

УДК 629.7.017.1(045)

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН ПАРАМЕТРІВ ЕЛІПСОЇДА ПОХИБОК НА ВИТРИМУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ ПОСАДКИ ЛІТАКА

Казак В.М., Будзинська Т.В., Міщерякова В.Ю.

Національний авіаційний університет

post@nau.edu.ua

Проаналізовано концепції необхідних навігаційних характеристик для етапу зниження і посадки літака. Наведено алгоритм керування літальним апаратом в умовах невизначеності, оснований на тунельній концепції виконання посадки з використанням інтелектуальної системи керування на основі нейронечіткого регулятора.

An analysis of RNP concept at the stage of an aircraft descent and landing was made. Control algorithm of an aircraft under the conditions of uncertainty, based on the tunnel concept of landing performance using an intelligent control system, based on the neural fuzzy-logic regulator, was presented.

Вступ

Незважаючи на велику кількість заходів щодо підвищення безпеки виконання посадки літальних апаратів (ЛА), досі цей етап польоту залишається найбільш небезпечним, кількість авіаційних подій не зменшується. Основними причинами цього залишаються людський фактор, відмови авіаційної техніки і складні метеорологічні умови. Попри ці складні фактори, пілот повинен для прийняття рішення про виконання посадки прийняти тільки одне правильне рішення, що, на жаль, відбувається не завжди. Тому додатково до існуючого обладнання ЛА потрібно мати бортову інтелектуальну експертну систему (БІЕС), яка б працювала у режимах спостерігача, підказки й активному режимі. Матеріали, наведені у роботі, є базою для створення такої системи. В директивних документах [1; 6] наводяться вимоги ICAO до навігаційних характеристик, розроблених спеціальним комітетом з майбутніх аеронавігаційних систем (FANS). Крім того, комітет розробив нову концепцію забезпечення потрібних навігаційних характеристик (*Required Navigation Performance* — RNP), яка визначає параметр, що характеризує відхилення від заданої лінії шляху, а також точність визначення місцезнаходження вздовж неї на основі відповідного рівня утримання ЛА.

У праці [2] досліджено вплив нецентрованості похибок навігаційних параметрів, отриманих за допомогою супутникових навігаційних систем. Наведено бюджет похибок та тунельну концепцію посадки ЛА. Складові процесу зниження і виконання зльоту і посадки, а також вимоги до цих етапів польоту подано в працях [4; 5; 7]. Відомо, що процес виконання посадки ЛА є методи системного врахування зовнішніх деградуючих факторів і внутрішніх процесів, які діють на етапі заходження на посадку і посадки ЛА як складної організаційної технічної системи, описано в праці [3].

Постановка завдання

Отже, у процесі заходження на посадку, зниження і посадки, особливо в умовах невизначеності, одним із головних є завдання недопущення екіпажем помилок у діях щодо керування процесом, а за появи таких — своєчасно підказати алгоритм правильних дій. Якщо, не-

зважаючи на це, при досягненні ЛА висоти прийняття рішення помилка призвела до того, що виконати посадку неможливо — автоматично відключити екіпаж від керування і перевести літак у режим набору висоти.

Мета роботи полягає у дослідженні впливу зміни параметрів еліпсоїда похибок на витримування траєкторії посадки літака в умовах невизначеності.

Аналіз статистичних даних з аварій і катастроф та причин їх виникнення [1—7] показує, що найбільш небезпечний етап польоту — це посадка літака. Актуальність питання підвищення безпеки виконання цього етапу підтверджується тим, що не лише авіакомпанії, державні установи та держави ведуть пошук способів зниження кількості небезпечних авіаційних подій на етапі посадки, а й ICAO була змушена створити спеціальний комітет з FANS, який розробив нову концепцію RNP [1].

Відомо, що процес виконання посадки ЛА є багатопараметричним і здійснюється у вкрай обмежені проміжки часу, тому особливо важливими параметрами є точність і цілісність. Для етапу посадки під поняттям «точність» будемо розуміти здатність замкненої системи «екіпаж (БІЕС) — літак — зовнішнє середовище — аеродромний світлосигнальний комплекс» витримувати місцезнаходження літака у кожній точці встановленої схеми зниження межі витримування характеристик з імовірністю не менш ніж 10^{-7} за одного заходження на посадку [4].

Під цілісністю будемо розуміти характеристику довіри, з якою можна ставитися до правильності інформації, що її видає замкнена система. Цілісність, для нашого випадку, передбачає здатність системи видавати користувачу своєчасні підказки про те, як діяти в ситуації, що склалася на траєкторії зниження, та обґрунтоване попередження екіпажу про відключення його від управління літаком і переведення його у режим набору висоти у тих випадках, коли подальше безпечне виконання посадки неможливе. Вимоги до показника цілісності системи «екіпаж (БІЕС) — літак — зовнішнє середовище — аеродромний світлосигнальний комплекс» щодо забезпечення польоту за траєкторією зниження і посадки, операцій у зоні аеродрому, початкового етапу заходження на по-

садку та неточного заходження на посадку візьмемо таким, що дорівнює 10^{-5} [1]. База даних з підказок екіпажу формується методом когнітивного моделювання [3]. Процес використання когнітивного моделювання в системному формуванні бази підказок зобразимо у вигляді алгоритму (рис. 1).

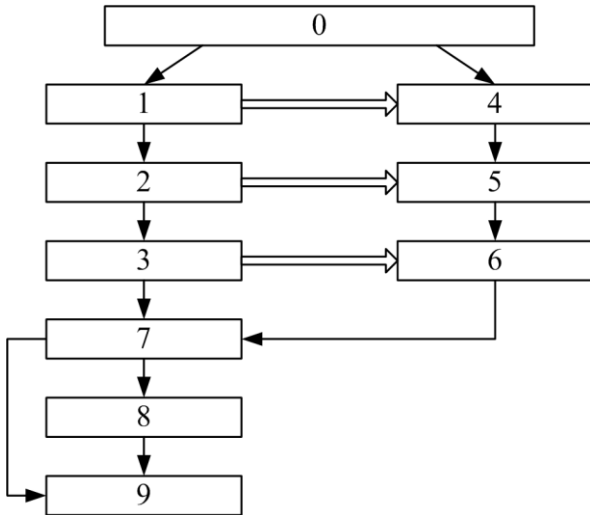


Рис. 1. Формування когнітивної карти проблеми: 0 — ідентифікація проблеми; 1 — визначення списку вершин знакового графа; 2 — визначення відносин причинності між кожною парою вершин; 3 — визначення значень причинності між кожною парою вершин; 4 — визначення узгодженого списку вершин знакового графа; 5 — визначення узгоджених відносин між кожною парою вершин; 6 — визначення узгоджених значень відносин причинності між кожною парою вершин; 7 — побудова групової КК на основі КК окремих ОПР; 8 — оцінка наслідків альтернатив рішень за аналізом знакового графа; 9 — інтерпретація КК і прийняття варіанта підказки

Блоки 1, 2, 3 формують КК одного експерта (командир екіпажу з великим досвідом льотної роботи, який потрапляв у подібні екстремальні ситуації). Блоки 4, 5, 6 формують КК групи експертів, блок 7 формує групову когнітивну карту за КК-ми окремих експертів (якщо це необхідно, якщо ні — вказаний перехід з блоку 3 у блок 8). Блоки 8 і 9 інтерпретації не підлягають.

Належність параметра місцезнаходження ЛА відповідному рівню цілісності і формування підказки у випадку порушення межі цілісності визначають так: порівнюють величини прогнозного довірчого інтервалу і рівня цілісності; за відстанню, що залишилася до досягнення заданої межі цілісності і поточною швидкістю визначають очікуваний час виходу літака за вказані межі. Наведене можна пояснити на прикладі посадкового «тунелю», для якого встановлено внутрішні і зовнішні межі (рис. 2) [4].

Як параметр місцезнаходження ЛА для визначення цілісності координат оберемо кругове положення RK (рис. 2, еліпсоїд):

$$RK = \sqrt{s^2 + h^2 + z^2},$$

де s, h, z — відповідно поздовжнє нахилене, вертикальне і бічне відхилення літака.

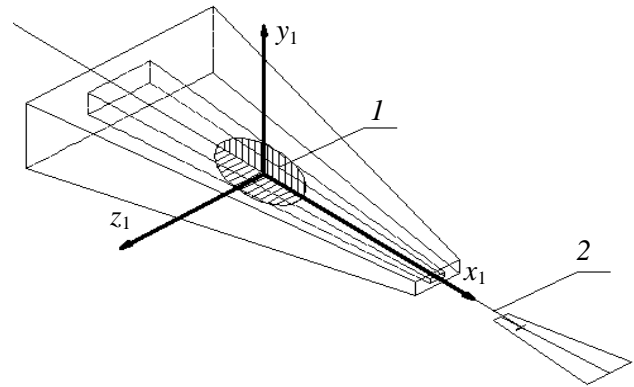


Рис. 2. Посадковий «тунель»: 1 — еліпсоїд відхилення; 2 — глісада

Визначимо колову швидкість зростання відхилення:

$$\Delta RK = \sqrt{\dot{s}^2 + \dot{h}^2 + \dot{z}^2},$$

де $\dot{s}, \dot{h}, \dot{z}$ — відповідно швидкості зміни поздовжнього, вертикального і бічного відхилень.

Довірчий інтервал похибки ΔRK будують так [2]:

- для кожного поточного моменту часу визначають оцінене на попередньому секундному інтервалі математичне сподівання $\tilde{m}_{\Delta RK}$ і середньоквадратичне відхилення $\tilde{\sigma}_{\Delta RK}$;
- визначають прогнозне значення математичного сподівання $\tilde{m}_{\Delta RK}^{PP}$ на заданий час тривоги $T_{\text{трив.зад}}$. Прогноз здійснюють методом лінійного програмування [4];
- визначають прогнозне значення середньоквадратичного відхилення $\tilde{\sigma}_{\Delta RK}^{PP}$ на $T_{\text{трив.зад}}$;
- для заданої довірчої ймовірності ($P = 0,999$) визначають довірчі інтервали:

$$I_{\tilde{m}_{\Delta RK}^{PP}} = \tilde{m}_{\Delta RK}^{PP} + t_{\beta} \cdot \tilde{\sigma}_{\Delta RK}^{PP};$$

$$I_{\tilde{\sigma}_{\Delta RK}^{PP}} = \tilde{\sigma}_{\Delta RK}^{PP} + t_{\beta} \cdot \tilde{\sigma}_{\Delta RK}^{PP};$$

- визначають сумарний довірчий інтервал $I = I_{\tilde{m}_{\Delta RK}^{PP}} + I_{\tilde{\sigma}_{\Delta RK}^{PP}}$.

Сигнал порушення межі цілісності, тобто сигнал на видачу підказки, видається у тому разі, якщо виконується нерівність

$$T_{\text{трив.зад}} < \frac{\Delta_{\text{ц}} - I}{w},$$

де $\Delta_{\text{ц}}$ — поріг цілісності; $\vec{w} = \vec{v} + \vec{u}$ — шляхова швидкість, вектор якої складається з вектора повітряної швидкості \vec{v} і вектора швидкості вітру \vec{u} .

Суть задачі оптимізації вибору дій екіпажу у процесі зниження літака за глісадою до висоти прийняття рішення полягає в тому, щоб у разі порушення межі цілісності, тобто за умови, що хоча б один із параметрів еліпсоїда вийшов за межі зовнішнього контуру внутрішнього «тунелю», знайти з множини потенційних підказок A_i ,

$i = \overline{1, n}$, за діями екіпажу в цій конкретній ситуації, оптимальну для цього інтервалу T_i часу $A_{\text{опт}}(t)$, яка забезпечить найефективніше повернення літака на необхідну траєкторію зниження за обмеженого часу польоту $t_{\text{пол}}$, який не перевищує критичного часу $t_{\text{крит}}$:

$$A_{\text{опт}}(t) = \min \{T_i\} = \min \left\{ \sum_{j=1}^m g_{ij} p_{ij} \right\},$$

$$i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m},$$

де g_{ij} — величина потенційного збільшення параметрів еліпсоїда відхилення літака від заданої траєкторії; p_{ij} — ймовірність виникнення j -го порушення межі цілісності в результаті збільшення i -го параметра еліпсоїда.

У разі, якщо екіпаж на траєкторії зниження не встиг ліквідувати наростаюче збільшення еліпсоїда, тобто ліквідувати наслідки помилкових дій екіпажу (диспетчера) або інших дій зовнішніх факторів, до висоти прийняття рішення на посадку літака і виконання безпечної посадки в таких умовах, то БІЕС відключає екіпаж від подальшого керування зниженням ЛА та переводить його у режим набору висоти.

БІЕС являє собою нейронечіткий регулятор, який працює у трьох режимах:

- у режимі спостерігача — якщо процес зниження і посадки відбувається у штатному режимі і літак на траєкторії не виходить за зовнішні межі внутрішнього «тунелю» (рис. 2);
- у режимі підказки — якщо у процесі зниження літак відхиляється від заданої траєкторії і хоча б один із параметрів еліпсоїда вийшов за зовнішні межі внутрішнього «тунелю»;
- в активному режимі — у разі досягнення хоча б одним із параметрів еліпсоїда зовнішніх меж зовнішнього «тунелю» нейронечіткий регулятор відключає пілотів від керівництва літаком і переводить його в режим набору висоти.

Висновки. Отже, у роботі запропоновано метод оцінювання характеру, напрямку і величини відхилення ЛА від необхідної траєкторії зниження за параметрами еліпсоїда відхилення. Наведено алгоритм оцінки ступеня відхилення. Обґрунтовано режим роботи інтелектуальної системи прийняття рішень та автоматичного керування процесом зниження.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Руководство по требуемым навигационным характеристикам.* — DOC 9613-AN 1937, ICAO, 1999.
2. *Гавриленко Ю.В., Ткачева Т.П.* Влияние нецентрированности погрешностей навигационных параметров, полученных с помощью СНС, на выдерживание границ целостности // *Авиакосмическое приборостроение.* — 2002. — № 5. — С. 11—17.
3. *Казак В.М.* Системний аналіз автоматизованих організаційно-технічних систем / В.М. Казак. — К. : НАУ, 2007. — 181 с.
4. *Казак В.Н., Салимон В.И., Туник А.А.* Системы автоматического и полуавтоматического управления полетом / В.Н. Казак, В.И. Салимон, А.А. Туник. — К. : НАУ, 2001. — 200 с.
5. *Казак В.М., Шевчук Д.О., Кравчук М.П.* Оптимізація процесу виконання літаком посадки в умовах невизначеності з застосуванням методу лінійного програмування // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»* — 2008. — № 616. — С. 73—78.
6. *Оценка и разработка концепции требуемых навигационных характеристик (RNP) для этапов захода на посадку, посадок и вылетов, и их влияние на внедрение системы* // Доклады по пунктам 1 и 3 повестки дня для группы экспертов по всепогодным полетам (AWOP): 15-е совещание, Монреаль, сентябрь—октябрь 1994.
7. *Молоканов Г.Ф.* Точность и надежность навигации летательных аппаратов / Г.Ф. Молоканов. — М. : Машиностроение, 1967. — 201 с.

Стаття надійшла до редакції 12.03.09