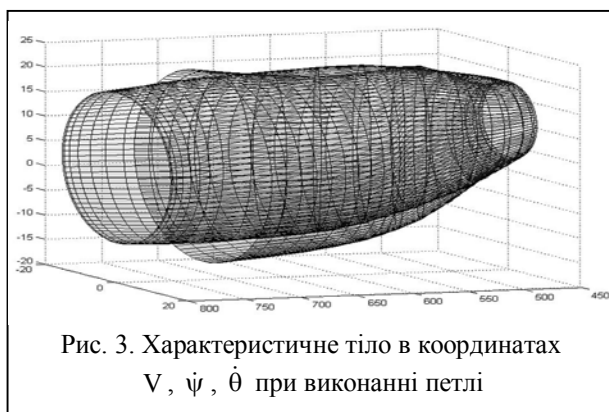
З огляду на те, що поздовжнє прискорення \dot{V} на сучасних випробувачах не обмежують, а швидкість руху є важливий параметр для керування, який обмежують мінімальним й максимальним значен-

ням, і часткові показники маневреності θ і ψ інтегрують в собі основні обмеження та їх змінення від параметрів польоту, для подальших досліджень використано поверхню в координатах V , θ , ψ .

Наступним кроком синтезу інформаційного образу динамічного стану літака є побудова характеристичного тіла з обраних поверхонь за умови врахування граничних маневрених можливостей винищувача (рис. 2). Внутрішній замкнутий простір є областю динамічних станів винищувача при виконанні всіх видів маневрів, вихід за границі якого, призведе до виходу на небезпечні, з погляду безпеки польотів, режими.



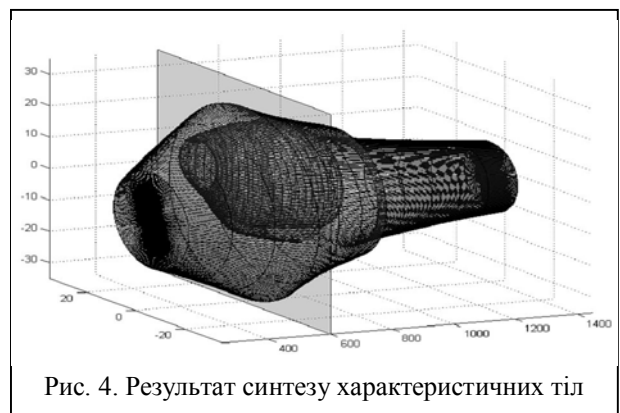
Для витримування обмежень при реалізації граничних маневрених можливостей і попередження про вихід за область експлуатаційних обмежень необхідно постійно відображати інформацію про поточний стан винищувача. Для цього побудовано характеристичне тіло поточних максимальних маневрених можливостей винищувача з урахуванням динамічних характеристик на прикладі виконання петлі (рис. 3).



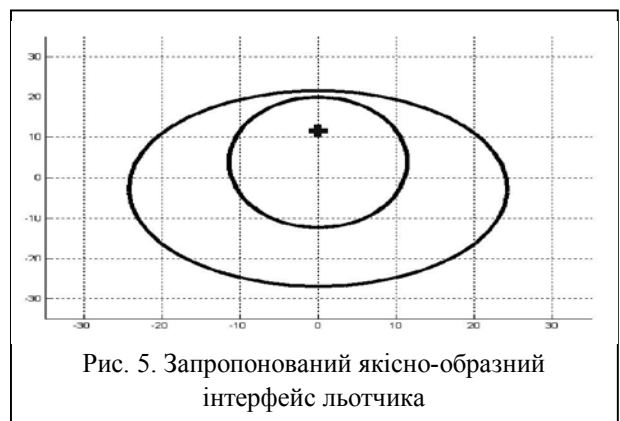
Внутрішній замкнутий простір характеристичного тіла поточних максимальних маневрених можливостей динамічного стану винищувача показує енергетичний запас винищувача, а саме: яких максимальних значень в обраних координатах винищувач може досягти при максимальному відхиленні льотчиком органів керування від поточного положення.

Синтез характеристичних тіл дозволить візуалізувати їх у тривимірному просторі, що дасть можливість льотчику заглибитись в об'ємну інформаційну структуру інтерфейсу. Однак використання тривимірних моделей графіки збільшує потік інформації і може призвести до психофізичного перевантаження льотчика. Двомірні моделі, отримані проекцією на площину тривимірних моделей, дозволяють в одному образі зводити проєкції декількох тривимірних моделей, що відповідає наочно-образному мисленню. Двомірне зображення втрачає частину параметрів, але дозволяє зіставляти інші параметри через метрику.

Пропонуємо отримані два характеристичних тіла побудувати в одній координатній сітці та зробити розсічення їх площиною поточних значень швидкості польоту (рис. 4).



Це дає можливість одержати двомірну якісно-образну індикацію, яка складається із двох образів поточного стану і обмежень та мітки поточного положення винищувача (рис. 5).



Відстані до границь образу поточного стану показують на скільки повно використовуються маневрені можливості винищувача в кожній точці виконання петлі при реалізації керування винищувачем та енергетичний запас винищувача. Ця область є зворотнім зв'язком від реалізованих льотчиком керувань та підказкою льотчику при виникненні критичної ситуації на граничних режимах польоту.

Відстані до границь образу максимальних маневрених можливостей винищувача показують, на скільки повно використовують максимальні маневрені можливості, обумовлені тактико-технічними характеристиками, і вихід за які є недопустимий з точки зору безпеки польотів.

Таким чином, аналіз синтезованого якісно-образного інтерфейсу льотчика на граничних режимах польоту винищувача показує, що він містить такі інформаційні одиниці: узагальнені координати; поточні й максимальні координати керування; швидкість і напрямок руху центру мас винищувача; граничні маневрені характеристики винищувача. При реалізації граничних маневрених можливостей винищувача льотчик повинен своїми керуючими діями намагатися наблизити мітку до границі зовнішньої області, але не перетинати її. При цьому зображення внутрішнього образу надасть льотчику уяву про динамічний стан винищувача та поточне керування.

Висновки

Відображення інформації в координатній площині (θ , ψ) найбільш повно відповідає призначенню запропонованого якісно-образного інтерфейсу граничних режимів винищувача, тому що дає можливість мати уявлення про поточний режим польоту й характер його зміни при обраному законі керування, маневрених можливостях винищувача і близькості поточного режиму польоту до області граничних режимів.

Відображення якісно-образної інформації в координатах інтегральних показників маневреності, що замінюють комплекс одиночних параметрів та безпосередньо відображають характер зміння траєкторії виконання маневру, дозволяє спростити інформаційну модель, знизити операційну напруже-

ність льотчика і полегшити процес приладового пілотування на граничних режимах за умови повного використання маневрених можливостей винищувача.

Витримування мітки в межах образу максимальних маневрених можливостей винищувача гарантує невихід кожного з одиночних параметрів пілотування за допустимі границі. Образ поточних маневрених можливостей винищувача вказує на енергетичний запас винищувача і дозволяє льотчику раціонально виконувати маневри.

Список літератури

1. Кондратенков В.А. Эргономический аспект безопасности полетов / В.А. Кондратенков. – К.: КВВАИУ, 1989. – 140 с.
2. Пахненко В.Л. Оценка эффективности бортового индикатора информационной модели режимов полета / В.Л. Пахненко, П.С. Добролюбов, С.Г. Валуйсков // Сборник научных материалов КВВАИУ. – 1987. – Вып. 3. – С. 8-12.
3. Технологии и Знание : сайт компании ТекНол [Электронный ресурс]. – Режим доступа к сайту : www.tekno.ru.
4. Чепіженко В.І. Оцінка можливості використання якісно-образного кодування інформації на критичних режимах польоту сучасного винищувача / В.І. Чепіженко, С.В. Кубарь // Зб. наук. праць. – К.: НЦ ВПС ЗСУ, 2003. – Вып. 6. – С. 150-155.
5. Кубарь С.В. Методичний підхід до оптимізації інформаційного забезпечення льотчика на граничних режимах польоту винищувача / С.В. Кубарь // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2013. – Вып. 2(35). – С. 21-23.

Надійшла до редколегії 13.11.2013

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

СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПОЛЕТА ИСТРЕБИТЕЛЯ

С.В. Кубарь

Предложено интегральную информационную модель текущих и предельных режимов полета истребителя, позволяющую свести многомерную область предельных значений параметров полета к образам ограничений в координатах: приборная скорость – угловые скорости разворота в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Рассмотрен вопрос построения качественно-образного интерфейса с использованием метода описания динамических систем характеристическими поверхностями, которые позволяют учесть тактико-технические характеристики истребителя и особенности предельных режимов полета, такие как перекрестные связи, обусловленные взаимодействием бокового и продольного каналов в процессе изменения параметров и нестационарные составляющие аэродинамических коэффициентов.

Ключевые слова: предельные режимы полета, информационная модель, качественно-образный интерфейс.

THE SYNTHESIS OF DYNAMIC IMAGE INFORMATION ON LIMITING MODES OF FLIGHT OF A FIGHTER

S.V. Kubar

The integrated information model is proposed and current limit modes of flight fighter that reduces a multi-dimensional domain limits of flight parameters to images of restrictions in the coordinates: airspeed - angular velocity of rotation in the horizontal and vertical planes. The problem of building quality-shaped interface using the description of dynamic systems characteristic surfaces, which allow to take into account the performance characteristics and features of the fighter extreme flight conditions, such as cross-linking caused by the interaction of lateral and longitudinal channels in the process of changing the parameters and time-dependent components of the aerodynamic coefficients is considered in the article.

Keywords: limiting modes of flight, information model, quality-shaped interface.