

УДК 629.7.017.1(045)

В.М. Казак, д.т.н., проф.
М.П. Кравчук, асп.
Т.В. Будзинська, студ.
В.Ю. Міщерякова, студ.

СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВИКОНАННЯ ПОСАДКИ ЛІТАКА В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

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.

Постановка проблеми

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 на висоті прийняття рішення прийняти тільки одне правильне рішення про виконання посадки, що не завжди відбувається. Тому додатково до існуючого обладнання ЛА потрібно мати бортову інтелектуальну експертну систему (БІЕС) для таких випадків:

- у разі правильних дій екіпажу під час зниження та виконання посадки БІЕС функціонувала б у режимі пасивного спостереження;
- у разі помилкових дій в умовах виникнення особливої ситуації у польоті чи правильних, але недостатньо активних дій, формувала б підказку з алгоритму дій у ситуації, що склалася;
- якщо екіпаж не використовував би безперервні підказки, у результаті чого посадка ЛА була б неможливою, а екіпаж прийняв би рішення і продовжував посадку, то на висоті прийняття рішення БІЕС відключала б екіпаж від керування та переводила ЛА у режим набору висоти.

Матеріали, наведені у роботі, є базою для створення такої системи.

Аналіз публікацій

У директивних документах [1; 2] наведено вимоги ІКАО 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 роботі [3] 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, так вимоги до цих етапів польоту подано в роботах [4; 5]. Процес виконання посадки ЛА є багатопараметричним процесом. Крім того, він здійснюється у вкрай обмежені проміжки часу, тому для успішної посадки ЛА екіпаж повинен безперервно прогнозувати велику кількість параметрів, які забезпечують його точне торкання до маркера злітно-посадкової смуги (ЗПС).

Оптимізації цього процесу в умовах невизначеності присвячено роботу [6]. У ній наведено математичну модель і алгоритм прогнозування точки торкання ЛА ЗПС на посадці за дев'ятьма змінними параметрами. 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 роботі [7].

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, незважаючи 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 можливих способів підвищення безпеки виконання посадки літака в умовах невизначеності.

Виклад основного матеріалу

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, але й ICAO була змушена створити спеціальний комітет з FANS, який розробив нову концепцію RNP [1].

Концепція RNP в концептуальному плані встановила для районів повітряного простору групу з чотирьох параметрів, які у сукупності визначають умови навігації:

- точність;
- цілісність;
- неперервність;
- готовність.

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, яку видає замкнена система.

Цілісність передбачає здатність системи видавати користувачу своєчасні й обґрунтовані підказки про те, як діяти у ситуації, що склалася на траєкторії зниження, та обґрунтоване попередження про відключення екіпажу від керування літаком і переведення його у режим набору висоти в тих випадках, коли екіпаж до висоти прийняття рішення не усунув наслідки помилкових дій, дії зовнішніх факторів або внутрішніх процесів, що й призвело до неможливості продовження безпечного виконання посадки. 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 посадку та неточного заходження на посадку візьмемо таким, що дорівнює 10^{-5} [1].

База даних з підказок екіпажу формується методом когнітивного моделювання [7].

Когнітивне моделювання у цьому випадку використовується як спосіб підтримання ухвалення підказки.

У зв'язку з цим виникають три проблеми:

1) оцінювання підказки: якщо в когнітивній карті (КК) є кілька змінних (концептів), які визначають різні варіанти підказок, природно постає питання: які змінні (тобто підказки) мають бути прийняті для цієї конкретної ситуації в повітрі, а які – відкинуті;

2) передбачення наслідків і ухвалення підказок: – якщо значення одних змінних буде збільшено, а інших зменшено, що відбудеться зі значеннями решти змінних;

– якими будуть наслідки зміни знака в одній із змінних;

– якими будуть наслідки, якщо виключити одні змінні та ввести інші, для цього потрібно згенерувати нову КК і перерахувати її;

3) пояснення результатів і ухвалення підказки. Зазвичай використання КК вимагає для ухвалення підказки додаткового аналізу й інтерпретації. Процес використання когнітивного моделювання в системному формуванні бази підказок зобразимо у вигляді алгоритму (рис. 1).

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 КК за КК окремих експертів, якщо це необхідно, якщо ні – вказаний перехід з блоку 3 у блок 8. Блоки 8 і 9 інтерпретації не підлягають.

Приналежність 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 поточної швидкості, 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].

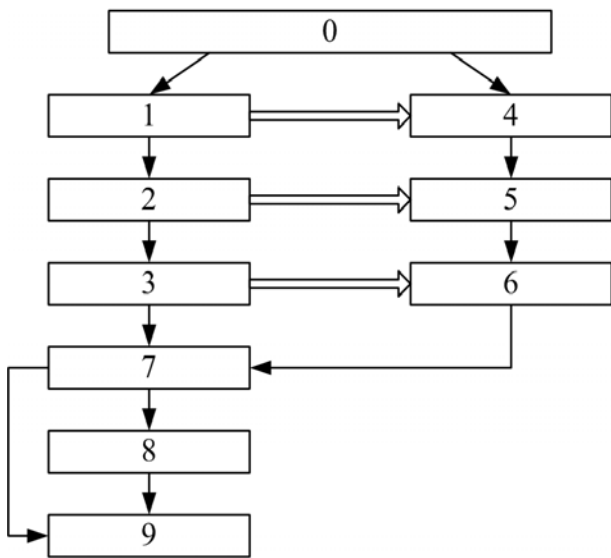


Рис. 1. Формування КК проблеми:

- 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;
- 8 – оцінка наслідків альтернатив рішень за аналізом знакового графа;
- 9 – інтерпретація КК і прийняття варіанта підказки

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

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

де s, h, z – позовжнє нахилене, вертикальне і бічне відхилення літака відповідно.

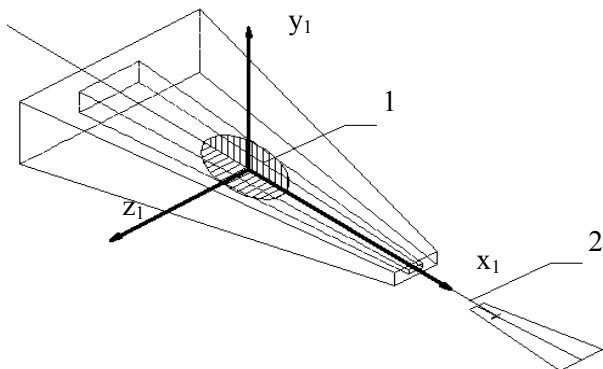


Рис. 2. Посадковий «тунель»:

- 1 – еліпсоїд відхилення;
- 2 – глісада

Визначимо колову швидкість зростання відхилення:

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

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

Довірчий інтервал похибки ΔR_K будують так [3]:

- для кожного поточного моменту часу визначають оцінене на попередньому секундному інтервалі математичне сподівання $\tilde{m}_{\Delta R_K}$ і середньоквадратичне відхилення $\tilde{\sigma}_{\Delta R_K}$;

- прогнозне значення математичного сподівання $\tilde{m}_{\Delta R_K}^{PP}$ визначають на заданий час тривоги $T_{\text{трв. зад}}$ методом лінійного програмування [4];

- прогнозне значення середньоквадратичного відхилення $\tilde{\sigma}_{\Delta R_K}^{PP}$ на заданий час тривоги визначають $T_{\text{трв. зад}}$;

- для заданої довірчої ймовірності ($P = 0,999$) визначають довірчі інтервали:

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

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

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

Сигнал порушення межі цілісності, тобто сигнал на видачу підказки, видається в тому випадку, якщо виконується нерівність

$$T_{\text{трв. зад}} < \frac{\Delta_{\Pi} - I}{w},$$

де

Δ_{Π} – поріг цілісності;

$\bar{w} = \bar{v} + \bar{u}$ – шляхова швидкість, вектор якої складається з вектора повітряної швидкості \bar{v} і вектора швидкості вітру \bar{u} .

Суть задачі оптимізації вибору дій екіпажу у процесі зниження літака за глісадою до висоти прийняття рішення полягає у 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 $A_i, i = 1, n$, за діями екіпажу в цій конкретній ситуації, оптимальну для цього інтервалу T_i часу $A_{\text{опт}}(t)$, яка забезпечує найефективніше повернення літака на необхідну траєкторію зниження за обмеженого часу польоту t_n , який не перевищує критичний час $t_{\text{кр}}$:

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

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

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.

Бортова інтелектуальна експертна система являє собою нейронечіткий регулятор, який працює у трьох режимах:

– у режимі спостерігача, якщо процес зниження і посадки протікає 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, коли у разі досягнення хоча б одним із параметрів еліпсоїда зовнішніх меж зовнішнього «тунелю» нейронечіткий регулятор відключає пілотів від керівництва літаком і переводить його у режим набору висоти.

Висновки

Запропоновано метод оцінювання характеру, напрямку і величини відхилення ЛА від необхідної траєкторії зниження за параметрами еліпсоїда відхилення. Наведено алгоритм оцінювання 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. *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, сент.–окт. 1994.
3. *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.
4. *Казак В.Н., Салимон В.И., Туник А.А.* Системы автоматического и полуавтоматического управления полетом. – К.: НАУ, 2001. – 200 с.
5. *Молоканов Г.Ф.* Точность и надежность навигации летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1967. – 201 с.
6. *Казак В.М., Шевчук Д.О., Кравчук М.П.* Оптимізація процесу виконання літаком посадки в умовах невизначеності з застосуванням методу лінійного програмування // *Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка»*. – 2008. – № 616. – С. 73–78.
7. *Казак В.М.* Системний аналіз автоматизованих організаційно-технічних систем. – К.: НАУ, 2007. – 181 с.

Стаття надійшла до редакції 10.11.08.