

УДК 681.518 (043.2)

С.В. Павлова, В.І. Чепіженко, А.В.Скрипець

**АНАЛІЗ ЗБУРЕНЬ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ  
НА ЕРГАТИЧНУ СИСТЕМУ «ПІЛОТ – ЛІТАК»**

*Розглянуто збурення ергатичної системи «пілот – літак» і принцип якісно-образного відображення інформації.*

На сучасному етапі розвитку авіації при вирішенні задач пілотування і літаководіння дедалі значущою стає задача автоматизації керування польотом.

Якщо на ранніх стадіях розвитку авіаційної техніки автоматичні пристрої виконували нескладні функції пілотування (виправлення кутових відхилень літака, стабілізацію окремих режимів польоту, компенсацію нестійкості коротко- і довгоперіодичних рухів літака та ін.), то зараз автоматичні системи вирішують набагато складніші задачі навігації, астронавігації, адаптації характеристик літака до виконання оперативних задач, автоматичного керування режимами польоту, безпосереднього керування аеродинамічними силами, інваріантного керування тощо. Впровадження автоматичних систем у контур керування літальним апаратом (ЛА) позитивно позначилося на якості функціонування ергатичних систем «пілот – літак». Це виявляється у вивільненні пілота від значної кількості керуючих і контролюючих операцій.

Проте автоматизація керування польотом пов'язана з підвищенням безпеки польотів, обумовленої, в свою чергу, внутрішніми особливостями ергатичної системи «пілот – літак».

Одним із факторів, що впливають на безпеку польотів, є відмови ергатичної системи «пілот – літак», які виникають в результаті впливу збурень на неї. Збурення, що діють на ергатичну систему «пілот – літак», можуть бути як внутрішніми стосовно даної системи, так і зовнішніми.

Розглянемо фактори й умови, що викликають зміни льотно-технічних характеристик ЛА. До першої групи факторів, які відносяться до виробництва й експлуатації ЛА, належать:

- якість виробництва ЛА (шорсткість поверхонь, взаємне розташування окремих агрегатів крила, залежних від нівелювальних допусків);

- якість технічного обслуговування ЛА, стан поверхні планера (забоїни на обшивці, грубе фарбування, виступи в потік повітря оглядових панелей, люків та ін.), зміни нівелювальних параметрів планера і силової установки, що сталися в результаті перевищення допустимих навантажень (грубі посадки, низька кваліфікація екіпажа) [1], відхилення регулювання органів керування, порушення герметизації ущільнень дверей, люків та ін.;

- незворотні процеси (залишкова деформація крил, фюзеляжу, порушення кутів установки крил, органів керування і механізації, що потребує для балансування ЛА в польоті додаткового відхилення органів керування);

- природне старіння ЛА (накопичення залишкових деформацій і дефектів конструкції, деградація планера, силової установки й інших агрегатів ЛА, погіршення якості зовнішньої поверхні внаслідок спрацювання кріпильних деталей і елементів конструкції під ними, наявність тріщин, забоїн та ін.).

Друга група факторів пов'язана з виконанням конкретної задачі польотів і виникаючими при цьому відмовами [2]:

- пересування екіпажа і пасажирів;
- скидання вантажів;
- відмови механізації;

– відмови інших систем літака, що побічно впливають на його льотно-технічні характеристики, такі, як система автоматичного керування, системи вироблення палива, системи центрування, системи керування.

Розглянуті фактори відносяться до внутрішніх збурень системи. До них також потрібно віднести помилки екіпажу [3], що виникають у результаті:

- стомлення;
- великих психофізіологічних навантажень;
- незадовільної ергономічності обладнання на робочому місці пілотів (система відображення інформації, органи керування);
- стресу пілота в надзвичайних ситуаціях.

Найбільша кількість помилок буває:

- при здійсненні посадки в складних погодних умовах, коли спостерігається «ефект очікування» у пілота;
- у рівномірному горизонтальному польоті, коли увага пілота притупляється внаслідок монотонності польоту;
- у разі виконання пілотом на якомусь етапі польоту такої кількості операцій, яка виходить за межі можливостей людини;
- при низькій компетентності екіпажу;
- у результаті дії синдрому економічної (максимальної) вигоди, коли порушуються правила виконання польотів, метеомінімуми, перевантаження або неправильне завантаження ЛА, недозаправка паливом, помилкові дії екіпажу щодо вибору експлуатаційних режимів польоту, прийняття невиправданих і ризикованих рішень при виконанні комерційних рейсів;
- при прояві синдрому безпеки, що призводить до невиправданих енергійних маневрів для запобігання небезпеці (спостерігається при гострому дефіциті часу для прийняття рішення).

До зовнішніх збурень ергатичної системи «пілот–літак» відносяться:

- вітер (горизонтальні і вертикальні пориви вітру і їхні градієнти в просторі і часі);
- дощ (маса, швидкість і напрям руху водяного потоку);
- влучення в спутний слід іншого літака;
- зміни температури й атмосферного тиску на різних висотах;
- обледеніння;
- відмови двигунів внаслідок влучення в них сторонніх предметів;
- ушкодження обшивки фюзеляжу (зрив оглядових люків) та ін.

Безпека польотів літаків є складною комплексною проблемою, що охоплює всі стадії проектування і створення літака та його систем, експлуатації і технічного обслуговування літаків льотним і наземним персоналом, керування повітряним рухом, метеообслуговуванням на маршрутах тощо.

Останнім часом істотно зросла роль автоматизації керування польотом у забезпеченні стійкості, керованості, маневреності і безпеки польоту літака. Розвиток автоматизації системи керування ним дозволяє забезпечити таку керованість літака, при якій під час і після збурень, що порушують льотно-технічні характеристики, літак може зберегти задовольняючу вимоги маневреність і безаварійно закінчити політ, не пред'являючи додаткових вимог до рівня підготовки пілота, тобто зберігаючи його звичні навички пілотування.

Проте автоматизація керування, крім позитивних, має і негативні наслідки. Здебільшого це стосується психологічної діяльності пілота як частини ергатичної системи, а саме:

- повна автоматизація керування літаком видозмінює основні складові діяльності пілота, починаючи з мотивів, цілей і закінчуючи елементарними робочими рухами;
- в автоматизованому польоті із загального потоку інформації вилучається таке джерело відомостей про динаміку поведінки літака, як сигнали від рухового сигналізатора;
- в автоматизованому польоті знижується значущість контролю показань пілотажних приладів як через головну роль узагальнених пілотажних сигналів, так і в зв'язку з тим, що цей контроль втрачає свій прагматичний смисл;

– особливістю діяльності пілота при автоматизації керування рухом літака є перебування його в психологічному стані очікування.

Отже, виникає імовірність порушення одного з основних принципів теорії ергатичних систем – принципу активного керування. Тобто автоматизація діяльності пілота, з одного боку, поліпшує характеристики літака як об'єкта керування і частково розвантажує пілота, а з іншого боку, негативно впливає на його психофізіологічний стан. Для усунення цього негативного впливу передбачається поділ функцій між пілотом і автоматикою, зокрема дихотомічний принцип організації ергатичної системи, і організація інформаційних високоінтелектуальних інтерфейсів між літаком і людиною.

Коли на систему «пілот – літак» діють збурення, автоматичний пристрій виконує частину керування для компенсації цих збурень, про що пілот може і не знати. У більшості випадків це й обумовлює виникнення дисбалансу можливостей в ергатичній «пілот – літак». Для усунення цього дисбалансу можливостей пропонується подавати пілоту інформацію як про поточне керування в області припустимих керувань, так і про поточні координати стану літака в області припустимих станів. Ця проблема повинна вирішуватися не тільки на рівні розробки нових автоматизованих систем керування ЛА, а й на рівні ергатичному з урахуванням психофізіологічних можливостей пілота і із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій.

Найзручнішим для пілота є якісно-образне кодування інформаційного інтерфейсу [4]. Під якісно-образним принципом формування пілотажно-навігаційної інформації слід розуміти формування інформаційної моделі польоту у вигляді деякого графічного образу, який дозволяє на підставі якісного аналізу визначити енергетичний стан ЛА і необхідне керування [5].

Синтез інформаційного інтерфейсу доцільно проводити на основі рівнянь руху ЛА.

Для моделювання функціонування даного інтерфейсу модель ЛА, задана в нелінійному вигляді, буде занадто складна і громіздка. Це обумовлено складністю математичного опису впливу збурень на динамічні характеристики ЛА. Тому доцільно використовувати лінеаризовану модель руху ЛА, яку у загальному матричному вигляді можна подати так:

$$X + AX = (1 - \xi_{ви})BU + Ff + (\xi_{ви})B_v U_v, \quad (1)$$

де  $X$  – вектор координат стану ЛА;  $A$  – матриця коефіцієнтів координат стану ЛА;  $\xi_{ви}$  – символ Кронекера:  $\xi_{ви} = 1$  при відмові  $i$ -го органа керування;  $\xi_{ви} = 0$  при відсутності відмови;  $B$  – матриця коефіцієнтів координат керування;  $U$  – вектор координат керування;  $F$  – матриця коефіцієнтів координат збурень;  $f$  – вектор координат збурень;  $B_v$  – матриця коефіцієнтів координат відмов;  $U_v$  – вектор координат відмов.

Особливість рівняння (1) полягає в тому, що кожний коефіцієнт матриць  $A$  і  $B$  є сумою базового значення коефіцієнта вектора координат стану ЛА і відповідного приросту, який обумовлено впливом збурень і відмов на координати стану.

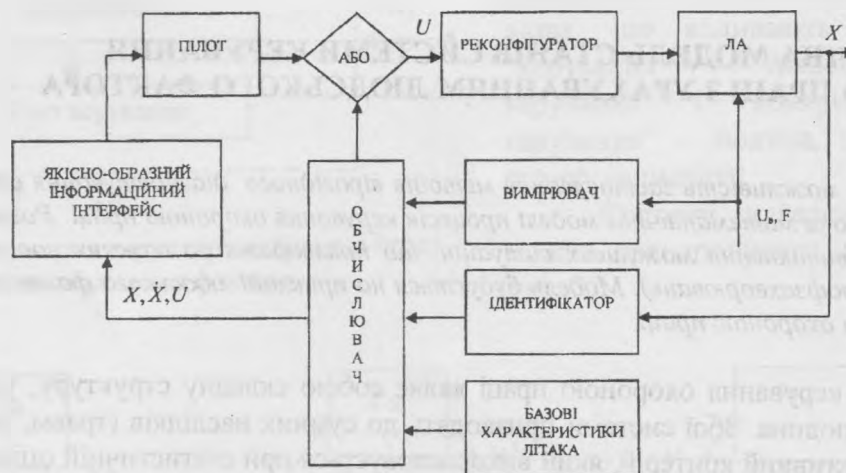
Результати моделювання даного інформаційного інтерфейсу показали, що найбільш оптимальна розмірність рівняння (1) не повинна перевищувати трьох. Це обумовлено психофізіологічними обмеженнями людини-оператора.

На основі аналізу діяльності пілота було встановлено, що енергетичний стан ЛА для більшості режимів польоту визначається трьома узагальненими координатами:  $V$  – похідна швидкості,  $\theta$  – похідна кута нахилу траєкторії (поворотність ЛА в горизонтальній площині),  $\Psi$  – похідна шляхового кута (поворотність ЛА у вертикальній площині).

Поточне і необхідне керування визначаються на основі якісного аналізу образу, який пред'являється пілоту в координатах  $(V, \theta, \Psi)$ , з урахуванням обмежень, що накладаються для кожного конкретного режиму польоту на вектори  $X$  і  $U$ .

Синтез таких інтерфейсів припускає наявність на борту літака апаратури, що дозволяє вимірювати вплив на ЛА внутрішніх і зовнішніх збурень ( $U, F$ ).

Архітектура системи, яка синтезує якісно-образний інтерфейс, показано на рисунку.



Структурна схема системи, яка синтезує якісно-образний інтерфейс

Використання інформаційного інтерфейсу, сформованого за якісно-образним принципом, має ряд особливостей:

- даний інтерфейс дозволяє знизити кількість інформаційних сигналів, які пілот повинен обробити;

- кожна точка інформаційного образу характеризується координатами керування (швидкістю польоту, тангажем, кутом атаки), тому з'являється можливість відображення балансувальних і поточних значень цих координат;

- такий інтерфейс дозволяє пілоту опрацювати інформацію на евристичному (образному) рівні.

Таким чином, з'являється можливість компенсувати збурення не тільки із застосуванням автоматичних пристроїв, включених в контур керування, але і на рівні інформаційного каналу людини-оператора, оскільки наявність необхідної інформації скорочує час, необхідний людині для прийняття рішення, та підвищує надійність оператора як ланки ергатичної системи «пілот – літак».

### Список літератури

1. Баринов В.А., Федоренко Г.А. Приближенная оценка влияния отклонения геометрических параметров крыла и оперения от теоретических на коэффициент сопротивления дозвуковых самолетов // Учен. зап. ЦАГИ. Т. XXII, 2. – М., 1991. – С. 80.

2. Павлова С.В. Анализ возможных деформаций нелинейной системы и методология их преодоления // Проблемы управления и информатики. – К.: НАН Украины, 1999. – №6. – С.31–39.

3. Пономаренко В.А., Лапа В.В. Профессия – летчик: Психологические аспекты / Под ред. Ю.П. Доброленского. – М.: Воениздат, 1985. – 136 с.

4. Завалова Н.Д., Ломов Б.Ф., Пономаренко В.А. Образ в системе психической регуляции деятельности. – М.: Наука, 1986. – 176 с.

5. Павлова С.В., Чепиженко В.И. Легкосхватываемый информационный интерфейс // Аэронавигация и авионика. Тр. Междунар. науч.-техн. конф. "Проблемы развития систем аэронавигационного обслуживания и авионики воздушных судов". – К.: КМУГА. – 1998. – С.111 – 112.

Стаття надійшла до редакції 10.04.01.