

В. В. Кабанячий¹, *д.т.н., професор*

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО СЕРТИФІКАЦІЇ ДИНАМІЧНИХ СТЕНДІВ КОМПЛЕКСНИХ ТРЕНАЖЕРІВ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

En

On the basis of motion cueing problem, which is reduced to synthesis of program signal that minimizes function evaluating a coincidence error of perception of motion cues on aircraft and flight simulator, and takes into account that movement of motion system is within operating movement range of motion system, motion system characteristic is within permissible determination region of motion system characteristics, that is, region within which motion normalized quality of motion system is ensured, and motion cue sign on flight simulator coincides with motion cue perceived on aircraft, based on system approach the problem of certification of motion system of aircraft flight simulators was formulated, taking into account:

- method of motion cueing along separate degrees of freedom that provides motion cueing as close as it is possible to real one in terms of characteristic signs (character and direction of motion perception, time of motion perception beginning on aircraft and flight simulator, intensity and duration of motion cues);
- maximum use of energy and structural resources of motion system;
- determination of motion system characteristics complex, which evaluate its suitability to motion cueing, and their normalization, that is, determination of permissible determination region of motion system characteristics.

This approach takes into account the motion cueing method according to separate degrees of freedom, optimum use of both structural and energy resources of motion systems, and a set of motion system characteristics. The developed approach was used during design, testing and certification of flight simulators of aircraft Ilushin-96-300 and Tupolev-204 (Russia, Penza' modeling design bureau), Antonov-74TK-200 and Antonov-140 (Ukraine, state enterprise «Antonov»).

Ru

На основе системного подхода сформулирована задача сертификации динамических стендов комплексных тренажеров воздушных судов. Этот подход учитывает метод имитации акселерационных воздействий по отдельным степеням свободы, оптимальное использование конструктивных и энергетических ресурсов динамических стендов, совокупность характеристик динамических стендов. Разработанный подход использовался при разработке, испытаниях и сертификации комплексных тренажеров самолетов Ил-96-300 и Ту-204 (Россия, Пензенское конструкторское бюро моделирования), Ан-74TK-200 и Ан-140 (Украина, ГП «Антонов»).

¹ НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», кафедра авіакосмічних і роботизованих систем

Вступ

Найважливішим технічним засобом навчання пілотів є комплексний тренажер повітряного судна (ПС) (рис. 1). Ефективність використання комплексних тренажерів повітряного судна визначальним чином впливає на безпеку й регулярність польотів та залежить від рівня їх досконалості, і, зокрема, від рівня досконалості динамічного стенду (ДС). Останній є однією з найважливіших складових комплексних тренажерів повітряного судна. Динамічні стенди у складі комплексних тренажерів повітряного судна призначені для імітації акселераційних впливів, під якими розуміються фізичні дії, що обумовлені положенням і рухом у просторі (ПС) та які сприймаються вестибулярною системою людини. Для імітації акселераційних впливів кабіна комплексного тренажера повітряного судна встановлюється на ДС. Переміщенням ДС імітуються високочастотні й низькочастотні акселераційних впливів. В Україні є потреба розробки комплексних тренажерів повітряного судна під розроблювані літаки ДП «Антонов» й модернізації існуючого парку комплексних тренажерів повітряних суден, які б відповідали сучасним вимогам. У зв'язку з цим важливою є проблема сертифікації ДС у складі комплексних тренажерів повітряних суден.



Рис. 1. Світлина сучасного тренажера

Аналіз останніх досягнень та публікацій

Норми придатності комплексних тренажерів повітряних суден, у тих країнах, де вони розробляються і виготовляються, є, але у відкритому доступі публікації щодо сертифікації ДС відсутні. В Україні під час сертифікації комплексних тренажерів повітряних суден користуються документом ІКАО [1] і національними правилами [2], в яких норми придатності та методи визначення відповідності відсутні.

Постановка задачі

Вже на етапі розробки комплексного тренажера повітряного судна виникає проблема формулювання вимог до ДС. Тому важливе оптимальне формулювання, яке б, з одного боку, висувало мінімальні вимоги до ДС, а, з іншого боку, відповідно якого ДС відповідали найвищим кваліфікаційним нормам. Метою даної роботи і є формулювання оптимальної задачі сертифікації ДС.

Викладення основного матеріалу

Забезпечити ефективність комплексного тренажера повітряного судна, яка виражається у адекватності функцій пілота на тренажері і ПС, можна лише у разі повної відповідності (подібності) тренажера і ПС, тобто за повне фізичне моделювання динамічних властивостей ПС й умов польоту. Через економічні обмеження комплексні тренажери повітряних суден не можуть забезпечити повне фізичне моделювання динамічних властивостей ПС за усіма каналами сприйняття пілота. Тому під час створення ДС гостро стоїть питання про вимоги щодо них. Відповідь на це питання залежить від задач пілотування, які повинен буде вирішувати пілот на комплексному тренажері повітряного судна. Для оцінки якості ДС пілот і тренажер повинні розглядатися як єдине ціле й систему «пілот – ПС» у повітрі необхідно порівнювати із системою «пілот – тренажер» на землі.

Під час виконання будь-якого завдання пілот сприймає велику кількість акселераційних впливів. Частина цих акселераційних впливів є вкрай необхідною для виконання завдань пілотування. Окремі акселераційні впливи можуть підсилювати критичну інформацію, підвищувати якість імітації акселераційних впливів і ефективність комплексного тренажера повітряного судна. Інші акселераційні впливи можуть бути надлишковими, мало корисними або зайвими й вступати у конфлікт із іншими інформаційними потоками. Відповідно психофізіологічній теорії сприйняття Д. Д. Гібсона [3] внутрішнє уявлення зовнішнього середовища ґрунтується на сукупності характеристичних ознак, сприймана інформація про яке у значній мірі надлишкова. Під час обробки мозок, завдяки його зростаючій

вибірковості, надлишкова інформація послідовно крок за кроком скорочується [3].

Бержерон визначив [4], що ефективність комплексного тренажера повітряного судна не погіршуються за зменшення рівня відповідності між реальними акселераційними впливами на ПС й імітованими на тренажері до 50%, 30 – 40% рівень відповідності забезпечує такі ж результати, як у разі 100% рівні відповідності (наприклад, ДС із шириною смуги частот від 0,016 Гц до 2,5 Гц не можна відрізнити від ДС із набагато вужчою шириною смуги частот від 0,08 Гц до 1 Гц). Очевидно, що економічно недоцільно імітувати ті акселераційні впливи, що надлишкові, зайві або будуть проігноровані.

Виходячи із особливостей сприйняття людиною руху, на підґрунті теорії сприйняття Д. Д. Гібсона [3] були сформульовані положення [5], що слугують засадами для створення високоякісних імітаторів акселераційних впливів:

- повинні імітуватися характеристичні ознаки сприйманого акселераційного впливу: час, напрям, інтенсивність і тривалість сприйняття;
- характер і напрям сприйняття руху на тренажері мають відповідати реальним;
- розбіжність між часом початку сприйняття руху на ПС та тренажері повинна бути щонайменшою і знаходитися у межах, які залежать від вимог чинних норм придатності тренажерів;
- інтенсивність і тривалість імітованих акселераційних впливів повинні бути пропорційні інтенсивності й тривалості акселераційних впливів, що виникають у реальному польоті.

Розроблені високоефективні способи імітації акселераційних впливів [6, 7], що спрямовані на оптимальне використання наявних конструктивних ресурсів, використовують у процесі імітації акселераційних впливів складніші рухи ДС порівняно із традиційними способами. Це породжує проблему уникнення виникнення хибних акселераційних впливів, сприйманих пілотами. Ця проблема може бути вирішена у процесі сертифікації ДС шляхом врахування особливостей прийнятого способу імітації акселераційних впливів.

Для отримання високої якості імітації акселераційних впливів ДС повинен із достатньою точністю відтворювати рухи, задані програмним сигналом. Виникаюча проблема впливу характеристик ДС на якість імітації акселераційних впливів [1, 4, 8] включає дослідження характеристик для визначення їхньої сукупності, що визначають придатність ДС до імітації акселераційних впливів, встановлення нормованих значень характеристик.

Функціонування ДС можна розглядати [9] як реакцію на вхідні програмні сигнали і початкові умови. Характер реакції визначається кінцевою швидкістю протікання процесів, тобто динамічними властивостями. Оскі-

льки ДС призначений для точного відтворення програмних сигналів, то динамічні властивості відіграють негативну роль. Реакція ДС складається із корисних сигналів – сигналів, перетворення яких є його призначенням, – і завад – сигналів, які заважають ДС виконувати свої функції і є відхиленням вихідного сигналу реального ДС від вихідного сигналу ідеального. Під останнім розуміється такий ДС, який абсолютно точно здійснює потрібне перетворення корисного програмного сигналу. Визначення завад дозволяє оцінити якість.

Поняття якості ДС є багатограним і включає сукупність показників якості, що визначають придатність ДС імітувати акселераційні впливи і характеризують узагальнений стан ДС, а для оцінки якості ДС необхідне урахування сукупності характеристик ДС, що визначають його функціонування за певних умов. Так, пілот дуже чутливий до порушень безперервності або поштовхів. Тому однією із найгостріших проблем є недостатня плавність переміщення ДС, зумовлена такими чинниками, як люфти, тертя у підшипниках й ущільненнях гідроприводів, пороги чутливості у золотниках, момент інерції, ступінь демпфірування коливань, жорсткість і резонансні частоти коливань, запирання гідроциліндра у випадку, якщо програмний сигнал дорівнює нулю тощо.

Моделювання таких акселераційних впливів, як у реальному польоті, можливе лише за точне відтворення просторового руху ПС. З іншого боку, через конструктивні та економічні чинники сучасні ДС мають певні обмеження та забезпечують імітацію акселераційних впливів лише у цих межах [8]. Перше обмеження обумовлене кількістю степенів вільності ДС. З метою зменшення витрат створюють ДС із різною кількістю степенів вільності. Для повної імітації просторового руху ПС потрібен шестистепеневий ДС. Друге обмеження викликане суттєвими обмеженнями конструктивних робочих діапазонів переміщень ДС за лінійними степенями вільності. Внаслідок цього з'являються обмеження робочих діапазонів переміщень ДС за кутовими степенями вільності. Як показують деякі розрахунки [10], під час використання традиційних способів імітації акселераційних впливів потрібні ДС із довжиною гідроциліндрів до 10 м. На шляху побудови таких ДС виникають значні технічні проблеми, які, враховуючи масу кабін ПС, для комплексних тренажерів повітряного судна наразі практично неможливо розв'язати. Третє обмеження обумовлено робочою смугою частот ДС.

Імітація акселераційних впливів представляє собою замкнений процес, що полягає у використанні спеціальних законів керування, у яких на підґрунті кінематичних параметрів руху ПС синтезуються такі програмні керуючі сигнали ДС, щоб імітовані акселераційні впливи були б близькими за сприйняттям до реальних акселераційних впливів за тих самих керуючих діях.

Завдяки наявності системного чинника – якості імітації акселераційних впливів (під якою розуміється ступінь наближення сприйняття руху на комплексному тренажері повітряного судна й ПС) – проблема сертифікації ДС може бути сформульована на підґрунті системного підходу.

Сприйняття пілотом акселераційних впливів оцінюється функцією сприйняття руху (ФСР), побудованою на засадах моделей сприйняття руху. Знак ФСР тренажера повинен бути:

$$\text{sign } \Omega_{\text{КТПС}} = \begin{cases} \text{sign } \Omega_{\text{ПС}} & \left| \begin{array}{l} |\Omega_{\text{ПС}}| \geq \Omega_{\text{п}}, |\Omega_{\text{ПС}}| < \Omega_{\text{п}}, |\Omega_{\text{КТПС}}| < \Omega_{\text{п}}; \\ |\Omega_{\text{ПС}}| \geq \Omega_{\text{п}}, |\Omega_{\text{КТПС}}| \geq \Omega_{\text{п}}; \end{array} \right. \\ \pm \text{sign } \Omega_{\text{ПС}} & \left| \begin{array}{l} |\Omega_{\text{ПС}}| \geq \Omega_{\text{п}}, |\Omega_{\text{ПС}}| \geq \Omega_{\text{п}}, |\Omega_{\text{КТПС}}| < \Omega_{\text{п}}, \end{array} \right. \end{cases}$$

де $\Omega_{\text{КТПС}}$ – ФРС комплексного тренажера судна,

$\Omega_{\text{ПС}}$ – ФРС ПС,

$\Omega_{\text{п}}$ – поріг сприйняття акселераційних впливів.

Для оцінки сприйманих пілотом акселераційних впливів у якості критерію природно використовувати функціонал, що оцінює помилку збігу сприйняття акселераційних впливів на ПС та тренажері:

$$J = \int_0^T \left| \Omega_{\text{ПС}}(t) - \Omega_{\text{КТПС}}[u(t)] \right| dt \quad \left| \Omega_{\text{ПС}}(t) \right| > \Omega_{\text{п}},$$

де u – програмний сигнал, а задачу імітації акселераційних впливів звести до синтезу програмного сигналу, що мінімізує цей функціонал:

$$J^*(u) = \min \Rightarrow u^*(t) \\ s \in s^* \\ q \in \Omega_q \\ \text{sign } \Omega_{\text{КТПС}}$$

де s – переміщення ДС;

s^* – обмежений робочий діапазон переміщення ДС;

q – характеристики ДС;

Ω_q – допустима область визначення характеристик ДС, тобто область, у

межах якої забезпечується нормована якість руху ДС.

Із постановки задачі імітації акселераційних впливів на тренажері випливає, що сертифікація ДС на засадах системного підходу повинна враховувати:

- метод імітації акселераційних впливів за окремими степенями вільності, що забезпечує імітацію акселераційних впливів максимально наближених до реальних за характеристичними ознаками;
- максимальне використання енергетичних і конструктивних ресурсів ДС;

– визначення сукупності характеристик ДС, які оцінюють придатність ДС до імітації акселераційних впливів, та їхнє нормування, тобто визначення допустимої області визначення характеристик ДС.

Висновки

Сформульована оптимальна задача сертифікації ДС. У подальшому необхідно на засадах системного підходу визначити сукупність характеристик ДС та їхні нормовані значення, відповідно яким ДС відповідатиме найвищим кваліфікаційним нормам.

Список використаної літератури

1. Руководство по критериям квалификационной оценки пилотажных тренажеров. Док. 9625 AN/938 – ИКАО. – 1995 г. – 68 с.
2. Правила сертифікації авіаційних тренажерів, затверджені наказом Міністерства транспорту України № 529 від 06.08.2002 та зареєстровані у Міністерстві юстиції України 21.08.2002 р. за N 687/6975.
3. *Gerlach O. H.* Developments in Mathematical Models of Human Pilot Behaviour// *Aeronautical Journal*. – 1977. – v. 81. – № 799. – P. 293-305.
4. *Gundry A. J.* The Effectiveness and Sophistication of Motion Cues Provided in Flight Simulators: Coolect. Pap. Symp. 'Human Orientation and Simulation', Loughborough, 1977. – London. – 1977. – P. 35-41.
5. *Кабанячий В. В.* Імітація акселераційних діянь на авіаційних тренажерах// *Вісник НАУ*. – К.: НАУ. – 2001 р. – № 2. – С. 96-102.
6. Пат. 20060А Україна/ Спосіб управління приводними ланками шести-ступеневого динамічного стенда опорного типу/ Сотников Д. О., Кабанячий В. В. (Україна) – №95041711; Заявл. 14.04.95; Опубл. 25.12.97, Бюл. № 6.
7. Пат. 23144А Україна/ Спосіб управління приводними ланками шести-ступеневого динамічного стенда опорного типу при формуванні кутових переміщень платформи/ Сотников Д. О., Кабанячий В. В. (Україна) – №97031459; Заявл. 28.03.97; Опубл. 30.06.98, Бюл. № 3.
8. *Albery W. B., Gum D. R., Hunter E. D.* Future Trends and Plans in Motion and Force Simulation Development in the Air Force// *Proc. AIAA Visual and Motion Simulat. Conf.* – New York, N.Y. – 1976. – P. 140-144.
9. *Евланов Л. Г.* Контроль динамических систем. – М.: Наука. – 1979. – 431 с.
10. *Базилевский А. Н., Гузий А. Н.* Моделирование поля информации в авиационных тренажерах. – К.: Общество «Знание» УССР. – 1975. – 55 с.